

ESTUDIO GEOFÍSICO MAGNETOTELÚRICO EN LA CUENCA CUYANA

Bibiana Castiglione⁽¹⁾⁽²⁾ y Manuel Mamani⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾Facultad de Ingeniería - UNCuyo

CC:405, CP:5500, Mendoza

E-mail: bcasti@raiz.uncu.edu.ar

⁽²⁾U N de La Rioja

Resumen

Por muchos años la Cuenca Cuyana, por el gran interés que presenta a la industria petrolera, debido a las cuencas productoras cercanas y por la incógnita de la estructura de sobrecorrimiento, ha sido centro de varios estudios, geológicos, geofísicos y estratigráficos. En esa latitud hay un cambio de pendiente de la Placa de Nazca, desde la subhorizontal de 10°, pasa a 30°, determinado entre otras cosas por el análisis sísmológico (M. Barazangui y B. L. Isacks; 1976).

Vázquez y Gorroño (1980) ya habían propiciado el corrimiento que habría conformado una faja plegada y corrida que involucró en su deformación a rocas del paleozoico inferior, ya estructuradas por los movimientos tectónicos, previos a la orogenia andina.

La disposición de estas estructuras, presenta una ausencia de horizontes reflectores. Figueroa-Ferraris (1989), a través de una técnica basada en un mecanismo de flexión de falla, definieron un área prospectiva interpretando un modelo. Existen en la literatura diversos trabajos realizados en la cuenca por otros autores, en su mayoría geológicos, donde se habla de un sobrecorrimiento de la Precordillera sobre la Cuenca, quedando material sedimentario por debajo. Lamentablemente, esta disposición de estructuras no es transparente para metodologías de exploración sísmica (por la inversión de velocidades que presenta), pero si lo es para la magnetotelúrica. Por ello en el presente trabajo se hace una caracterización de la Cuenca Cuyana, basándonos en estas mediciones.

Se realizaron dos perfiles Oeste-Este, uno ubicado en el contacto del frente activo de Precordillera y la Cuenca (a la latitud de Jocolí), que llamamos *línea 1*, y el otro al norte, a la latitud del Ramblón, (*línea 2*). En ambos perfiles se realizaron seis sondeos magnetotelúricos, en el primero, tres al Oeste de la Sa. de las Higueras dentro de la zona de Precordillera, con distancias entre ellos de 4 km, donde deberían haber quedado acunadas estructuras de menor velocidad (vv3, vv2 y vv1), y a 13 km al Este del sondeo vv1 otros tres (joc1, joc2 y joc3), que distan entre ellos 5 y 11 km respectivamente, ubicados en plena cuenca. En esta zona las líneas sísmicas trazadas por la exploración petrolera, definen la profundidad del horizonte terciario y la profundidad de la cuenca. En el segundo perfil se llevaron a cabo seis sondeos cada 6 km, tres del lado occidental de la ruta Nacional °40 (R1, R2 y R3) y los otros del lado este de la misma (H3, H2 y H1).

Se realizaron las inversiones 2D de los resultados de resistividad y fase, en función de la profundidad, obtenidos luego del procesamiento de la series temporales medidas en cada sondeo. Se obtuvieron resultados coherentes con la geología y con la bibliografía existente. En la *Línea 1* se interpreta un acunamiento sedimentario por debajo de material paleozoico sobre corrido sobre la cuenca cuyana, que si comparamos con los valores de resistividad que encontramos en la cuenca, podríamos inferir que se trata de material triásico.

En la *Línea 2*, las series temporales presentaban gran contaminación de distorsiones galvánicas, motivo por el cual se realizó un análisis espectral paramétrico multivariado ya implementado por Castiglione, (1995). Se pudo observar un estrato conductor hasta 6 km, aproximadamente, que correspondería al paquete sedimentario, terciario mas triásico acunándose hacia el oeste, debido seguramente al borde de cuenca.

1. Introducción

Estructuras geológicas, como la de la Cuenca Cuyana, donde se aprecian inversiones de velocidad en sus estratos, hace imposible su estudio a través de la prospección sísmica. En estos casos, los métodos geofísicos más apropiados para su aplicación, son aquellos que miden

