

Pruebas de resistividad eléctrica con telurómetro en terrenos volcánicos. Aplicación a subestaciones eléctricas

Tests of electrical resistivity with tellurometer in volcanic areas. Application to electrical substations

J.R. Jimenez¹, A. Lomoschitz¹ y J. Herman²

- 1 Dpto.de Ingeniería Civil, Edificio de Ingenierías, ULPGC. 35017 Las Palmas de Gran Canaria. jrjimenez@dic.ulpgc.es; lomoschitz@dic.ulpgc.es
2 Dpto. de Ingeniería, Moncobra S.A., Polígono Industrial Nuevo Calonge. 41007 Sevilla. jherman@grupocobra.com

Resumen: La red de puesta a tierra de las subestaciones eléctricas debe ser diseñada según los tipos de terreno y su resistividad eléctrica. Se han realizado ensayos con telurómetro en 8 zonas de Tenerife y Gran Canaria. Los terrenos son principalmente volcánicos: tobas pumíticas, depósitos de lapilli y brechas fonolíticas; así como capas de arcillas que proceden de la alteración de piroclastos básicos. Así mismo, los depósitos sedimentarios contienen cantos de naturaleza volcánica, a excepción de uno, realizado en arenas calcáreas gruesas. Los valores obtenidos de resistividad en los terrenos y sus rangos permiten hacer tres grupos: 1) Grupo de baja resistividad (3 a 27 Ωm), que son arcillas y que entran dentro del rango genérico habitual (1 a 100 Ωm); 2) grupo de resistividades intermedias (8 a 289 Ωm), que son rocas volcánicas y depósitos sedimentarios diversos, pues incluyen tobas pumíticas, brechas fonolíticas, conglomerados y derrubios fonolíticos gruesos; cuyos rangos de resistividad se solapan y para los que no ha podido establecerse un criterio resistivo-litológico discriminante; y 3) grupo de alta resistividad (> 1000 Ωm), que incluye arenas calcáreas gruesas y un depósito volcánico, de lapilli basáltico, cuya característica común es que son depósitos granulares porosos.

Palabras clave: resistividad eléctrica, terrenos volcánicos, Islas Canarias, subestaciones eléctricas.

Abstract: *The construction of electrical substations for energy distribution needs a study of the electrical resistivity of lands, which values indicate the design of its earthing system. Resistivity testing with a tellurometer has been done in 8 zones of Tenerife and Gran Canaria islands, where the terrains are mainly of volcanic nature. Even clayey soil and sedimentary conglomerate in these areas come from weathering or erosion of volcanic terrains. Three groups has been done with the resistivity values and ranges of values we obtained: (1) Low resistivity group (3-27 Ωm) are clays, in concordance with the regular values (1 a 100 Ωm) in the literature; (2) intermediate resistivity group (8-289 Ωm) includes both volcanic rocks (ash and pumice tuff, and phonolitic breccia) and a variety of coarse sedimentary deposits, being thus impossible to establish a discrimination criterion among them; and (3) high resistivity group (> 1000 Ωm) includes two different materials: coarse calcareous sand and basaltic lapilli, whose common characteristic is that both are granular and highly porous materials.*

Key words: *electrical resistivity, volcanic terrains, Canary Islands, electrical substation.*

INTRODUCCIÓN

La función principal de las subestaciones eléctricas es distribuir la energía generada en centrales de distinto tipo (térmicas, termo-solares, fotovoltaicas, hidráulicas, ciclo combinado, etc.). Disponen de una red de tierra donde fugan las sobretensiones que pueden ser producidas por elementos naturales, caída de algún rayo, por problemas en la red o por fallos de aislamiento. Dicha red de tierra varía su diseño en función de la resistividad eléctrica del terreno, que es la inversa de la conductividad eléctrica, y se expresa en Ωm .

La necesidad de realizar ensayos de resistividad eléctrica del terreno para la instalación de subestaciones eléctricas está exigida por el Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de

Transformación, en el REAL DECRETO 3275/1982, del 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, del Ministerio de Industria y Energía de España.

