

Mapeo de resistividades eléctricas de suelos del sudoeste de la provincia de Santiago del Estero

Ruiz, Francisco¹; Funes Cornet, Facundo¹; Fernández Almenar, Gustavo¹; Ruggeri, Ana¹; Gelid, Pedro¹; Rearte, Luis¹; Godoy, Carlos¹; Storniolo, Jose¹; Pappalardo, Luis¹

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. fsruiz@gmail.com; ffunescornet@gmail.com; gfalmenar@gmail.com; aruggeri@unse.edu.ar; benjamingelid@hotmail.com; luisrearte84@gmail.com; godoycar@unse.edu.ar; jose_storniolo@hotmail.com; apappalardo@edese.com.ar

RESUMEN

Este trabajo pretende cubrir una necesidad real de la provincia de Santiago del Estero. Se tomaron 48 mediciones de resistividades de suelos, en la zona sudoeste de la provincia en una extensión de 455 km². Todo ello con fines de mejorar y/o asegurar el conocimiento de las propiedades magnéticas o dieléctricas (perfil eléctrico) representativos de la calidad del terreno, que permitan un adecuado diseño de los sistemas de puesta a tierra por parte de los profesionales idóneos en el tema.

ABSTRACT

This work aims to cover a real need in the province of Santiago del Estero. 48 soil resistivity measurements were taken in the southwestern area of the province in an extension of 455 km². All this with the purpose of improving and/or ensuring the knowledge of the magnetic or dielectric properties (electrical profile) representative of the quality of the land, which allow an adequate design of the grounding systems by qualified professionals in the subject.

Palabras clave: Resistividad - Suelos - Puesta a Tierra - Redes Eléctricas

Keywords: Resistivity - Soils - Grounding - Electrical Networks

1 INTRODUCCION

La resistividad ρ es un parámetro característico de los medios conductores. En un medio conductor homogéneo, isotrópico, el valor de la resistividad es igual en cualquier punto y dirección del medio. En el caso real de un terreno en cualquier parte del mundo es muy difícil, si no imposible, considerarlo como homogéneo. La naturaleza propia de su constitución y por estar sometido a los efectos climáticos hacen, que aun en el caso de tener un terreno constituido por un solo material existan variaciones de su resistividad respecto a la profundidad, principalmente por la variación del nivel freático y del grado de compactación del material.

La resistividad o resistencia específica del suelo, se indica en $\Omega \cdot m^2/m = \Omega \cdot m$ y equivale a la

resistencia de un cubo de 1 m de arista medida entre dos caras opuestas del cubo.

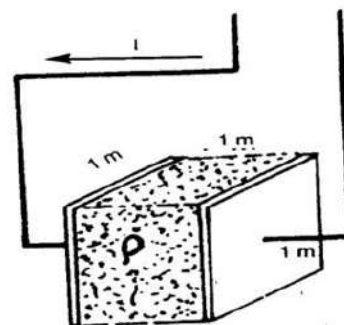


Figura 1. Resistividad eléctrica

Haciendo una breve mención de los factores que influyen en la resistividad del terreno se encuentran:

- Tipo de suelo

- Composición química de las sales disueltas en el agua contenida en el suelo
- Concentración de sales disueltas en el suelo
- Nivel de las aguas subterráneas
- Temperatura
- Granulometría del suelo
- Compactibilidad y presiones a las cuales está sometido el suelo
- Efecto corona en el caso de grandes densidades de corriente

En la Norma IRAM 2281-1 se presentan diversas tablas que muestran la influencia de estos factores en el valor de la resistividad del suelo. Por ejemplo, ver Fig. 1.

Tabla B1 - Influencia de las aguas subterráneas en la resistividad del suelo

Contenido de agua (% en masa de volumen unitario del suelo)	Valor general de la resistividad en: $\Omega \cdot m$	
	Mezcla arcilla-arena	Arena
0	10.000.600	-
2,5	1.500	3.000.000
5	430	50.000
10	185	2.100
15	105	300
20	83	90
30	42	20

Tabla B2 - Influencia de la temperatura en la resistividad de un suelo compuesto por una mezcla de arcilla y de arena (Contenido de agua, aproximadamente un 15 %)

Temperatura $^{\circ}C$	Valor general de la resistividad en $\Omega \cdot m$
20	72
10	99
0 (agua)	138
0 (hielo)	300
- 5	790
-15	3.300