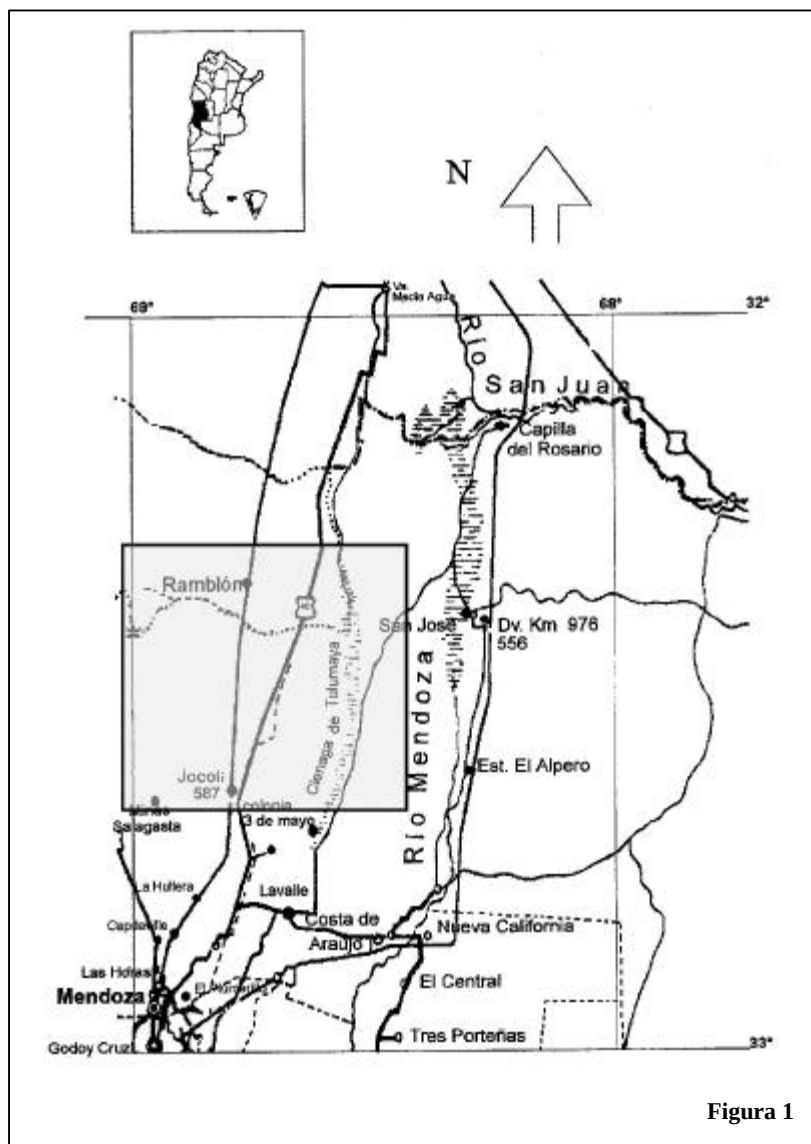


Figura 1

parámetros resistivos, los cuales no presentan horizontes, que puedan anular su profundidad de investigación. Siendo uno de ellos el método magnetotelúrico (MT), donde se miden y se registran, simultáneamente, las variaciones de las componentes ortogonales del campo geomagnético y el eléctrico asociado a él, en un amplio rango de frecuencias.

En el presente trabajo se realizaron dos perfiles magnetotelúricos, en la Cuenca Cuyana, uno Oeste – Este ubicado en el contacto del frente activo de Precordillera y la cuenca cuyana, a la latitud de Jocolí, que llamamos *línea 1*, y el otro Este – Oeste a la latitud del Ramblón (*línea 2*), fig. 1.

2. Antecedentes de la Zona de Estudio

En el análisis tectónico, la zona de estudio coincide con un cambio de la pendiente de la Placa de Nazca en su encuentro con la Placa Sudamericana, el

ángulo de subducción cambia, desde esa latitud al norte tiene 10° y hacia el sur 30° estas conclusiones surgen entre otras cosas, del análisis sísmológico (M. Barazangui y B. L. Isacks; 1976) concomitante con el análisis estructural y volcanológico. También allí se encuentra la Cuenca Cuyana que ha sido centro de estudios, sobretodo desde el aspecto petrolero, por el interés que presenta en descubrir reservorios. Vázquez y Gorroño (1980) ya habían propiciado el corrimiento que habría conformado una faja plegada y corrida que involucró en su deformación, a rocas del paleozoico inferior, ya estructuradas por los movimientos tectónicos, previos a la orogenia andina.

La disposición de estas estructuras, hacia el oeste de la cuenca, presenta una ausencia de horizontes reflectores. Figueroa-Ferraris (1989), definieron un área prospectiva interpretando un modelo de estructuras, a través de una técnica basada en un mecanismo de flexión de falla (fig. 2 y 3).

Víctor Ramos sintetiza esta información y agrega la interpretación de sísmica profunda, realizada en conjunto con Comínguez (1990), a la latitud del Ramblón (fig. 4 y 5), en la cual interpretan que existe un contacto entre el frente orogénico de precordillera, que constituye el límite entre dos provincias geológicas, Precordillera y las Sas. Pampeanas, y reconocen la interface entre sedimentos terciarios-basamento proterozoico (3,8 km de profundidad); el prisma sedimentario de

la acreción correspondiente a la colisión paleozoico-proterozoico entre Precordillera y Sas. Pampeanas y también reconocen la interface frágil dúctil (zona de despegue) a unos 13 km de profundidad.

