

**Estudio magnetotelúrico en el
acuífero del Maestrazgo
Proyecto HIPROMA**

Informe preparado para el IGME por

Alejandro Marcuello, Oriol Rosell, Anna Martí, Juanjo Ledo y Pilar Queralt

Dept. Geodinàmica i Geofísica

Universitat de Barcelona

Octubre de 2007

Este trabajo se ha realizado mediante el convenio específico entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Universidad de Barcelona para la realización de un estudio magnetotelúrico en el acuífero del Maestrazgo.

Índice

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	CONTEXTO GEOLÓGICO	2
3.	METODOLOGÍA.....	3
3.1	El Método Magnetotelúrico.....	4
3.2	Instrumentación. Toma de Datos	6
3.3	Tratamiento y Análisis de Datos	8
4.	TRABAJO REALIZADO	9
4.1	Cronología	12
4.2	Incidencias.....	13
4.3	Procesado de los datos obtenidos	14
4.4	Análisis de los datos obtenidos.....	14
5.	INTERPRETACIÓN.....	18
5.1	Perfiles longitudinales	19
5.1.1	Modelo para el perfil L1	19
5.1.2	Modelo para el perfil L2	20
5.1.3	Modelo para el perfil L3	20
5.1.4	Modelo para el perfil L4	21
5.2	Perfiles transversales.....	21
5.2.1	Modelo para el perfil T1	21
5.2.2	Modelo para el perfil T2	22
5.2.3	Modelo para el perfil T3	22
5.2.4	Modelo para el perfil T4	23
5.2.5	Modelo para el perfil T5	23
5.2.6	Modelo para el perfil T6	24
5.2.7	Modelo para el perfil T7	24
6.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	25
	Referencias	30
	APÉNDICE 1: Características de la adquisición.....	33
	APÉNDICE 2: Curvas de resistividad aparente y fase de la campaña.	35
	APÉNDICE 3: Ajustes de los modelos.....	47
	APÉNDICE 4: Especificaciones técnicas de los equipos	63
	APÉNDICE 5: Formato de los archivos de las series temporales (ficheros *.ATS)	65

Índice de figuras

Figura 1: Situación de la zona de trabajo sobre el mapa geológico de la región extraído de Geología de España (J.A. Vera – editor, 2004).	3
Figura 2: Partes del instrumento de AMT	7
Figura 3: Esquema de la colocación de los sensores para los registros magnetotelúricos	8
Figura 4 Situación de las estaciones de registro; los puntos azules corresponden a la campaña de 2005. El límite del acuífero se muestra mediante una línea de cruces. El mapa se ha construido a partir de las hojas 544, 545, 546, 569, 570, 571, 593 y 594 de la serie Magna del IGME.	11
Figura 5: Panel superior: distribución cronológica de las campañas. Panel inferior: distribución geográfica de las estaciones según la escala de colores de panel superior. También se han incorporado las de la campaña de 2005 (azul oscuro).	13
Figura 6: Análisis de la dimensionalidad para cuatro intervalos de frecuencia Los cuadrados corresponden al WALDIM (ver texto para la explicación de los colores), y las cruces al programa Strike e indican las direcciones estructurares (el tamaño está relacionado directamente con la bidimensionalidad de la estructura).	15
Figura 7: Mapas de valores de la fase a 10 y 1 Hz (profundidad creciente). Las áreas rojas indican cambios hacia estructuras conductoras y las azules, a resistentes.	16
Figura 8. Direcciones de los perfiles interpretados 1 y 2. En azul se muestra la ubicación de los pozos de la zona.	17
Figura 9: Modelo geoeléctrico para el perfil L1.	19
Figura 10: Modelo geoeléctrico para el perfil L2.	20
Figura 11: Modelo geoeléctrico para el perfil L3.	20
Figura 12: Modelo geoeléctrico para el perfil L4.	21
Figura 13: Modelo geoeléctrico para el perfil T1.	22
Figura 14: Modelo geoeléctrico para el perfil T2.	22
Figura 15: Modelo geoeléctrico para el perfil T3.	23
Figura 16: Modelo geoeléctrico para el perfil T4.	23
Figura 17: Modelo geoeléctrico para el perfil T5.	24
Figura 18: Modelo geoeléctrico para el perfil T6.	24
Figura 19: Modelo geoeléctrico para el perfil T7.	25
Figura 20: Comparativa de los modelos L1, L2, L3 y L4.	27
Figura 21: Comparativa de los modelos del T1 al T7.	28
Figura 22: Modelo geoeléctricos más profundos para los perfiles L1, L2, L3 y L4.	29
Figura 23: Funciones de respuesta típica de los sensores magnéticos.	63