Tabla B3 - Valores típicos de la resistividad de ciertos tipos de suelo y agua

Tipos de suelo o agua	Resistividad típica $\Omega \cdot m$	Limites normales $\Omega \cdot m$
Agua de mar	2	0,10 a 10
Arcilla	40	8 a 70
Agua subterránea, agua de pozo y agua de manantial	50	10 a 150
Mezcla de arcilla y arena	100	4 a 300
Pizarra, esquistos, gres, etc.	120	10 a 1000
Turba, limo y lodo	150	5 a 250
Agua de lago y de torrente	250	100 a 400
Arena	2.000	200 a 3.000
Grava de morena	3.000	40 a 10.000
Grava marítima	15.000	3.000 a 30.000
Granito	25.000	10.000 a 50.000
Hielo	100.000	10.000 a 100.000

Figura 1: Norma IRAM 2281-1

En la práctica por lo general primero se hace la medición de resistividad del suelo y luego se aplica alguna de las fórmulas para dimensionar al sistema de puesta a tierra.

En el caso de esta investigación se consideró originalmente realizar en campo, la medición del valor de resistencia de puesta a tierra, midiendo las jabalinas de la red de distribución en Media Tensión del territorio provincial, la cual surca todo el territorio, en diversas direcciones.

Pero al organizar las tareas y realizar el análisis de los métodos a utilizar, se procedió a realizar directamente la medición del valor de resistividad eléctrica del suelo en diferentes puntos específicos del territorio de la provincia de

Santiago del Estero. Ya que además se contaba con los instrumentos de medición apropiados para este tipo de medición.

De esta manera se procuró lograr generar un material nuevo para la región, que pueda colaborar, entre otras cuestiones, con el diseño de los sistemas de puesta a tierra para distintas necesidades, tanto de protección, como de control en las zonas donde se realizaron las mediciones.

Pero las mediciones y valores obtenidos no serán solamente útiles para aplicaciones netamente eléctricas. El tener un registro de valores de resistividad eléctrica (o de su inverso, la conductividad eléctrica) de la parte superior de la corteza terrestre son imprescindibles en diversas aplicaciones, tales como la radiodifusión de señales en ondas medias, estudios de corrosión del suelo a estructuras metálicas de gran extensión, estimación de la capacidad defensiva de los suelos a la infiltración de contaminantes y otras.

Existe además, una particularidad propia de la provincia de Santiago del Estero, que está relacionada con la amplia extensión del territorio y que presenta, por esta razón, diversas características de suelo en cuanto a consistencia y humedad. Así es que encontramos suelo rocoso en sectores serranos al oeste y sur, suelos arenosos al centro y suelos arcillosos distribuidos. Estando el valor de la resistividad directamente relacionado con la característica del suelo, es de esperar la obtención de una variedad de valores.

2 ANTECEDENTES

Alarcón (2011) realizó en Bogotá, Colombia, un estudio de estas características, en donde el objetivo era caracterizar geoelectricamente un área de 28km² a profundidades de 2,5 m, 5 m y 10 m, para lo cual, en el trabajo de campo se realizaron 200 mediciones. Los resultados fueron mapas de iso-resistividad eléctrica a las profundidades mencionadas.

Por ejemplo, la imagen que se muestra en la Fig. 2, es el mapa a profundidad de 2,5 metros, los ejes son coordenadas geográficas y los colores se corresponden con la escala de valores de resistividad en Ohm-m que se muestra a la derecha.

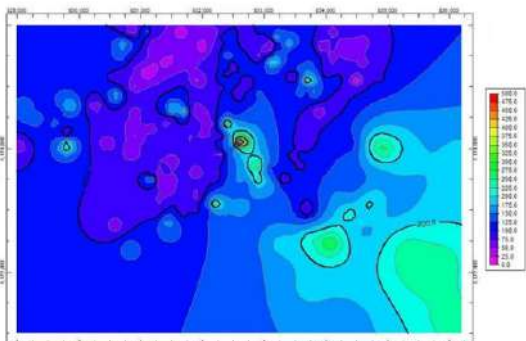


Figura 2. Mapa de IsoResistividad Eléctrica a una profundidad de 2,5 m. Escala de valores a la derecha, en Ohm-m. Coordenadas en metros con origen en Bogotá.

Anteriormente un estudio similar se había realizado en Manaus, Brasil, donde Nilton de Souza (2004) dirigió un equipo, en donde el trabajo de campo se realizaron 138 mediciones, y un posterior trabajo estadístico para dar como resultado mapas de iso-resistividades, a profundidades de 1, 2 y 3 metros. Uno de los mapas de ese estudio es el que se muestra a continuación.