Dicho decreto establece que el proyecto de subestaciones disponga de una red de puesta a tierra que sea eficaz frente a las sobretensiones o defectos eléctricos que puedan generarse puntualmente, y que garanticen la integridad de los equipos, la continuidad del suministro eléctrico, así como salvaguardar la seguridad de las personas que se encuentren en las proximidades de la instalación o dentro de la misma.

Generalmente, el sistema de redes de tierra se realiza mediante mallas de cables enterradas y picas conductoras insertadas en el subsuelo. La más utilizada

es la red compuesta por una cuadrícula de 4 metros de cableado cuyo diámetro se calcula en función de la resistividad eléctrica. El uso de picas cilíndricas, de aleación acero-cobre, clavadas en el subsuelo está indicado para mejorar la difusión de la electricidad a través del terreno, o bien para utilizar un diseño diferente de la red de puesta a tierra.

Las subestaciones eléctricas se clasifican según su diseño y/o la distribución de energía eléctrica prevista. Las más habituales se resumen en la Tabla I.

	Tipo	Observaciones
Diseño	Blindadas	Totalmente aisladas
	Mixta-Blindada	Interior (Transformador exterior)
	Convencional	Intemperie-exterior
Distribución	220 KV	Alta Tensión
	132 KV	Alta Tensión
	66 KV	Alta Tensión

TABLA I. Tipos de subestaciones eléctricas

Todas las subestaciones eléctricas tienen como objetivo la distribución eléctrica de tal manera que reciben energía, la transforman y adaptan a las necesidades para las que son concebidas. Posteriormente se pone en distribución la energía a través de Red Eléctrica u otra compañía.

Por lo tanto no son concebidas para generar energía, sino que la reciben de centrales térmicas, eléctricas, aerogeneradores o parques fotovoltaicos. La elección del diseño de la red de puesta a tierra está condicionada por la resistividad eléctrica y por la ripabilidad de los materiales así como por la elevación de potencial del suelo.

En cuanto a rangos de valores de resistividad eléctrica existen diversas recopilaciones, por ejemplo, de Orellana (1982) y Cantos Figuerola (1987); sin embargo, no incluyen materiales volcánicos.

METODOLOGÍA EMPLEADA

A) Aplicación del método Wenner

La metodología empleada se basa en el método de Wenner. Consiste en la instalación de un telurómetro, con los cables conectados a sus respectivos bornes, y unidos a cuatro picas orientadas en línea recta.

Cada pica está separada de las demás a una distancia idéntica, denominada valor *d*, el cual se va aumentando progresivamente hasta la distancia estimada o bien la que permita la dimensión de la zona de estudio. Puede obtenerse una medida de la resistividad del terreno a lo largo de esa línea recta (Fig. 1). La distancia *d* en nuestros ensayos ha estado comprendida entre 1 y 10 metros, de manera que los ensayos han abarcado

longitudes de 3 a 30 m. Se han realizado variando la orientación y en zonas de pendiente variada, no influyendo esto en los resultados.

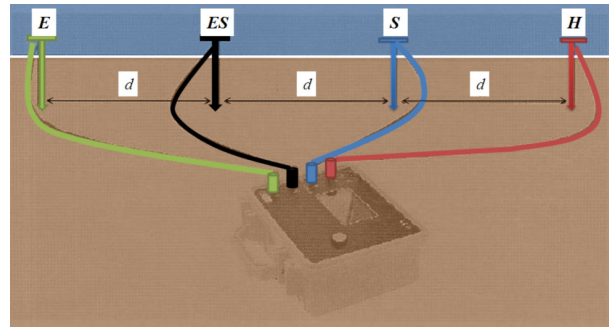


FIGURA 1. Telurómetro con las picas distribuidas según el método de Wenner y que ha sido utilizado en los ensayos de resistividad realizados.

