

Termas de Santa Teresita - La Rioja; resultados geofísicos magnetoteléuricos. Un cuerpo anómalo

M. Mamani,¹ E. Borzotta,² B. Castiglione,^{1,3} J. Venencia²

Termas de Santa Teresita - La Rioja; geophysical results magnetotellurics. An anomalous body

Abstract

In order to study the electrical resistivity distribution in the upper crust, including the sedimentary basin, corresponding to the region where the Santa Teresita thermal area is located (La Rioja), six magnetotelluric soundings (MTS) were performed along a W - E profile of about 20 Km long. The natural electromagnetic field was recorded from 0.057 sec. to 300 sec. of period. The principal directions and the character of the apparent electrical resistivity curves suggest that the Ambato lineament would be responsible for the regional tectonic. Results show resistivities of 3 - 4 Ω m for the saline sedimentary basin and strongly suggest a conductivity anomaly produced by an elongated body placed possible below the basement's top with less of 0.1 ohm m of resistivity, following the mentioned lineament. Graphite or other materials with electronic conductivity are suspected to be partially responsible for this anomaly.

Key Words: Geophysics. Sedimentary Basin. Magnetotelluric. Geothermic.

Resumen

Con la finalidad de estudiar la distribución de resistividades eléctricas en la corteza superior, incluyendo la cuenca sedimentaria, correspondientes a la región de las Termas de Santa Teresita (La Rioja), se efectuaron seis sondeos magnetoteléuricos (SMT) a lo largo de un perfil con rumbo aproximado Este - Oeste de 20 km de extensión. Se registró el campo electromagnético natural en el rango de periodos de 0,057 seg. hasta 300 seg. Las direcciones principales y el caracter de las curvas de resistividades eléctricas aparentes sugieren que el alineamiento de Ambato sería condicionante de la tectónica regional. Los resultados indican resistividades de 3 - 4 Ω m para la cuenca sedimentaria salina y sugieren fuertemente la presencia de una anomalía de conductividad generada por un cuerpo elongado que se ubicaría bajo el tope del basamento cristalino con resistividad eléctrica inferior a 0.1 ohm m, siguiendo el mencionado alineamiento. Grafito u otros materiales con conductividad electrónica se sugieren como parcialmente responsables de esta anomalía.

Palabras Claves: Geofísica. Cuenca sedimentaria. Magnetoteléurica. Geotermia.

1 Universidad Nacional de La Rioja

2 Unidad de Geofísica IANIGLA - CRICYT, Mendoza.

3 Fac. de Ingeniería, U.N.Cuyo, Mendoza

Introducción

Los sitios donde se realizaron los sondeos están ubicados en el sur de la llamada Depresión de Pipanaco (Fig. 1), en cercanías de las coordenadas 28°32'43" Lat. Sur y 66°31'17" Long. Oeste, área que se encuentra ubicada al norte de la provincia de La Rioja en el límite con Catamarca. Encerrada por bloques fallados en forma inversa de alto ángulo que inclinan hacia afuera de la depresión, responde a un sistema tectónico complicado por ser el límite norte de las Sierras Pampeanas y el comienzo hacia la Puna. Detalles sobre estos temas los da Baldís et al (1975/1976), Mon (1976a y 1976b). Al E la Depresión está limitada por la Sa. de Ambato, al SO la Sa. de Velasco y al S la Sa. de Mazán. Los fallamientos en el norte de la misma son de mayor magnitud debido a la presencia de la megafactura del alineamiento de Tucumán (Eremchuk, J.1981). La Depresión intermontana del Salar de Pipanaco constituye una depresión tectónica, cerrada en todos sus flancos por bloques que han sido empujados hacia el centro, por donde pasaría el eje tectónico convergente.

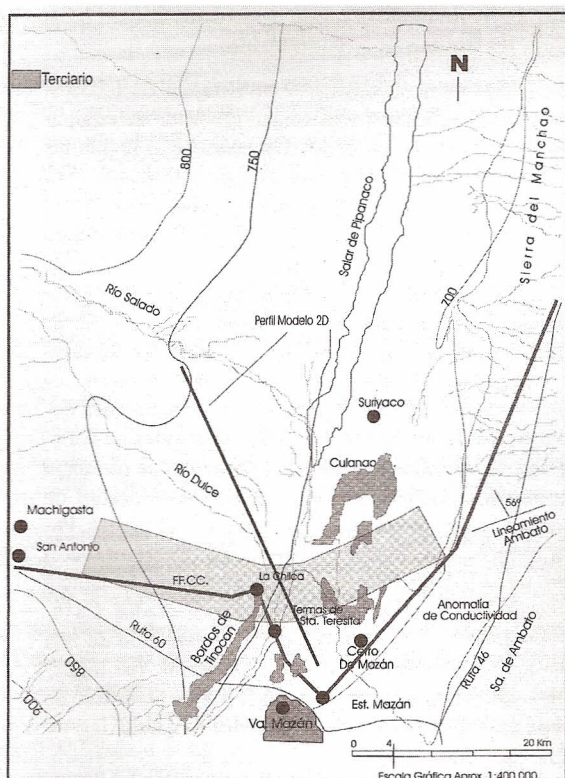


Figura 1 Mapa de ubicación del cuerpo anómalo

Se debe tener en cuenta el modelo resultante del perfil gravimétrico realizado por Introcaso y Burgues (1991), que atraviesa el costado sur de la Depresión de Pipanaco, que con mediciones de anomalías de gravedad negativa determina una fosa de 4 km de profundidad de materiales livianos, en contraste con lo que ocurre en la sierra de Ancasti donde las anomalías son positivas. También se considera la información inédita sobre refracción sísmica de YPF, de un sitio ubicada en el costado Sur Este de la Depresión que tiene una velocidad promedio de 2.8 km/s para el relleno de la fosa y 2300 m. de profundidad, cercano a nuestro perfil.