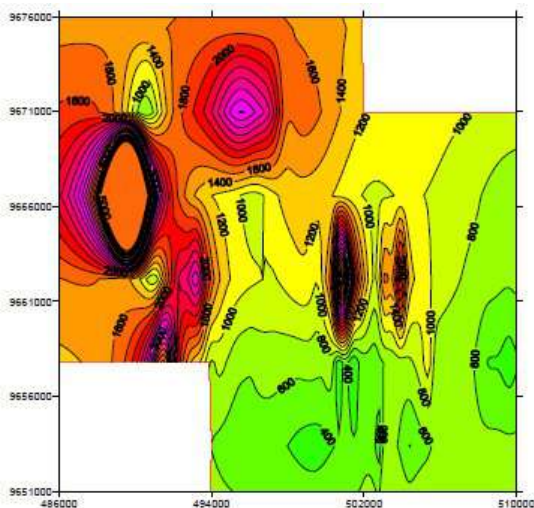


Figura 3. Método de distancia inversa a potencia, para la serie completa de datos, con abertura de malla de 1 m.

En la Norma IRAM 2281-1 Anexo B, se muestra un mapa orientativo de la República Argentina con valores típicos de resistividad del suelo a profundidad de hasta 5 metros aproximadamente. Los valores son promedios típicos locales en $\Omega \cdot m$. Adicionalmente se advierte que los valores de resistividad señalados son solamente orientativos, y no deben ser utilizados para el

cálculo, ni para el diseño del sistema de puesta a tierra.

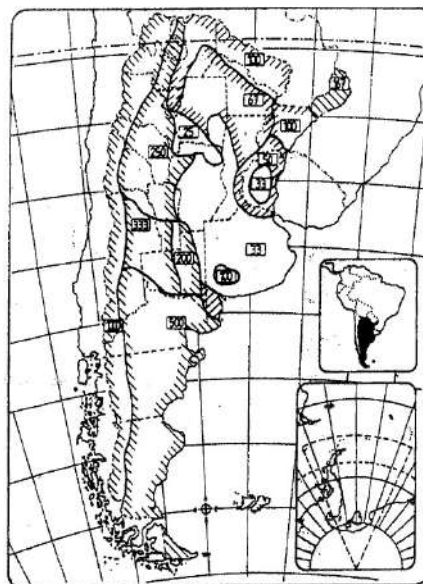


Figura 4. Mapa con valores orientativos de resistividad, según Norma IRAM 2281-1 Anexo B

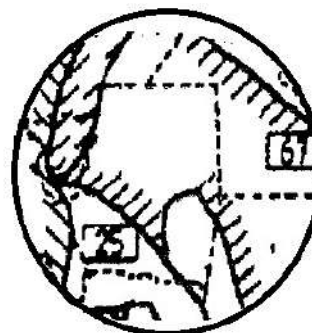


Figura 5. Detalle de la provincia de Santiago del Estero.

AGUA Y ENERGÍA ELÉCTRICA S.E. realizó un estudio de suelos en el año 1995, en diversas localidades como ser Capital, Vilmer, Beltrán, Forres, Fernández, Taboada, Suncho Corral, Yuchán, Quimilí, Matará, Añatuya. En cada una de estas zonas se obtuvieron datos de resistividad del suelo, compacidad, coeficiente de compresibilidad, entre otros, para las profundidades de 1 a 5 metros.

3 PLANIFICACION DEL TRABAJO DE CAMPO

Como ya se mencionara antes, se procedió a realizar las mediciones de los valores de

resistividades eléctricas del suelo, en forma directa, en los diferentes puntos del territorio de la provincia de Santiago del Estero.

3.1 Instrumental a utilizar

El instrumento de medición de puesta a tierra y resistividad, utilizado en este trabajo, es el Telurímetro digital de frecuencia industrial METREL MI-2124, mostrado en Fig. 6, y cuyas características principales son:

Mide con 2 jabalinas, 4 jabalinas, 2 jabalinas más 1 pinza o 2 pinzas (sin jabalinas). Amperímetro (con pinza opcional: $h/200$ A). Alta inmunidad al ruido. Apagado automático. Alcance: 0 - 20 k Ω (resolución 0,01 Ω). Memoria: 1000 mediciones. Interface RS232 (software y cable de comunicación: opcional).



Figura 6. Telurímetro METREL MI2124

El Medidor de Puesta a Tierra (Telurímetro) METREL MI-2124, es un instrumento profesional, portátil, alimentado por batería interna, pensado para llevar a cabo las mediciones de Resistencia a Tierra de acuerdo con el standard de la CE EN 61557-5.