Índice de tablas

Tabla 1: Coordenadas UTM de las estaciones referidas al huso 30 (Datum EUR50)	10
Tabla 2: Características de las bandas utilizadas por el instrumento GMS06.	12
Tabla 3: Características de los perfiles.	18
Tabla 4: Cabecera del archivo ATS	65

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se presentan los resultados de la campaña audiomagnetoteléfrica (AMT) efectuada en las comarcas de Alt Maestrat, Baix Maestrat y Ports de la provincia de Castellón entre el otoño de 2006 y el verano de 2007. Dicha campaña se ha realizado dentro del marco del proyecto HIPROMA del IGME.

Este trabajo tiene como objetivo la determinación de la potencia de las rocas carbonatadas cretácico-jurásicas y la topografía del basamento triásico para delimitar el acuífero de El Maestrazgo. Esta información es relevante para la elaboración del modelo hidrogeológico de la zona.

El antecedente más inmediato de este trabajo es la campaña audiomagnetoteléfrica que se realizó a finales de verano de 2005, que consistió en la adquisición de datos a lo largo de dos perfiles. Los resultados mostraron por una parte que el método magnetoteléfrico es una herramienta adecuada para caracterizar estas estructuras mesozoicas que por sus dimensiones pueden alcanzar algunos kilómetros de potencia, y por otra parte, que el basamento presenta unos valores de resistividad muy diferentes en uno y otro perfil. Se observó que el basamento era resistivo en el perfil oriental, mientras que era conductor en el occidental. Ello planteó una nueva cuestión sobre una explicación de ese comportamiento y su implicación en la tectónica regional de la zona.

En este trabajo el informe de la campaña anterior (Marcuello *et al.*, 2006) se referirá como Informe 1.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

La zona de estudio se encuentra situada en la Cuenca del Maestrazgo, que pertenece al Sistema Ibérico, del que también forman parte las cordilleras Ibérica y Costera Catalana.

El Sistema Ibérico tiene una arquitectura compleja debido a que a lo largo de su historia geológica ha estado sometido a diferentes episodios extensivos y compresivos, entre los que se pueden identificar los siguientes episodios principales (Salas *et al.*, 2001): 1) El origen del sistema está asociado a las diferentes etapas extensivas y sus episodios *post-rift* que se produjeron entre el Pérmico superior y el Cretácico inferior, que provocaron la apertura y propagación hacia el oeste del Thetys. Como consecuencia de esta extensión la región estuvo cubierta por el mar durante el Mesozoico, lo que dio lugar a una importante acumulación de sedimentos marinos. 2) En el Eoceno se produjo una etapa compresiva asociada a la orogenia alpina, con la inversión de las fallas extensivas mesozoicas, lo que originó la elevación de estos sedimentos formando las cadenas Ibérica y Costera Catalana. 3) Durante el Neógeno un nuevo episodio extensivo asociado a la formación del surco de Valencia provocó la aparición de *grabens* de dirección NE-SO en el Sistema Ibérico.

La Cuenca del Maestrazgo está situada en la denominada Zona de Enlace entre las cordilleras Ibérica y Costera Catalana (figura 1). En la parte norte aparece una zona deformada y fracturada, que corresponde al cinturón de cabalgamientos de Portalrubio-Valdellós. El nivel de despegue de estos cabalgamientos se localiza en los materiales triásicos, si bien hacia el sur este nivel se sitúa dentro del Paleozoico. Los materiales de esta cuenca son predominantemente del Jurásico superior y Cretácico (calizas) aunque también aparecen sedimentos terciarios en los valles.