La zona de estudio ocupa una porción de estas áreas deprimidas en la que se advierten los resultados de la tectónica andina, los cuales afectaron los bloques del basamento cristalino, las sierras, macizos cristalinos que se elevaron en el terciario con movimientos que continuaron en el cuaternario. La Depresión integra el sector sur de la cuenca del no interprovincial (Catamarca - La Rioja) Abaucán - Colorado - Salado de 43.000 km² de superficie, es decir una gran área receptora de afluentes que provienen de las sierras, los cuales son drenados por el río Salado hasta salir de la Depresión. La salida natural del agua de circulación superficial es la quebrada de Mazán. Sin embargo la escorrentía medida no guarda relación con la recarga, por ello algunos autores (Folker M.,1974) mencionan que la salida del agua subterránea es el sector de contacto entre la sierra de Mazán y la de Ambato.

El relleno está constituido por sedimentos terciarios, siendo el estrato más representativo la formación Salicas de edad Terciaria de escaso interés hidrogeológico pero seguramente con una potencia importante. Los depósitos son de origen continental de ambiente pedemontano y simultáneos a la reactivación terciaria de las estructuras del basamento. Esta unidad constituye el remanente de una cubierta terciaria que fue desplazada y elevada como consecuencia de los movimientos andinos, y está cubierta por material cuaternario no consolidado. Se estima la presencia de sedimentos preterciarios cuya existencia no está comprobada (Sosic, 1972).

Según Sosic (1973), el sustrato de la cuenca tiene una estructura en bloques meridionales con escalonamientos de 0 a E que sirve también como escape y circulación de las aguas. Un lineamiento notable es visible al este del Salar su traza posee un rumbo aproximado NE-SW y el bloque hundido posiblemente se ubica al oriente de la misma. Dicho alineamiento limita el borde austral del Salar de Pipanaco y sería el causante de la desviación hacia el sudoeste del Río Salado. Una característica importante de la zona de estudio es la presencia de aguas termales en diversos sitios,

sobretudo en tres áreas: a- el de Santa Teresita; b- La Chilca y c-Culanao. En la primera las profundidades de estos pozos se encuentran entre 44 m y 300 m y la temperatura de las aguas varía entre 34.4° C y 46.1° C, en la segunda la profundidad de los pozos alcanza desde 50 m a 384 m y las temperaturas se encuentran entre 33° C y 48° C y en la última zona son pozos artesianos y la temperatura oscila entre 31° C y 40° C (Miranda E, 1999).

Entre los métodos geofísicos utilizados para investigar el subsuelo, en varios arreglos son los sondeos eléctricos verticales (SEV), que tienen entrada directa de corriente y son usados para un reconocimiento general. Estos métodos requieren incrementar los espacios entre los electrodos de manera de obtener mayor penetración de investigación y esta mayor apertura de electrodos pueden extenderse hasta algunos kilómetros. Estos espacios a veces no se cuentan y hay que recurrir a otra metodología que no signifique disponibilidad de grandes espacios, uno de estos es el método magnetotélúrico, (MT) donde la profundidad de penetración puede ser incrementada por registro y análisis de variaciones electromagnéticas más lentas.

Con esta última metodología y realizando un perfil en 2 dimensiones (2D) con 6 sitios de estudio, es que se llegó a determinar un cuerpo de muy baja resistividad entre 3 y 6 km de profundidad que sigue en su dirección el alineamiento de la megafractura de la sierra de Ambato. A este estado del conocimiento no se llega a interpretar totalmente su presencia, pudiendo ser grafito u otro material con conductividad electrónica (Zhamaletdinov, A.A., and A.S. Semenov, 1984).

Metodología

En este estudio fue empleado el método magnetotélúrico (MT) que usa como fuente de excitación las perturbaciones electromagnéticas naturales que alcanzan la superficie de la tierra y que sirven para determinar la distribución de conductividad eléctrica en el subsuelo. Una pequeña parte de la onda electromagnética incidente penetra verticalmente difundiéndose en el medio y generando las corrientes telúricas. Las características de la fuente permiten alcanzar profundidades considerables en zonas donde otros métodos geoelectrónicos enfrentarían serias limitaciones en equipo y en potencia.

La MT es una técnica pasiva de prospección (Cagniard L., 1953; Tikhonov, AN., 1965, Vozzof, 1972, 1990) utilizada en primer término en la determinación de conductividad eléctrica de la corteza y el manto superior y luego con el avance en los sistemas de registro, almacenamiento y procesamiento de esta información se utiliza también para investigar cuencas sedimentarias

profundas. Este método permite discriminar estructuras subyacentes donde existen contrastes de resistividad, reflejando, como producto final, los cambios verticales de la conductividad eléctrica. A cada frecuencia de muestreo se obtiene información desde la superficie hasta la profundidad de penetración o "skin depth" (d), que se define como la penetración en la cual la amplitud de una onda plana es atenuada en $1/e$ de su amplitud original (dentro de un medio homogéneo). Se calcula con la ecuación $d=500 \sqrt{\rho/f}$. A menor resistividad, menor es la profundidad de penetración e inversamente, a menor frecuencia la penetración será mayor.

La pequeña amplitud de las señales, del orden de 1γ (10^{-9} teslas) para el campo magnético y 4 mV/km para el eléctrico, imponen severas exigencias sobre la sensibilidad del equipo de medición y obliga a tener especial cuidado en la eliminación de ruido y en el tratamiento de las señales (amplificación, filtrado, etc.).

La técnica de campo consiste en medir en un punto de la superficie las componentes ortogonales variables del campo eléctrico y magnético en una amplia gama de frecuencias y con estas mediciones estimar el tensor de impedancia para varias frecuencias. Dado que la frecuencia guarda relación con la profundidad de penetración de la onda, estas mediciones constituyen lo que se llama un sondeo magnetotélúrico.