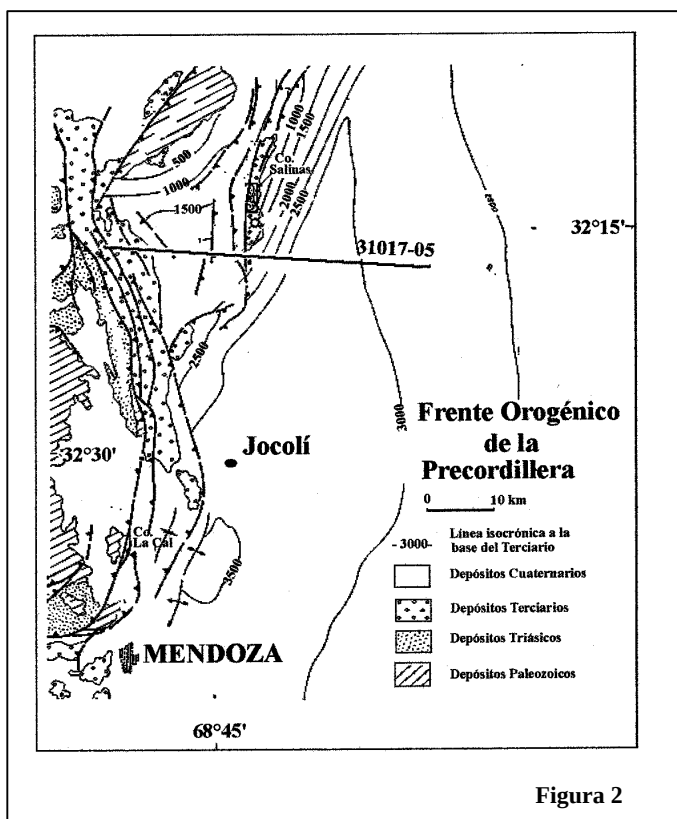


Figura 2

Fernando Bettini de YPF (1980) propone un corte estructural del frente regional de sobrecorrimientos, a la latitud del Co. La Cal, con bajo ángulo en profundidad y alto en superficie (fig. 6 y 7).

La propuesta de este trabajo trata de aprovechar la metodología magnetotelúrica para identificar, mediante la resistividad, la estratificación de horizontes del subsuelo, donde podría existir una inversión de velocidades, no visible en sísmica, para este caso pueden ser totalmente transparentes, dependiendo de la potencia de los estratos y contraste de resistividad, para que puedan ser relevados en su totalidad. Es decir que la magnetotelúrica permite determinar estratos conductores subyacentes a una capa altamente resistiva.