En el proceso de medición de resistividad (ρ) del suelo, se entierran las cuatro jabalinas de prueba a una distancia igual a "a", y a una profundidad de 5% de "a". Ver Fig. 7.

La resistividad ρ (Resistencia de Tierra específica), se calcula con la ecuación (1).

$$\rho = 2 \pi a R \quad (1)$$

Donde:

a: la distancia entre dos jabalinas (en metros).

R: la resistencia del terreno ubicado entre las dos jabalinas.

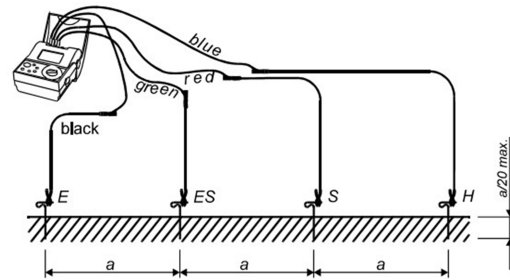


Figura 7. Conexión de las jabalinas

Este instrumento es de propiedad del Instituto de Tecnologías Aplicadas de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la UNSE.

4 ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS MEDICIONES DE RESISTIVIDAD EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Las informaciones de las mediciones de campo fueron procesadas a partir de la elaboración de una planilla de cálculo Excel, con los datos de las resistividades eléctricas, con sus correspondientes geolocalización, de los puntos de medición. Para posteriormente realizar su adecuación para el uso de los softwares Google Earth, Qgis y Surfer.

Para realizar el análisis de la información obtenida se procedió, en primer lugar, a la ubicación en Google Earth de los puntos de las mediciones realizadas, incorporando archivos KMZ con su correspondiente referencia geográfica. A partir de esto se procedió a verificar la ubicación de los puntos extraídos de la planilla Excel. Posteriormente, se delimitó el área que involucra a las mediciones de campo, mediante el empleo de Google Earth y la generación en ese espacio geográfico de un archivo de puntos, para la obtención de datos de elevación (cotas topográficas) y posterior elaboración de curvas de nivel.

Mediante el uso del software Surfer y la elaboración previa de una tabla Excel, con datos de ubicación de puntos de mediciones de resistividad, en coordenadas planas y los valores medios de resistividad, se obtuvieron los gráficos correspondientes a la ubicación de:

4.1 Zona de estudio

Se estudia la zona sudoeste de la provincia de Santiago del estero. Ver Fig. 8.
 Esta zona de la provincia en particular y como se mencionó anteriormente, se caracteriza por contar con variada diversidad de tipos de suelos de acuerdo a sus composiciones, observándose de esta manera suelos rocosos, suelos con yeso, suelos arenosos, suelos con elevada salinidad, etc.



Figura 8. Zona en la que se realizaron las mediciones

4.2 Puntos de ubicación de las mediciones

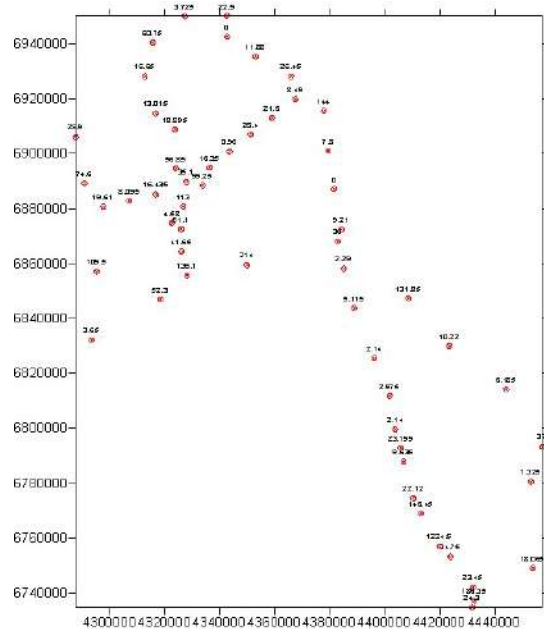


Figura 9: Ubicación de los puntos en coordenadas planas (m), con el valor de medición de resistividad