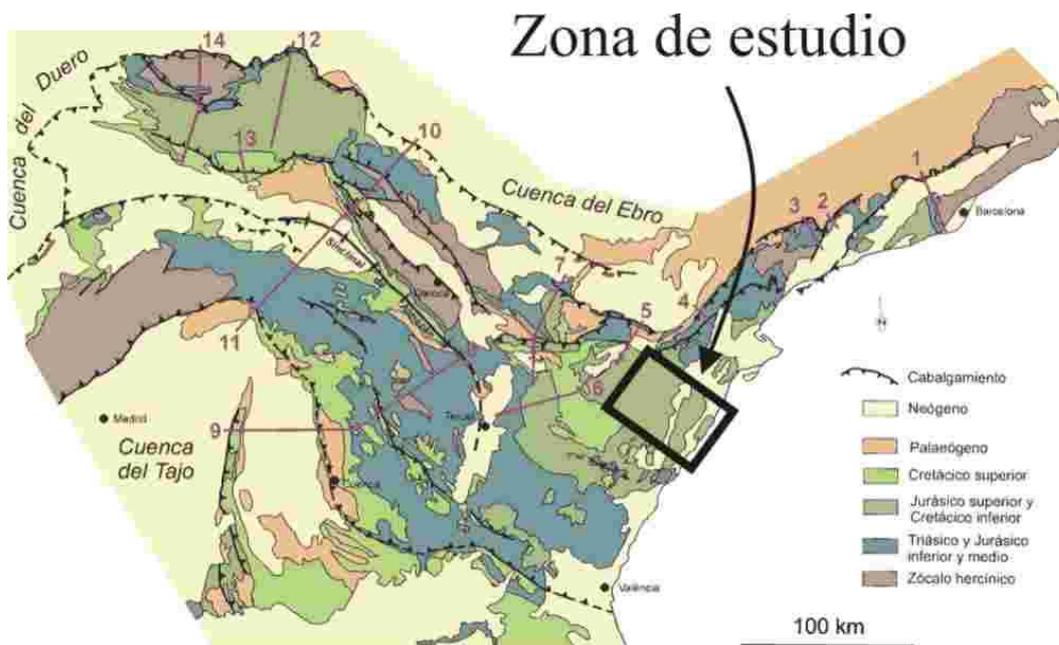


Figura 1: Situación de la zona de trabajo sobre el mapa geológico de la región extraído de Geología de España (J.A. Vera – editor, 2004).

Desde el punto de vista hidrogeológico los materiales de interés son las calizas y las dolomías cretácicas y jurásicas porque constituyen el acuífero libre de esta zona, que descansan sobre materiales triásicos que corresponden al acuitardo. Los materiales triásicos son arcillas, margas y halitas del Muschelkalk y Keuper. La información de pozos y cortes geológicos realizados en las proximidades, así como los modelos obtenidos por la campaña anterior indican que la potencia de los materiales cretácicos y jurásicos puede alcanzar algunos kilómetros.

3. METODOLOGÍA

La campaña de 2005 permitió comprobar que la AMT era el método más adecuado para estudiar el problema propuesto. Los materiales de interés, por un lado calizas y dolomías de edad cretácica y jurásica de una potencia kilométrica y por otro margas, arcillas y sales triásicas, presentan propiedades eléctricas diferentes: las primeras son resistentes y las segundas, conductoras. El método AMT es sensible a la presencia de estructuras conductoras. Una

cuestión aparte merece el comportamiento de las sales triásicas, ya que su resistividad es alta si está seca, pero cuando se disuelven en agua, la disolución resultante es muy conductora.

A continuación se describen algunos de los aspectos más relevantes del método (audio)magnetotelúrico.

3.1 El Método Magnetotelúrico

Es una técnica de exploración geofísica de fuente natural basada en el fenómeno de la inducción electromagnética. La fuente externa se asocia tanto a las perturbaciones electromagnéticas producidas por las tormentas, como a las corrientes ionosféricas, que en ambos casos inducen en el subsuelo unas densidades de carga y corrientes eléctricas cuya distribución depende de la resistividad eléctrica del suelo. La determinación de la distribución de resistividad es el objetivo del método magnetotelúrico.