B) Cálculo de la resistividad eléctrica

Una vez obtenidos los resultados de cada ensayo con el telurómetro, se debe aplicar la siguiente expresión:

$$\rho = 2\pi \cdot R \cdot d$$

en donde:

ρ es la resistividad del terreno en Ωm .

R es el resultado de la resistencia en Ω , obtenida directamente del telurómetro.

d es la distancia entre picas, medida en metros.

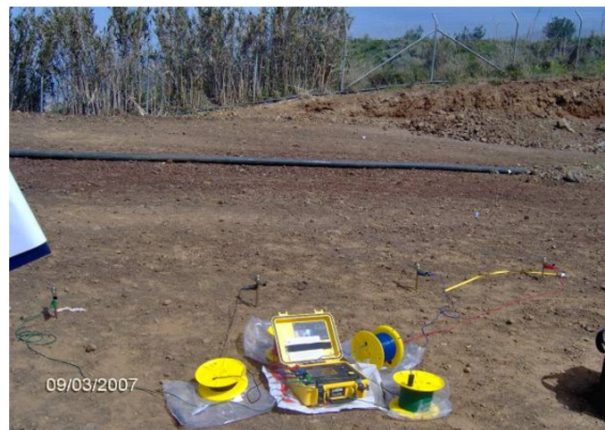


FIGURA 2. Telurómetro y ensayo de resistividad eléctrica para distancia *d*= 1 metro.

C) Condicionantes del método

En cada zona de ensayo han de tenerse en cuenta y anotarse diversos factores que afectan a la resistividad eléctrica, como son la temperatura ambiental, la humedad del suelo, la situación atmosférica y la dureza de los terrenos.

La temperatura ambiental está limitada en 18°C, por debajo de la cual hay que aplicar un factor de corrección. La humedad del terreno debe estimarse, al menos cualitativamente. La situación atmosférica se

indica anotando si el día es soleado, nublado o con intervalos nubosos. Y finalmente, una elevada dureza de los materiales puede limitar físicamente la colocación de las picas. Como dato adicional se indica la hora a la que se ha iniciado el ensayo, así como su duración.

D) Selección de la zonas de ensayo

Las zonas de ensayo, en principio, han estado condicionadas por las parcelas destinadas a cada proyecto concreto de subestación eléctrica. Además, se han realizado tres ensayos adicionales para abarcar una mayor variedad de terrenos (ensayos F, G y H).

Zona de ensayo	Situación geográfica	Terrenos ensayados	Edad	Nº ensayos (N)
A	Santa Cruz de Tenerife	Arcillas	Cuaternario	6
B	Granadilla (Tenerife)	Tobas pumíticas	Pleistoceno Superior	2
C	Los Realejos (Tenerife)	Lapilli basáltico	Pleistoceno	5
D	Arico (Tenerife)	Brecha fonolítica no cementada con matriz arenosa-limosa	Pleistoceno superior	4
E	Mogán (Gran Canaria)	Derrubios de ladera con cantos fonolíticos	Cuaternario	4
F	Los Castillos (Gran Canaria)	Arcillas	Cuaternario	3
G	Las Palmas	Conglomerado (Formación detrítica de Las Palmas)	Pleistoceno	4
H	Tufia (Gran Canaria)	Arenas gruesas calcáreas algo cementadas	Pleistoceno	4

TABLA II. Zonas y tipos de materiales ensayados. Edades geológicas a partir de: Balcells et al., 1992 y Araña et al., 1978.

Los terrenos ensayados son principalmente materiales volcánicos, como tobas pumíticas, depósitos de lapilli y brechas fonolíticas; así como capas de arcillas que proceden de la alteración de piroclastos básicos. Así mismo, los depósitos sedimentarios contienen cantos de naturaleza volcánica, a excepción del ensayo H, realizado en arenas calcáreas gruesas.