4.3 Curvas de iso-resistividad y su distribución espacial en el área de estudio.

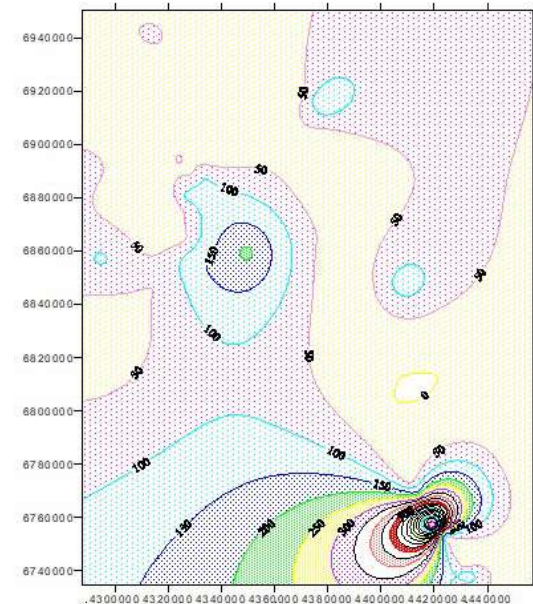


Figura 10. Curvas de iso-resistividad (obtenidas por interpolación mediante el software Surfer).

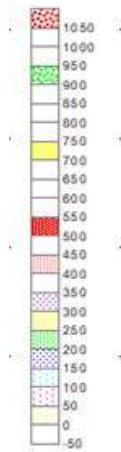


Figura 11. Leyenda de la escala de distribución de resistividades, correspondiente a la Fig. 10

4.4. Curvas de iso-resistividad en imagen 3D

En la Fig. 12, se muestran las curvas de iso-resistividad en 3D, obtenidas mediante la utilización de la herramienta, mapa de relieve, del software Surfer.

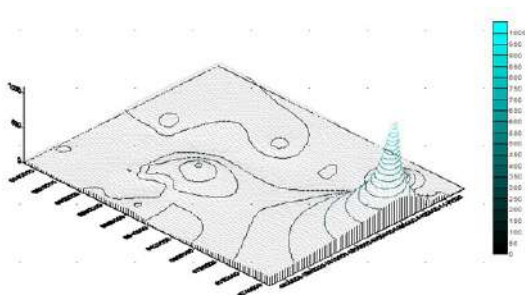


Figura 12. Curvas de iso-resistividad, obtenida mediante el software Surfer.

4.5. Curvas de nivel del Área de Estudio

Las curvas de nivel se obtuvieron a partir de las coordenadas y valores de elevación del programa Google Earth. Se estableció un polígono que involucra al área de relevamiento para la representación de los datos. Posteriormente se generó un archivo KMZ que sirvió de base para la transformación mediante un software libre "GPS Visualizer" y posterior uso del software libre Qgis 3.55.5 (Sistema de Información Geográfica).

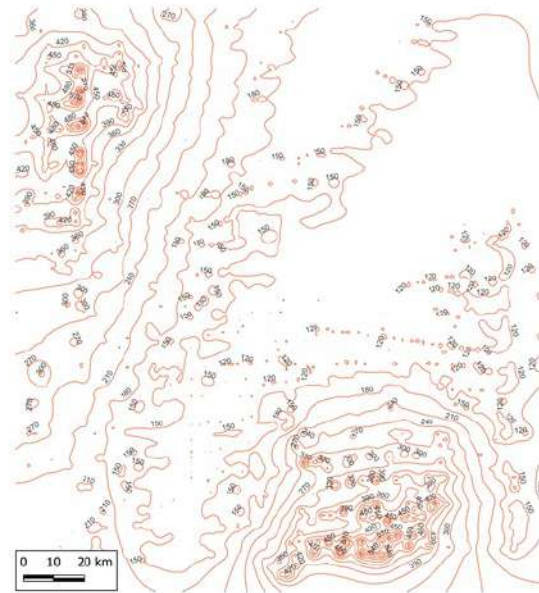


Figura 13. Curvas de nivel

4.6. Interpretación de los Resultados

Los resultados obtenidos en campo, y la representación gráfica de los mismos permitieron identificar zonas con valores de resistividad que pueden ser zonificados y considerados para establecer áreas de resistividad que ponen de manifiesto el comportamiento del subsuelo en relación a este parámetro, tal es así que las áreas con valores bajos se corresponden con materiales de tamaños menores y los valores altos a materiales de tamaños mayores. Cabe destacar que este comportamiento se corresponde también directamente con las características topográficas del área estudiada.

Un claro ejemplo de lo expresado está representado por la resistividad de la grava que es superior a la de la arena y ésta sea mayor que la de la arcilla. El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático.

Respecto a las conexiones de puesta a tierra; lo ideal es tener una resistencia de cero ohmios. No existe un único umbral estándar de resistencia de conexión a tierra, que sea reconocido por todas las empresas de servicio de distribución de electricidad. Algunas empresas aconsejan un valor de resistencia de conexión a tierra de 5,0 ohmios o menos.

5 CONCLUSIONES