En nuestro caso las señales, en el rango de 0.057s. hasta 300s., fueron registradas mediante el equipamiento Electromagnetic Instruments (EMI) donde las series temporales son registradas en ventanas de 512 puntos. Con este sistema se miden cinco señales en el sitio de sondeo (E_x, E_y, H_x, H_y, H_z), E es el campo eléctrico, H el magnético, todas las señales son preamplificadas, filtradas y postamplificadas, para ser digitalizadas y luego procesadas. Este equipo utiliza barras de inducción para medir las tres componentes del campo magnético usando tres detectores, colocados en forma ortogonal y para registrar las dos componentes horizontales del campo eléctrico usa electrodos de cobre y sulfato de cobre ubicados a 100 metros de distancia entre ellos, dispuestos en forma dipolar colocados en forma de L y con un electrodo común en el vértice. Para el procesamiento se utilizó el programa (software) proporcionado por EMI, el cual calcula la impedancia usando la técnica clásica de mínimos cuadrados. La inversión de los datos de campo y la obtención de una estructura resistiva a partir de los mismos, fue implementada en los programas de EMI por un algoritmo de regresión (Meju, M. 1992) para el cálculo de la Solución óptima.

La interpretación del método MT se basa en la evaluación de la razón entre las variaciones del campo

eléctrico y del magnético sobre la superficie de la tierra, conocida como impedancia de superficie, la cual está relacionado directamente con la resistividad del subsuelo (Cagniard, 1953). En los casos en que el medio es homogéneo e isotrópico o presenta estratificación horizontal, la impedancia es compleja. Sin embargo en el caso más general cuando existe heterogeneidad lateral y/o anisotropía, la relación entre los campos adquiere un carácter tensorial (Vozoff, 1972).

Es común representar la función de transferencia como dos funciones de frecuencia: resistividad aparente (proporcional al módulo de los elementos del tensor de impedancia) y fase. Ambas funciones dan información redundante en el caso de una distribución unidimensional de resistividades, en cuyo caso la fase es proporcional a la derivada de la resistividad (Vozoff, 1990). Cuando la resistividad varía también en una o dos direcciones horizontales, ambas curvas dan información complementaria aunque no suficiente y es necesaria adicionar otras fuentes de información para lograr un modelo confiable. En el caso de un modelo unidimensional los elementos diagonales del tensor de impedancia se anulan y sólo se utilizan los anti-diagonales. Esto también sucede para un modelo bi-dimensional cuando el tensor de impedancia está expresado según las direcciones principales de la estructura geológica. En el primer caso (1D) los elementos no nulos del tensor de impedancia dan lugar a dos curvas con trazas iguales mientras que en el segundo caso dan lugar a dos trazas diferentes. Ellas son:

a) E-Pol o de polarización longitudinal ($\rho_{||}$): cuando el campo eléctrico es paralelo al rumbo, es decir paralelo a la estructura principal. Es menos sensible a las distorsiones que se producen cuando el sitio del sondeo está ubicado sobre un subsuelo con variaciones de resistividad bidimensionales o 2D y b) B-Pol, o de polarización transversal (ρ_{\perp}), cuando el campo eléctrico es transversal al rumbo. Es sensible a las distorsiones galvánicas.

En nuestro caso se hicieron dos modelos teniendo en cuenta la determinada complejidad de la estructura subterránea, el primero de ellos en unidimensional (1D) a través de los programas de EMI y a partir de allí, se hizo el modelado en 2D. En este caso se usó el programa por Elementos finitos de Wannamaker (1987) en un procedimiento iterativo cambiando el modelo de entrada al programa y comparando sus salidas con los valores obtenidos en el campo. El modelo es el que está en la Fig. 2, y se realizó en la orientación allí expresada. Los antecedentes, como quedó dicho anteriormente (Sosic, 1973) indicaban que los bloques estaban orientados en la dirección submeridiana; como ocurre con el alineamiento de la Sa. de Velasco y de la Sa. de Mazán al SO y al S respectivamente de la zona de estudio, sin embargo no se logró un ajuste satisfactorio mediante la

modelación 2D considerando una tectónica regional dominante con dirección NS.

Resultados

Luego del procesamiento de los datos de campo, las curvas de resistividad aparente obtenidas muestran características que son consistentes en los seis sitios: en general las curvas se ubican entre $20 \Omega m$ y menos de $1 \Omega m$ (Fig.2) presentando fuerte anisotropía en resistividad (para las direcciones principales) provocada por distorsión en los períodos mayores de 5 seg. Las direcciones principales tensoriales para la mayoría de los sitios se ubican en general, para altos periodos, en las direcciones noroeste - sudeste y noreste - sudoeste, esta última formando un ángulo de 60° a 80° desde el norte magnético (en sentido horario) coincidiendo en términos generales con el rumbo del alineamiento de Ambato. Esta información es posible observarla en los diagramas polares productos del procesamiento realizado.

En una primera aproximación, para la disposición del perfil 2D, se consideró como probable una tectónica regional NS. Por lo tanto se consideró que la curva normal en cada sitio (sin distorsiones) era la correspondiente a la Dirección Principal ubicada con rumbo aproximado NS y se usaron esas curvas para los modelos 1D de los seis sitios.

Para este modelo (1D) se consideró que la curva $\rho_{||}$ en dirección aproximadamente NS era la $\rho_{||}$ (siguiendo la dirección tectónica regional) y la otra ρ_{\perp} (aproximadamente EW). El modelo 1D se hizo sobre las curvas consideradas $\rho_{||}$ que en general presentan menor distorsión. En los resultados se puede observar un estrato conductor ubicado entre 4 km y 15 km de profundidad (no representados), que debido a las distorsiones, luego evaluadas, podría tratarse de una capa conductora falsa provocado tal vez por efecto de borde de la cuenca altamente conductora.