Las edades, periodo o épocas, geológicas de los terrenos se circunscriben al Cuaternario. En cada zona se han realizado 2 a 6 ensayos, variando la orientación y ubicación de las pruebas, con el objeto de obtener una mayor representatividad.

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Los resultados de las pruebas de resistividad se resumen en la Tabla III. Los valores obtenidos son acordes con los trabajos de Cantos Figuerola (1987) y Orellana (1982), para los materiales que tienen datos.

Los valores de resistividad menores, de 3 a 27 Ωm, corresponden a arcillas; y los valores intermedios, de 8 a 80 Ωm, pertenecen a tobas pumíticas y a materiales detríticos gruesos (conglomerados FDP y derrubios de ladera). En un orden de magnitud superior están los valores altos, de 72 a 289 Ωm y media de 218,69 Ωm, de la brecha fonolítica. Y en otro orden de magnitud mayor, están dos materiales diferentes: las arenas algo cementadas, de 1093 a 3622 Ωm y media de 1086,85 Ωm; y el lapilli basáltico, con 1602 a 7523 Ωm y media 2185,20 Ωm; ambos de valores muy altos.

Zona de ensayo	Terrenos ensayados	Resultados resistividad (Ωm)	Media de resultados (Ωm)	Grado de humedad
A	Arcillas (Tenerife)	3-15	10,25	Alta
B	Tobas pumíticas	9-44	20,77	Alta
C	Lapilli basáltico	1602-7523	2185,20	Media
D	Brecha fonolítica	72-289	218,65	Baja
E	Derrubios con cantos fonolíticos	30-80	52,02	Baja
F	Arcillas (Gran Canaria)	19-27	24,96	Media
G	Conglomerado (FDP)	8-14	9,91	Baja
H	Arenas algo cementadas	1093-3622	2086,85	Baja

TABLA III. Resultados de los ensayos de resistividad eléctrica, realizados en diferentes litologías.

La amplitud de rangos es mayor a medida que aumenta el orden de magnitud de los resultados. No obstante, dentro de cada orden de magnitud los rangos de valores son bastante estrechos.

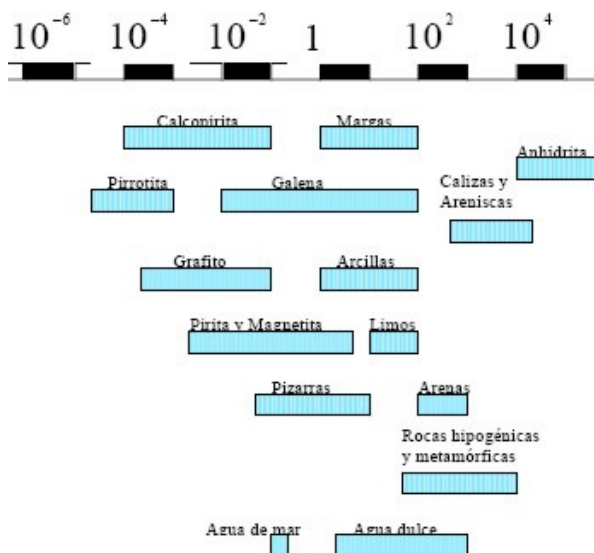


FIGURA 3. Rangos de resistividades eléctricas (en Ωm) de diferentes rocas y minerales, según Orellana (1982).

A partir de lo anterior, puede interpretarse que:

La baja resistividad de las arcillas (3-27 Ωm en nuestros ensayos y 1-100 Ωm de otros autores), puede

deberse a su carácter cohesivo, su escasa porosidad efectiva y la presencia de humedad.

Diversos materiales, tanto volcánicos como sedimentarios, presentan valores bajos a altos de resistividad, de 8 a 289 Ωm en nuestros ensayos, no pudiendo establecerse un criterio diferenciador claro.

Los valores muy altos corresponden a materiales de elevada porosidad: los mantos de arenas calcáreas gruesas algo cementadas y el depósito de lapilli ensayados. Según Lomoschitz *et al.*, (2006) el lapilli basáltico en Canarias puede presentar de 8,5 a 33% de huecos interconectados, lo que corresponde a una elevada porosidad eficaz.