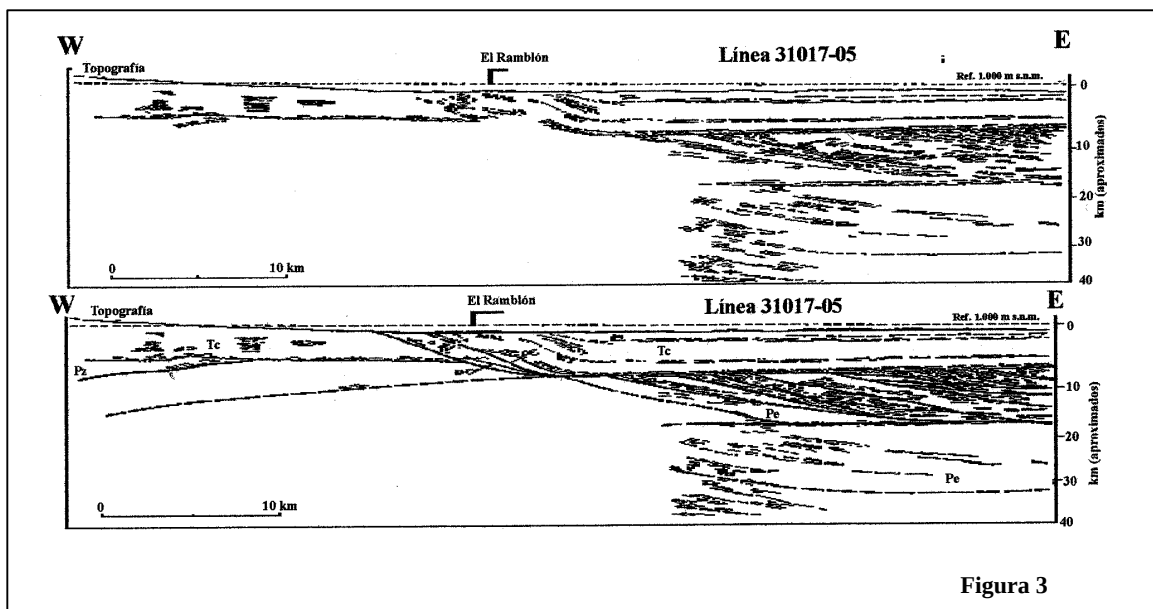


Figura 3

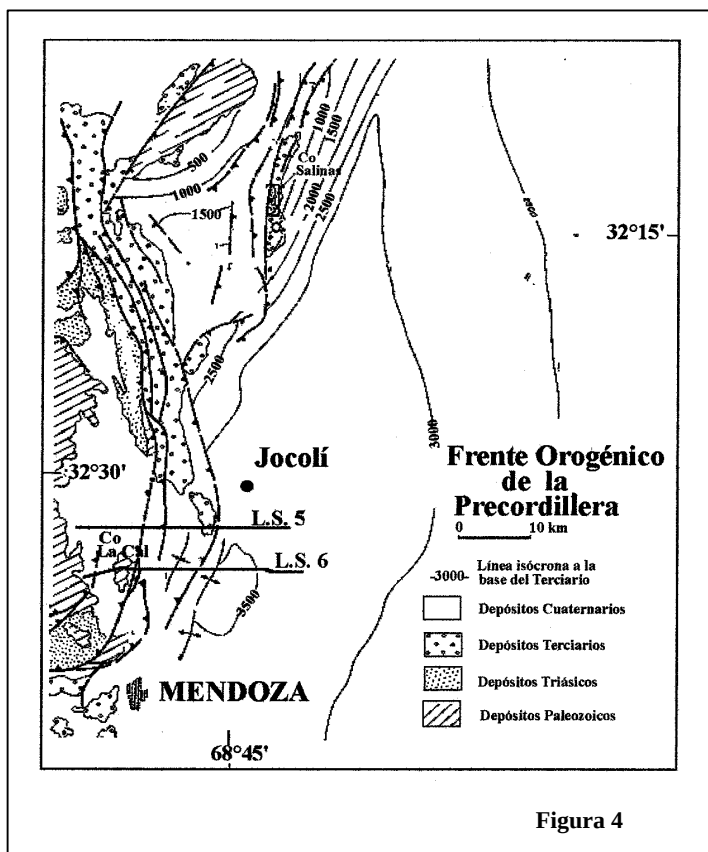


Figura 4

3. Metodología de Trabajo

Se llevaron a cabo dos perfiles magnetoteléuticos, de seis sondeos cada uno, los sitios se eligieron teniendo en cuenta los accesos y alejándose de las fuentes de ruido cultural por la sensibilidad del instrumental. En el primer perfil se ubicaron tres sitios al Oeste de la Sa. de las Higueras dentro de la zona de Precordillera por encima de la zona de corrimiento y donde deberían haber quedado acuñadas estructuras de menor velocidad sísmica (vv3, vv2 y vv1), y los otros tres sondeos (joc1, joc2 y joc3), ubicados al Este en plena Cuenca. En esta zona las líneas sísmicas trazadas por la exploración petrolera, definen la profundidad del horizonte terciario y la profundidad de la cuenca. En el segundo perfil se realizaron seis sondeos, tres del lado occidental de la ruta Nacional N°40 (R1, R2 y R3) y

los otros del lado Este de la misma (H3, H2 y H1).

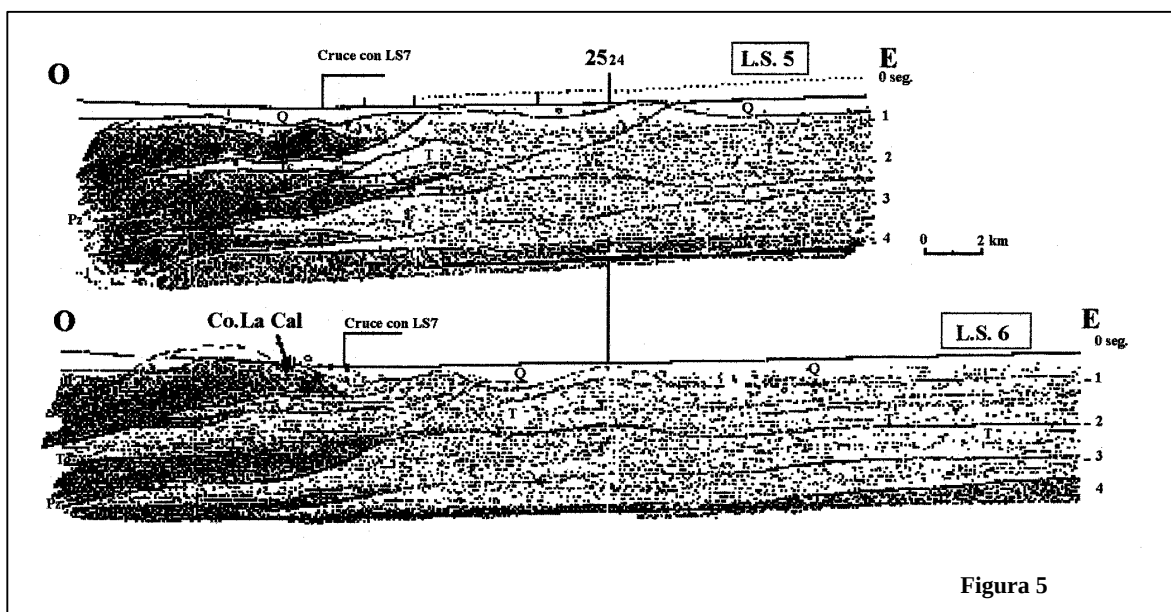


Figura 5

En cada sondeo se registran las variaciones de las componentes de los campos geomagnéticos y eléctricos terrestres en dos direcciones ortogonales, en función de la frecuencia. Esta metodología (MT) es una técnica pasiva de prospección (Cagniard, 1953; Vozoff, 1972), utilizada en su origen en la determinación de conductividades eléctricas de la corteza terrestre y

manto superior: permitiendo discriminar también estructuras superficiales, siempre que existan