Contando con los resultados del modelo 1D, se hizo el modelo 2D considerando siempre una tectónica regional NS. Por ello el perfil bidimensional se ubicó cercano a la dirección WE. En dicho modelo se trató de reproducir la fuerte distorsión, presente en la curva EW considerada aquí como ρ_{\perp} , y suponiendo que esta distorsión era provocada por efecto galvánico debido a cuerpos intrusivos de alta resistividad y/o efectos de borde de cuenca.

Se efectuaron intentos de ajuste según el criterio mencionado sin resultados satisfactorios. Parte del problema de ajuste se debe a que la distorsión (supuestamente galvánica) que se pretendía modelar presentaba el

mismo carácter en los seis sondeos MT no mostrando variaciones a lo largo del perfil de campo, como debería ocurrir si verdaderamente se tratara de una distorsión provocada por las causas mencionadas. Este hecho unido a la coincidencia de las direcciones principales con el alineamiento de Ambato dieron base para suponer que en realidad la tectónica dominante en la región está determinada por dicho alineamiento y que la distorsión que se considera galvánica (Berdichevsky M.N. et al, 1976), era en realidad una distorsión inductiva provocada por una posible anomalía de conductividad siguiendo dicho alineamiento.

En estas condiciones se modificó totalmente la disposición del perfil para el modelo 2D al considerar la tectónica como cercana a la dirección EW -N 55° E semejante a la dirección de la Sa. de Ambato, se considera ahora la curva de ρ_{ll} paralela al alineamiento de Ambato, como ρ_{ll} y la NS como ρ_{\perp} . Se usaron los mismos modelos 1D ya realizados, que se efectuaron sobre la curva de ρ_{pa} que ahora llamamos ρ_{\perp} , la cual está más libre de distorsiones que la ρ_{ll} y por lo tanto se aproxima más a la curva "normal" de cada sitio. La ρ_{ll} es ahora la curva que desciende bruscamente a partir de aproximadamente los 5 segundos de período y que tiene una fuerte distorsión inductiva que se trata en el modelo 2D. Para ello se consideró ahora un perfil bidimensional perpendicular a la dirección mencionada anteriormente o sea en dirección cercana al NS (NO - SE) cortando a la anomalía de conductividad, la cual sigue el alineamiento de Ambato. Para el perfil los sondeos fueron proyectados sobre la traza del modelo bidimensional. Se realizaron variaciones en el modelo 2D inicial para tratar de ajustar mejor los datos experimentales. (ver Fig. 2).

A pesar de que el grado de ajuste logrado no es total, podría deberse a una estructura 3D, es evidente y se destaca la presencia de un cuerpo de muy alta conductividad (0.1 Ω m o aún menos) (ver Fig. 1 y 4) siguiendo en su disposición el alineamiento de Ambato y ubicado entre 3 y 6 km de profundidad (parte superior del basamento probablemente). Observando el resto del resultado del modelo 2D, la cuenca sedimentaria tiene su base a 3 km. de profundidad identificando cuerpos de diferente resistividad y espesor, 50 Ω m de resistividad bajo los sitios de sondeo 1 y 2 con el techo a 0.3 km y 40 Ω m en el resto de los sitios, con cuerpos de 4 y 3 Wm desde 1.5 y 1 km respectivamente hasta el mismo techo. Por encima de 0.3 km y hasta llegar a la superficie, la resistividad es de 3 y 15 Ω m. Este último estrato constituirían depósitos sedimentarios de edad Cuaternaria y el descrito anteriormente, de mayor espesor, 10 atribuímos a la Formación Salicas de edad Terciaria. Estos resultados tienen alguna coincidencia con los obtenidos con gravimetría y con la sísmica de

refracción en cuanto al espesor de la Depresión, teniendo en cuenta que nuestro estudio se realizó 15 km al norte de los sitios gravimétricos y en el costado oeste del sitio de la exploración sísmica.

Aún tomando en cuenta la presencia segura, en el sector superior del basamento (posible ascenso por sistemas de fracturas, etc.) de agua caliente mineralizada y en gran cantidad, por ser esta zona de la cuenca el lado de descarga de una extensa área de recarga (Folker M., 1974) Y que puede ser un motivo para explicar tan alta conductividad del cuerpo identificado, también es necesario pensar en la posible presencia de grafito u otro material de similar conductividad electrónica, siguiendo la estructura regional para explicar la elevada conductividad eléctrica encontrada. Sería interesante analizar, de contarse con información adicional la posibilidad de que dicho alineamiento represente una paleo sutura muy antigua o sea quizás el borde de un antiguo cratón, puesto que las anomalías de conductividad como la aquí sugerida, suelen presentarse en zonas de contacto entre antiguos cratones y/o áreas dinámicas. Sin embargo es de tener en cuenta la presencia del extremo norte de la Formación Paganzo (Azcu y Morelli, 1970) que podría contener además agua infiltrada por entre las fracturas NS que lo atraviesan y que contribuyen para disminuir la resistividad del cuerpo anómalo encontrado.

Conclusiones

1. La posible orientación NS de los bloques del basamento cristalino, bajo la cuenca en la región de las Termas de Santa Teresita no parece condicionar la tectónica regional. Los resultados del presente estudio sugieren más bien que esta tectónica, en lo atinente a la distribución de resistividades eléctricas en el subsuelo, estaría determinada por el alineamiento de Ambato.
2. El estudio indica la presencia de un cuerpo elongado de muy baja resistividad eléctrica (menos de 0.1 Ω m) el cual parece seguir, en la zona del presente estudio, aquel alineamiento y se ubica, en profundidad, entre 3 km Y 6 km aproximadamente con una distancia de 10 km al norte del afloramiento de roca cristalina del cerro Mazán. Aun tomando en cuenta la existencia en la cuenca de abundante agua caliente y mineralizada, la elevada conductibilidad eléctrica de este cuerpo hace pensar en la probable presencia de grafito u otros minerales con conductividad electrónica en el basamento cristalino como responsables de esta anomalía. Más estudios en el área son claramente necesarios para confirmar la presencia de la mencionada anomalía uno de ellos mediante la determinación de vectores de inducción en la región.