Se podrían hacer otras consideraciones, acerca de la presencia de humedad en el terreno, pues aumenta la conductividad y disminuye la resistividad, y la concentración de sales, que aumentan este efecto. Sin embargo, en nuestros resultados no se ha detectado una influencia en este sentido, salvo en el caso de las arcillas que contienen cierto grado de humedad natural.

De ahí deducimos que la porosidad ha sido el factor que más influye en la resistividad eléctrica de los terrenos ensayados, al margen de la litología; y en un segundo lugar estaría la humedad.

CONCLUSIONES

A partir de los valores de resistividad de los terrenos y los rangos obtenidos, se pueden hacer tres grupos:

1) Grupo de baja resistividad: Arcillas.

Los valores, de 3 a 27 Ωm , entran dentro del rango habitual de las arcillas (1 a 100 Ωm), no obstante se encuentran en el cuarto inferior del mismo. Tal vez el área fuente volcánica influya en sus bajos valores, así como la humedad natural.

2) Grupo de resistividades intermedias: Rocas volcánicas y depósitos sedimentarios gruesos diversos.

Incluyen tobas pumíticas, brechas fonolíticas, conglomerados y derrubios fonolíticos gruesos. Los rangos de resistividad se solapan y, en su conjunto, varían de 8 a 72 Ωm (subgrupo 2-1) y de 72 a 289 Ωm (subgrupo 2-2). No ha podido establecerse un criterio resistivo-litológico discriminante.

3) Grupo de alta resistividad: depósitos granulares porosos de naturaleza variada.

Pertenecen a este grupo: un depósito sedimentario, de arenas calcáreas gruesas poco cementadas; y un depósito volcánico, de lapilli basáltico. Aún siendo de génesis diversa, los altos valores ($> 1000 \Omega\text{m}$) pueden justificarse por el carácter granular común de estos depósitos y por su elevada porosidad, que en el lapilli puede ser superior al 30%.

Los valores obtenidos y su interpretación pueden resultar valiosos por la escasez de referencias acerca de la resistividad eléctrica de terrenos volcánicos; y su utilidad directa se encuentra en el diseño de la red de tierra de subestaciones eléctricas.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha realizado contando con la ayuda del Grupo de Geología y Geomorfología Aplicada a la Ingeniería (GeoIng) de la ULPGC; que forma parte del grupo consolidado de investigación en Geología Aplicada y Regional. Agradecemos a la empresa Moncobra, S.A. su apoyo en la realización de estos ensayos y a ENDESA-UNELCO el acceso a sus instalaciones.

REFERENCIAS

- Araña, V., Carracedo, J.C., Caraballo, J.M., Fúster, J.M. y García Cacho, L. (1978): *Mapa geológico de España 1:25.000, Isla de Tenerife, hojas: 1104-I-1105-IV (Santa Cruz de Tenerife); 1111-III (Fasnia); 1103-II (Puerto de la Cruz) y 1119-IV (Lomo de Arico). IGME, Madrid.*
- Balcells, R., Barrera, J.L. y Gómez J.A. (1992): *Mapa geológico de España 1:100.000, Isla de Gran Canaria, hoja 21-21, 21-22. IGME, Madrid.*
- Cantos Figuerola, J., (1987): *Tratado de Geofísica Aplicada*. J. Cantos Figuerola (ed.) 3ª edición, 535p.
- Lomoschitz, A., Jiménez, J.R., Pérez-Luzardo, J.M., Macías-Machín, A., Socorro, M., Hernández, L.E., Rodríguez, J.A., Olalla, C. (2006): Basaltic lapilli used for construction purposes in the Canary Islands, Spain. *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. XII, 4:327-336.
- Orellana, E., (1982): *Prospección geoelectrica en corriente continua*. Paraninfo, Madrid, 523 p.