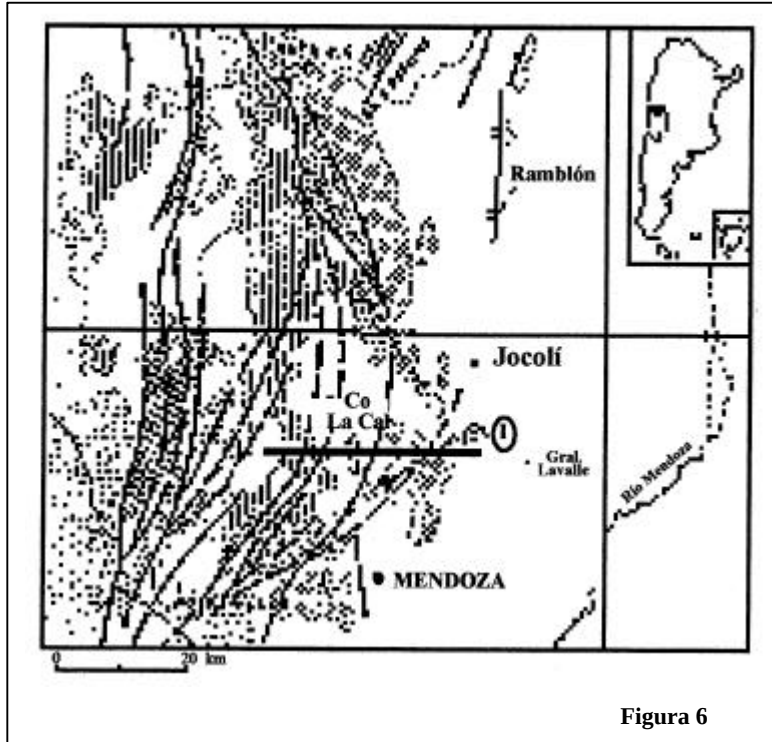


Figura 6

contrastes de resistividades. Luego de la toma de datos se realiza el análisis espectral de los registros, el resultado es un perfil geoelectrico caracterizado por resistividad y espesor de los estratos.

El instrumental utilizado fue un equipo de ElectroMagnetic Instruments (EMI), los registros se realizaron en bandas de frecuencias, que van de 0.008 a 300 Hz, con 0,5, 2, 20 y 500 Hz, como frecuencia de muestreo. A fin de lograr una mayor profundidad de penetración del método, (skin (δ), se realizaron registros con un sensor del campo magnético con un magnetómetro tipo

Flux-Gate (EDA) registrando un dato cada 30 s, con el cual se pudo extender los registros a frecuencias de 0,0002 y 0,0005 Hz. Para el registro del campo eléctrico (telúrico) se utilizaron electrodos impolarizables de Cu-So⁴Cu ubicados a una distancia de 100m entre ellos, en ambas direcciones (Fig. 8).

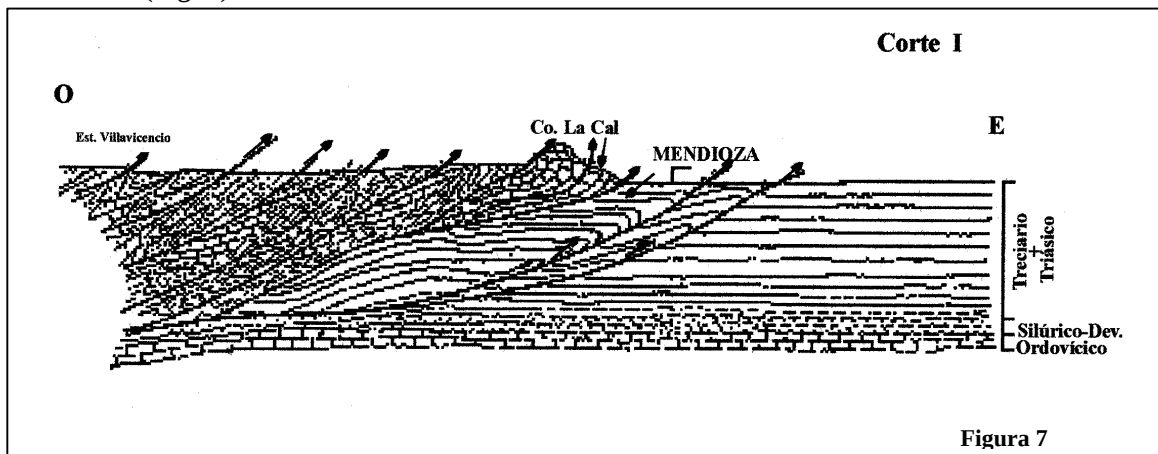


Figura 7

Una vez registradas las series temporales, se realizó el análisis espectral tradicional, basado en el peridiograma, obteniendo el tensor de impedancia:

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix}$$

Luego calculamos la resistividad aparente (r_a) y la fase (f) de la siguiente manera:

$$r_a = |Z(T, z = 0)|^2 \frac{T}{2\pi\mu_0} \quad f = \arg(Z(T, z = 0))$$

donde: T: es el Periodo
 μ_0 : es la permeabilidad magnética en el vacío.
 z: es la profundidad.
 Z: el tensor de impedancia.