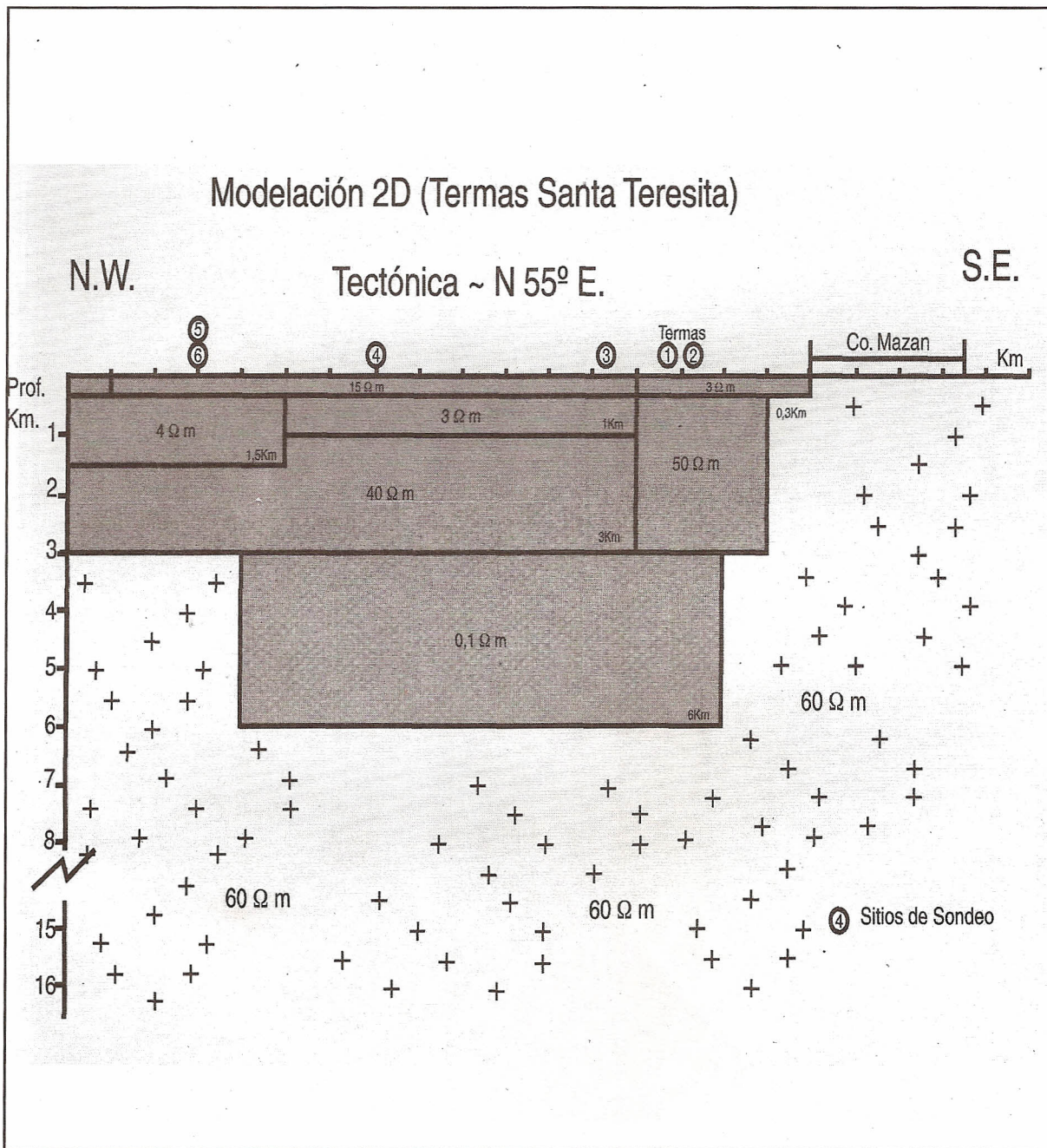


Figura 2 Resultados del modelo 2D

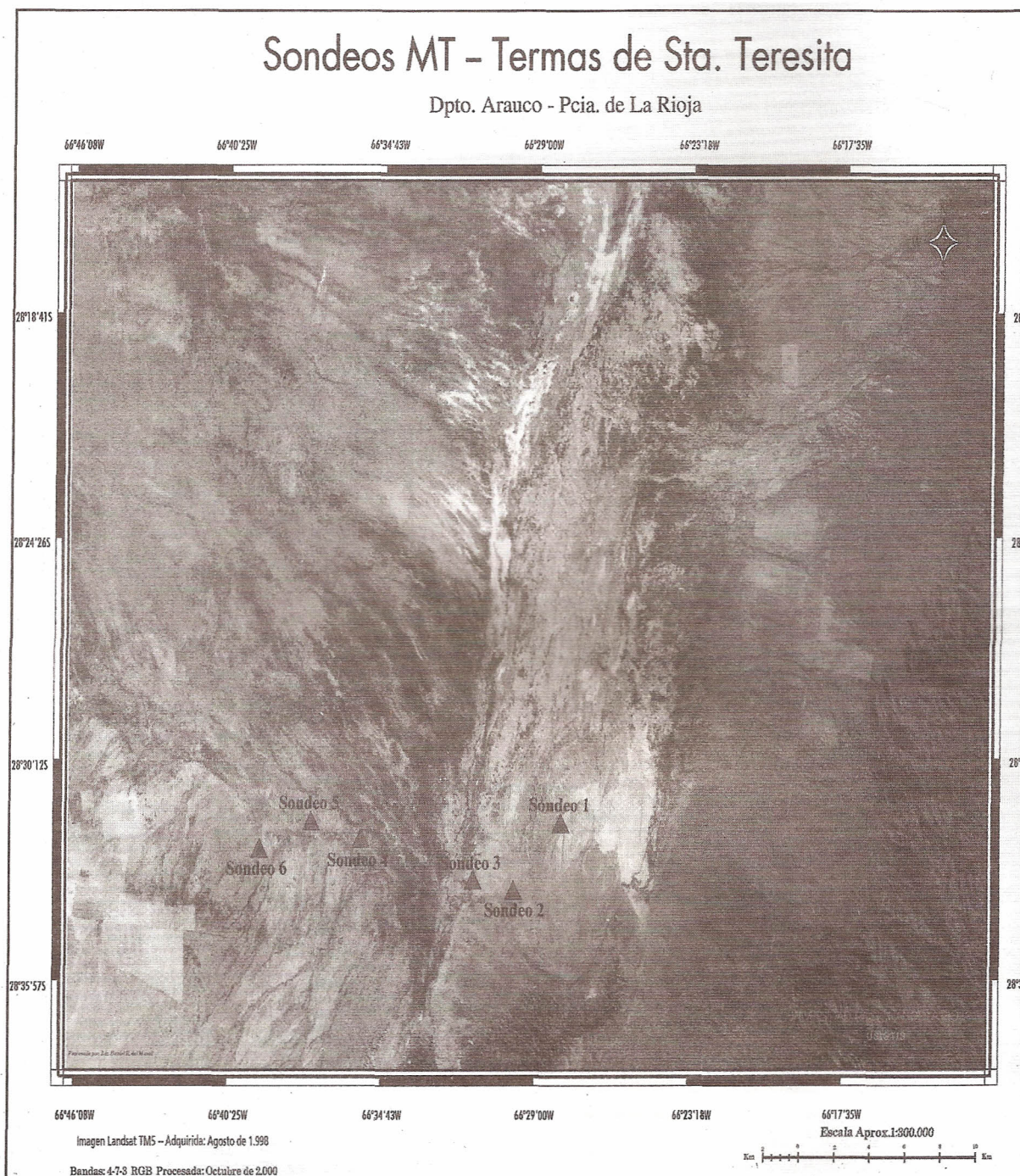


Figura 3 Areas de trabajo y ubicaci3n de sitios de sondeos

3. La cuenca sedimentaria en el área de estudio (Sur del Salar de Pipanaco) presenta elevada conductibilidad eléctrica debido a la presencia de agua salada con conductividades integradas que oscilan entre los 130 Siemens cerca del Cerro Mazán hasta aproximadamente 300 Siemens para los sitios más alejados (aprox. 12 - 13 km).
4. El estrato de 40 Ω m a 50 Ω m dentro de la cuenca estaría constituido por sedimentos de edad Terciaria que se encuentran expuestos en algunos sitios del área de estudio.
5. La modelación 2D también denota la presencia de una falla con importante rechazo ubicada al pie del Cerro Mazán en el límite norte.
6. Es coincidente con los modelos resultantes del perfil gravimétrico aún sin certezas de que en este modelo se haya tenido en cuenta de que se trata de un área termal y con la sísmica de refracción cercana al perfil MT.

Referencias

- Ascuycarlos y Jorge Morelli, 1970. *Geología de la Comarca Paganzo - Amaná*. El Grupo Paganzo Formaciones que lo componen y sus Relaciones. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Tomo XXV, N° 4. Págs. 405 - 420.
- Baldis, B.A., J. Viramonte y J. Salfity, 1975. *Geotectónica de la comarca comprendida entre el cratogeno central argentino y el borde austral de la Puna*. II Congr. Ibero-Americano de Geol. Econom., IV: 25-44.
- Baldis B.A., Gorroño, J., V. Ploszkiewicz y R.M. Sarudiansky, 1976. *Geotectónica de la Cordillera Oriental, Sierras Subandinas y comarcas adyacentes*. Sexto Congr. Geol. Argent., 1:3-22.
- Berdichevsky M.N., Dmitriev V.I., 1976. *Basic Principles of Interpretation of Magnetotelluric Soundings Curves*. Geoelectric and Geothermal Studies. KAPG Geophysical Monograph. Akademiai Kiado. Budapest.
- Cagniard, L.; 1953. *Basic Theory of the Magnetotelluric of Geophysical Prospecting*. Geophysics, 18: 605- 635.
- Introcaso A., Leticia Burgues, 1991. *La estructura cortical del Salar de Pipanaco y de la Sierra de Ancasti a través de Datos de Gravedad*. 2° International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Salvador Bahía. Brasil.
- Eremchuk J., R. Mon, L. Suayter y M. Zossi. 1981. *Sismicidad y Tectónica en los Andes del Norte Argentino*. Revista de la Asociación Geológica Argentina. XXXVI (2) pp 197-203.
- Folker M. 1974. *Estudio Integral de la Cuenca, Comité de Cuencas Hídricas, Río Abaucan - Colorado - Salado*. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.
- Meju, M. 1992. *An Effective Ridge Regression Procedure for Resistivity Data Inversion*. Computers and Geosciences. Vol. 18, N°2/3, pp 99-118.
- Miranda Fernando 1999. *SEGEMAR, (Servicio Geológico Minero Argentino) Departamento de Geoternia*. Informe inédito. Buenos Aires. Argentina. 11.
- Mon, R., 1976a. *The structure of eastern border of the Andes in north-western Argentina*. Geol. Rundsch., CXV: 211-22, Stuttgart.
- Mon R., 1976b. *La tectónica del borde oriental de los Andes en las provincias de Salta, Tucumán y Catamarca, República Argentina*. Asoc. Geol. Arg. Rev. XXXI: 65-72.
- Mpodozis c., Ramos v., 1989. *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources; Houston, Texas, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth. Science Series, v.11 Chapter 5*.
- Sosic, M., 1963. *Descripción Geológica de la Hoja 14e- Salar de Pipanaco (Provincias de Catamarca y La Rioja)*. Instituto Nacional de Geología y Minería . Bol. N° 137. Buenos Aires.
- Sosic, M.J.V., 1973. *Descripción geológica de la hoja 14d (Tinogasta)*. Provincia de Catamarca y La Rioja. Dirección Nacional de Geología y Minería. Buenos Aires.
- Vozoff, K., 1972. *The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basin*. Geophysics, 37, pp 98 - 141.
- Vozoff, K., 1990. *Electromagnetic methods in applied geophysics*. Volume 2, application, part B. Edited by Misac N. Navihian. Society of Exploration Geophysics.
- Wannamaker P.E., Stodt J.A, Rijo L., 1987. *A stable element solution for two dimensional magnetotelluric modelling*. Geophysics 88, 277-296.
- Zhamaletdinov, A. A., and Semenov, A.S., 1984. *Electronically conducting rocks of the crystalline basement and their significance for deep electric soundings, in: The development of the deep geoelectric model of the Baltic shield, part 2*, edited by S.E. Hjelt, Depart. Geophysics, Report N° 8, Univ. Oulu, Finland, 17 - 36.