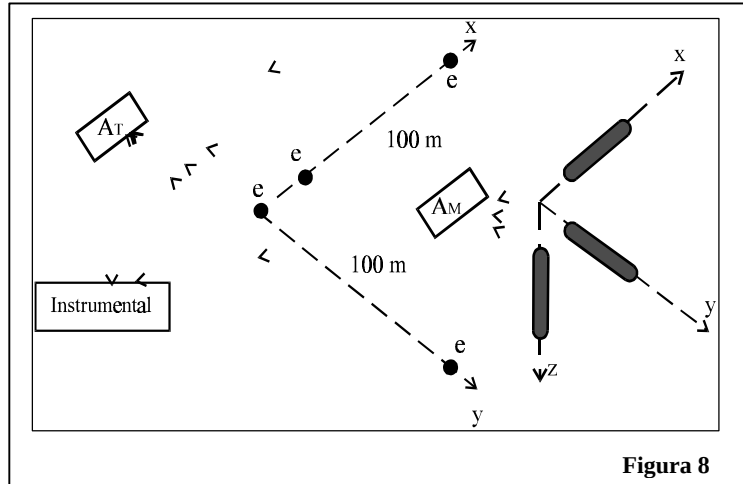


Figura 8

Un concepto a tener en cuenta es el de la profundidad de skin (δ), que es la que nos determina la profundidad de penetración del método Magnetotelúrico, se define como la profundidad en la cual la amplitud de una onda plana es atenuada en $1/e$ dentro de un medio homogéneo, con respecto a la conductividad:

$$d = 500\sqrt{r/f}, \text{ siendo } f$$

la frecuencia.

Analizando los resultados de resistividad aparente en función

de la profundidad, obtenidos, se realizó una inversión 2D.

4. Interpretación y Conclusiones

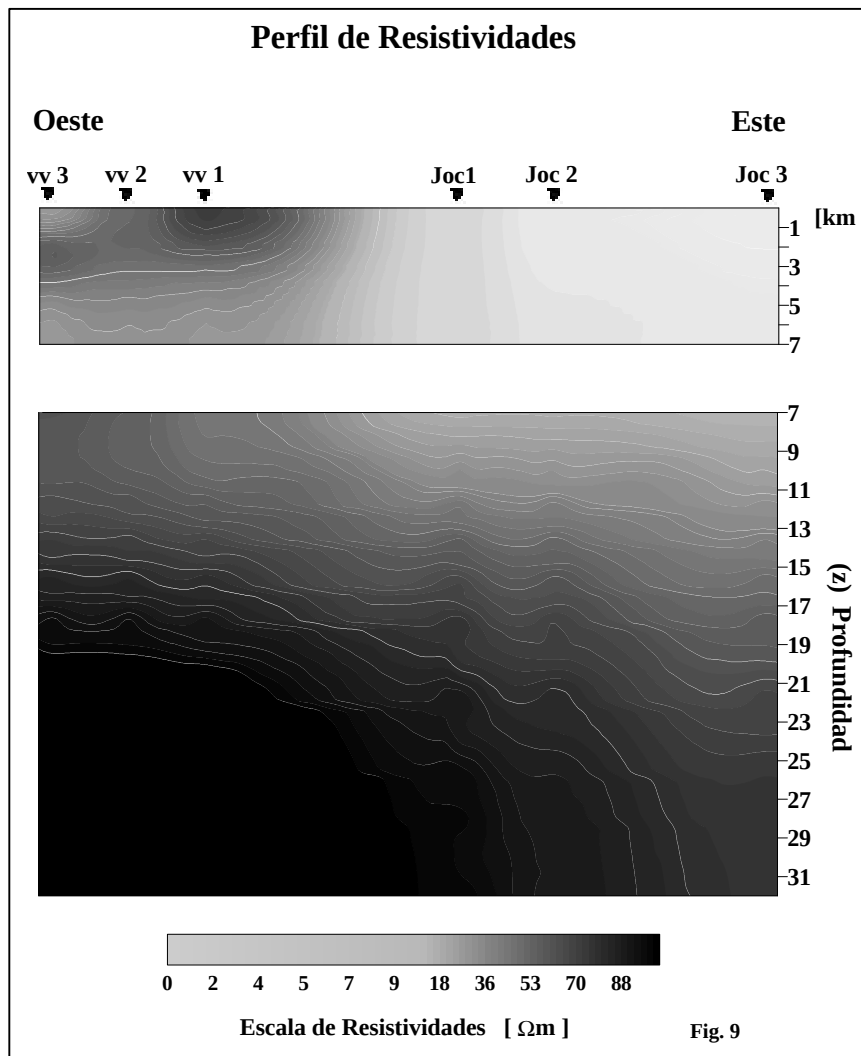
Línea 1

Para cada sondeo se obtuvo un par de curvas de resistividad aparente y fase en función del período, se pudo observar que, para los sondeos vv1, vv2 y vv3, las curvas de resistividad, para ambas direcciones, se separan aproximadamente a los 8 s, esto indicaría una estructura bidimensional, a partir de este periodo, marcando un strike (dirección de rumbo de la estructura) diferente. También se observó como la fase acompaña esta separación. Por ello se realizaron dos inversiones 2D, una que abarca hasta los 7 km de profundidad y la otra desde 7 hasta 32 km, esto concuerda con la información geológica y la interpretación de imagen de satélite que sugieren fuertemente que la región en estudio es tectónicamente compleja y sería semejante a una estructura tipo montura.