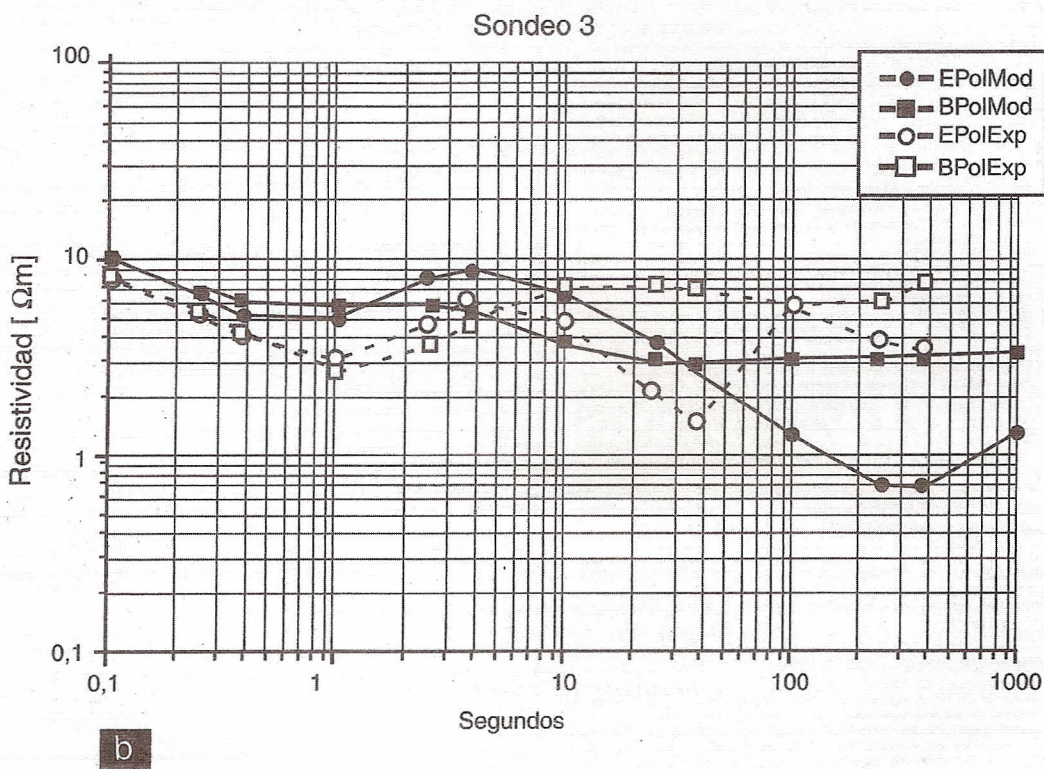
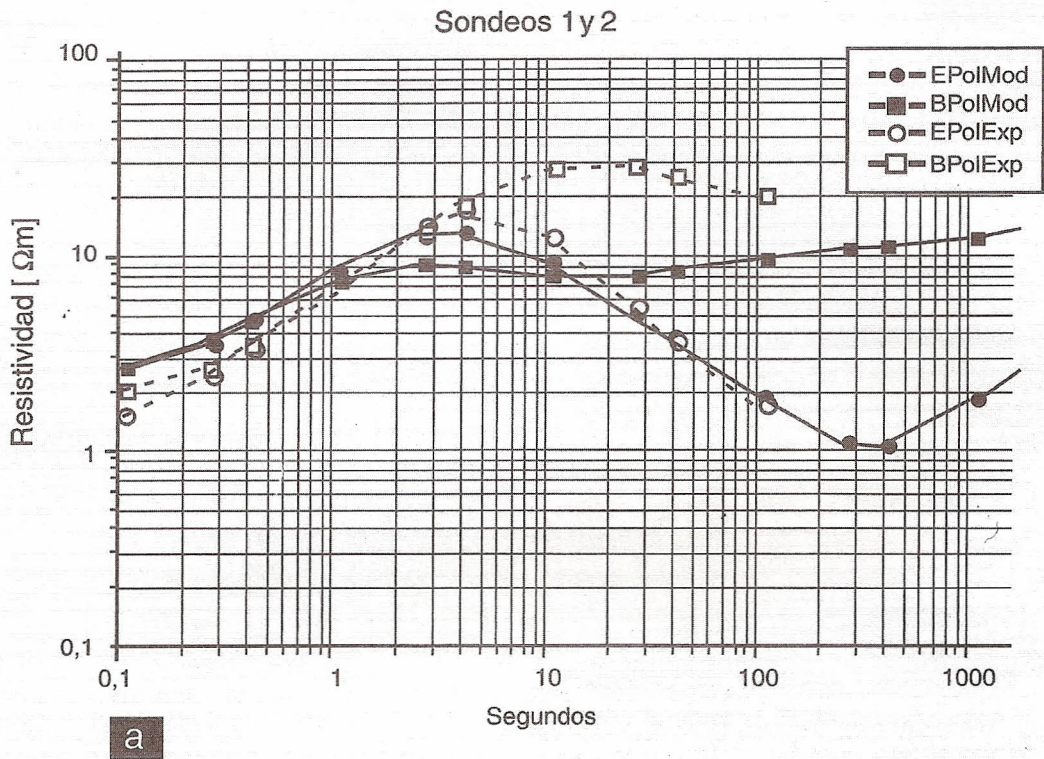


Figura 4 Gráficos a y b: resultados experimentales y curvas ajuste.

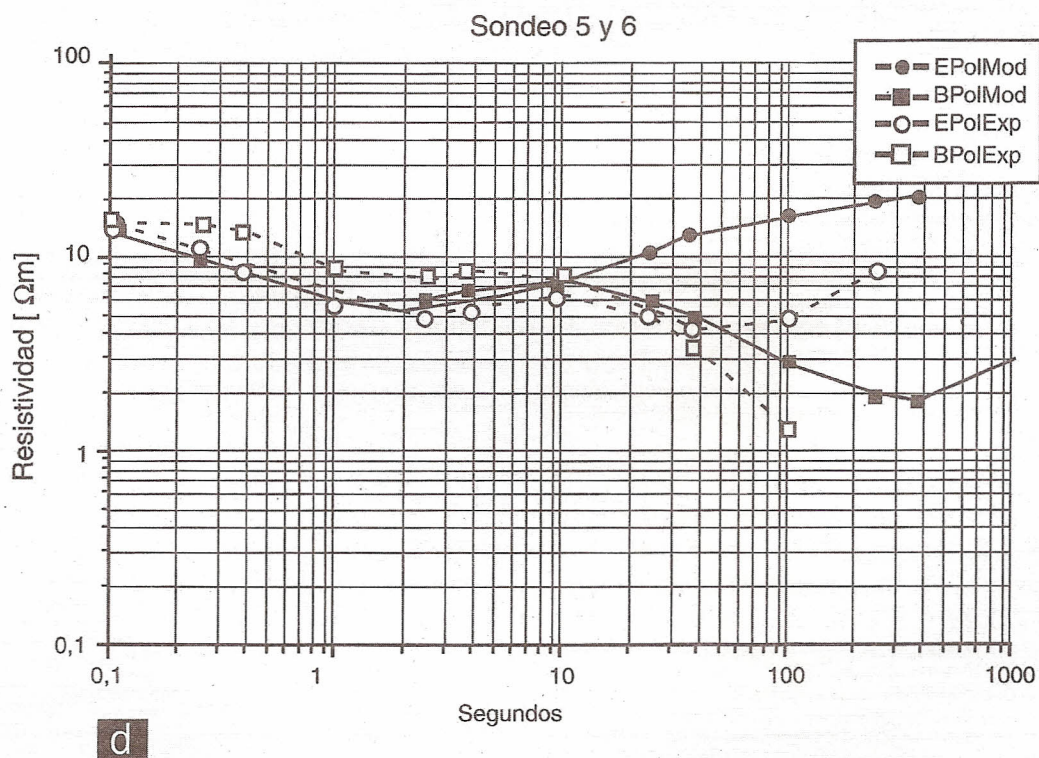
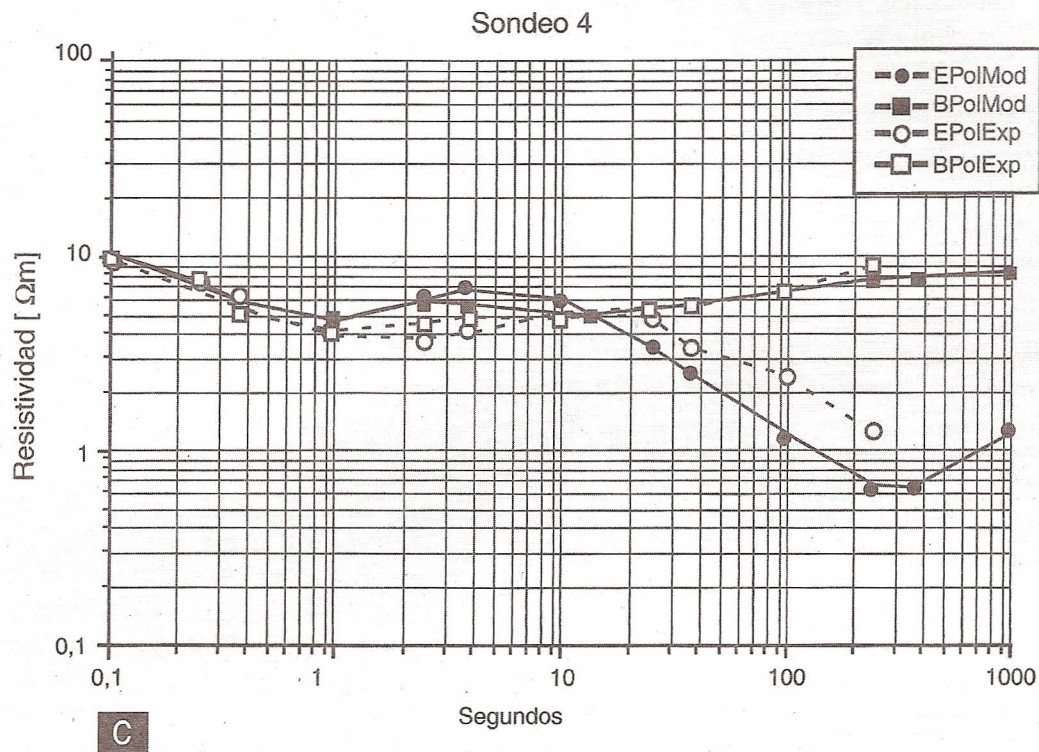


Figura 5 Gráficos c y d: resultados experimentales y curvas ajuste.