En la primera inversión (parte superior de la fig. 9a), se distingue lo que sería la Sa. de las Higueras, en el sondeo vv1. Por debajo de los sondeos joc1, joc2 y joc3 se observa la estratificación de la Cuenca Cuyana, que coincide con los resultados de los autores que han trabajado con diversas metodologías sobre esta cuenca (Bettini, 1980; Figueroa-Ferraris, 1989; Comínguez y Ramos, 1991; Moratello, 1993). Además y considerando las líneas de isoresistividad, se observa claramente que hay penetración por debajo de la Sa. de las Higueras, similar a lo que postulan los trabajos citados anteriormente. Estos mencionan la existencia de un sobrecorrimiento, que aloja un acúñamiento de la cuenca sedimentaria, que se encuentra al Este de la Precordillera. Si se observa la escala de resistividad, en este cambio de la cuenca sedimentaria a Precordillera, hay muy poca diferencia, se interpreta que esto también podría estar influenciado por el estrato superficial más conductor de la cuenca.

Para la segunda inversión (fig.9b) se rotó el tensor de impedancia (para las bajas frecuencias) y se obtuvieron nuevos valores de resistividad aparente y fase, con los cuales se llevó a cabo este procesamiento.

Al analizar ambos modelos en la fig.9, se puede decir que existe una continuidad de la cuenca subyacente de un estrato resistivo, que se encuentra debajo de los sondeos vv1, vv2 y vv3, a



una profundidad aproximada de 6 km. En nuestra interpretación debería tratarse de estratos sedimentarios, por la resistividad obtenida y que coincide con los determinados en la cuenca (joc1, joc2 y joc3). Sin embargo llama la atención del cuerpo resistivo que aparece bajo los sondeos vv3/vv1, a la profundidad de 17 km, no interpretado, ya que, debido a la poca profundidad de penetración del método bajo los sondeos joc1, joc2 y joc3, por la baja resistividad de los estratos, hace imposible la interpretación, de los datos obtenidos a altas profundidades. Se destaca que la presencia de sedimentos de baja

resistividad en superficie disminuye la profundidad de penetración (skin depth) de las ondas electromagnéticas.

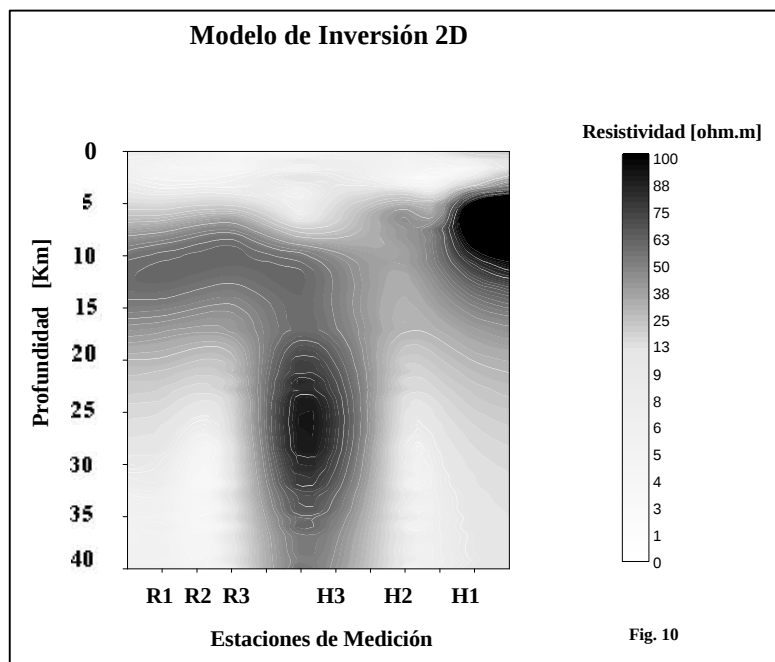
Para grandes profundidades, el modelo 2D no presenta altas resistividades como debería, es evidente que esto es un efecto de encubrimiento debido a la existencia de la cuenca en la parte superficial.

De lo observado anteriormente se puede interpretar que existen estructuras de sobrecorrimientos que dejan por debajo del material resistivo, un estrato conductor (como sería el de la cuenca). Si también ahora analizamos los valores de resistividad determinados en la cuenca, podríamos inferir que se trata de material Triásico, coincidentes con los resultados de la sismica petrolera.

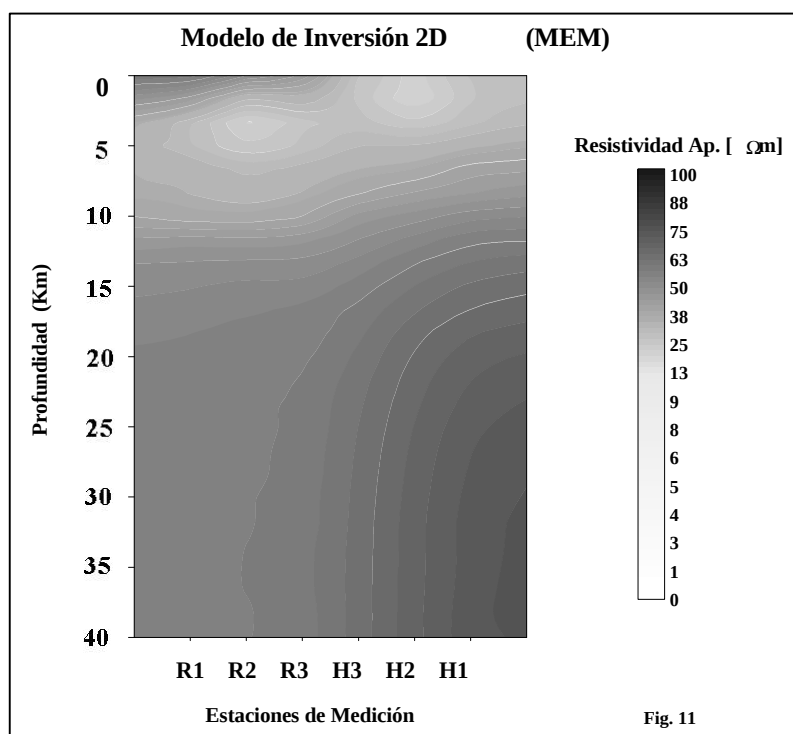
Línea 2

Con los resultados de las curvas de resistividad aparente y de fase, en función de la frecuencia, se llevó a cabo una inversión 2D. Como las series temporales no presentaban una apariencia estacionaria y al hacer el procesamiento se necesitaban grandes registros, la inversión aparece contaminada con sectores de muy baja resistividad, producto de distorsiones galvánicas (fig.10). Esto nos llevó a implementar una nueva metodología de procesamiento paramétrica, la cual no necesita grandes registros, por ello podemos concentrarnos en sectores del registro, donde existe una alta relación señal-ruido. El Método implementado es el análisis espectral de Máxima Entropía Multivariado (MEM), éste resultó muy apropiado para aquellos registros donde las series

temporales, distan de ser estacionarias. Pero no es tan apropiado de aplicar siempre, ya que se debe realizar un gran esfuerzo en encontrar el tamaño del filtro, que utiliza, más apropiado.



En la fig. 11, se puede observar un estrato conductor hasta los 6 km, aproximadamente, que correspondería al paquete sedimentario terciario mas triásico, acuñándose hacia el oeste, debido seguramente al borde de cuenca.



5. Bibliografía

1. Barazangui, M. y B. L. Isacks; 1976. "Spatial Distribution of Earthquakes and Subduction of the Nazca Plate Beneath South America". *Geology* 4: 606-622, Boulder.
2. Bettini F. H.; 1980. "Nuevos Conceptos tectónicos del Centro y Borde Occidental de la Cuenca Cuyana". *Asociación Geológica Argentina, Rev. XXXV* (4): 579-581, Bs. As.
3. Cagniard L.; 1953. "Basic Theory of the Magnetotelluric Method of Geophysical Prospecting". *Geophysics*, 8: 605.
4. Castiglione, E. B., M. Mamaní, C. Moyano; 1995. "Estudio Geofísico de la Cuenca Sedimentaria Triásica en Mendoza". Publicado en: *Actas del First Latin American Geophysical Conference and Exposition of the Latin American Geophysical Union*, Río de Janeiro, Brasil. Volúmen I, Pag.:177-180.
5. Comínguez, A. y V. Ramos; 1990. "Estudio Comparativo de la Curva de Decaimiento de la Amplitud Sónica en las cercanías del Co. Salinas". *Actas del Décimo Congreso Geológico Argentino*. Tomo II.
6. Comínguez, A. y V. Ramos; 1991. "Sísmica de Reflexión Profunda entre Precordillera y Sas. Pampeanas". *Actas del Congreso Geológico Argentino*. Tomo II, 311-314.
7. Figueroa, D. E. y O. R. Ferraris; 1989. "Estructura del Margen Oriental de la Precordillera Mendocina-Sanjuanina". *Actas del Primer Congreso Nacional de Exploración de Hidrocarburos*, Pag.:515-527.
8. Mamaní, M., D. Trad, C. Moyano y E. B. Castiglione; 1995. "Resultados MT en Cuencas Sedimentarias Profundas y Área de Contacto de Provincias geológicas, Mendoza-Argentina"; Publicado en: *The Fourth Internatinal Congress of the Bazilian Society of Geophysicsts*, Río de Janeiro, Brasil. Volúmen II, Pag.:626-629.
9. Vasques J. Y R. A. Gorroño; 1980. "Límite de la Faja Plegada en la República Argentina". *Asociación Geológica Argentina, Rev. XXXV* (4): 582-585, Bs. As.
10. Tyraskis P. y O. Jensen; 1983. " Multichannel Autorregressive Data Models". *IEEE Transactions on Geocience and Remote Sensing*, Vol.GE-21, No. 4, October.
11. *Asociación Geológica Argentina, Rev. XXXV* (4): 582-585, Bs. As.
12. Tyraskis P. y O. Jensen; 1985. " Multichannel Liner Prediction and Maximum Entropy Spectral Analysis Using Least Squares Modelling". *IEEE Transactions on Geocience and Remote Sensing*, Vol.GE-23, No. 2, March.