Cuando las ondas electromagnéticas se propagan en un medio conductor (el suelo) sufren una atenuación que depende de la frecuencia de la señal y de la resistividad del medio. Esta atenuación se evalúa mediante la penetración (o *skin depth*), que corresponde a la profundidad a la que la amplitud se ha reducido a un 37%. Para un medio homogéneo de resistividad ρ la penetración tiene el valor aproximado de $0,5(\rho/f)^{1/2}$ km cuando ρ y f se dan en unidades del SI. Esto indica que el amortiguamiento es mayor en las señales de alta frecuencia (periodos bajos) que en las de baja frecuencia (periodos altos), y en consecuencia la frecuencia de la señal va a determinar la profundidad de estudio. También indica que en medios conductores la penetración es menor que en medios resistentes, por lo que este método es adecuado para "atravesar" medios resistentes.

A partir de la correlación de los campos horizontales eléctrico (\mathbf{E}_h) y magnético (\mathbf{H}_h) registrados simultáneamente en el mismo punto se puede definir la impedancia \mathbf{Z} según la expresión:

$$\vec{E}_h(f) = Z(f)\vec{H}_h(f), \text{ o en componentes: } \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix}, \quad [1]$$

donde f es la frecuencia.

La magnitud \mathbf{Z} es un tensor complejo, y depende exclusivamente de la distribución de la resistividad eléctrica del suelo y de la frecuencia (o de su inversa, el periodo). A partir de \mathbf{Z} se pueden definir la resistividad aparente y la fase para cada uno de los elementos del tensor de impedancia en función de la frecuencia según las siguientes expresiones:

$$\rho_{a,ij}(f) = \frac{1}{2\pi f \mu} |Z_{ij}(f)|^2 \quad y \quad \varphi_{ij}(f) = \arctg\left(\frac{\text{Im} Z_{ij}(f)}{\text{Re} Z_{ij}(f)}\right) \quad [2]$$

donde $\mu \cong \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}/(\text{Am}^{-1})$.

A veces se toma para la resistividad aparente y fase unos valores que engloban toda la información del tensor, como los que corresponden a considerar el determinante del tensor de impedancia, $\det(\mathbf{Z})$, y no sus elementos aislados:

$$\rho_a^{DET}(f) = \frac{1}{\mu 2\pi f} |\det(\mathbf{Z})| \quad y \quad \varphi^{DET}(f) = \frac{1}{2} \arg(\det(\mathbf{Z})) \quad [3]$$

Esta expresión puede ayudar en la interpretación que sea independiente de las direcciones de medida, porque los valores del determinante son invariante bajo rotaciones. Además la fase del determinante tiene la propiedad de no estar afectada por las distorsiones galvánicas (*static shift*).

En el caso en que las estructuras geoelectricas sean predominantemente bidimensionales se puede simplificar la expresión del tensor de impedancia a sólo dos elementos si la dirección de medida coincide con la dirección

estructural o su perpendicular. Cuando la dirección estructural corresponde a la dirección x, entonces la expresión [1] puede escribirse como

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & Z_{TE} \\ Z_{TM} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix}, \text{ o de forma compacta } \vec{E}_h(f) = Z_{2D}(f) \vec{H}_h(f) \text{ [4].}$$

El modo TE corresponde a la situación en la que el campo eléctrico se ha medido en la dirección estructural y el TM, al caso en que sea el campo magnético el que se mida en esa dirección. En la interpretación bidimensional se invierten las curvas de resistividad aparente y fase de estos dos modos.

El paso de la expresión [1] a la [4] corresponde matemáticamente a un producto matricial $Z_{2D} = R^T Z R$, donde R es la matriz de rotación, y permite pasar de cualquier dirección de medida a la dirección estructural.

3.2 Instrumentación. Toma de Datos

El instrumento consta de una estación de registro, los sensores eléctricos y magnéticos y un ordenador personal que controla la adquisición (figura 2), todo el sistema está alimentado por baterías de 12V. Los sensores magnéticos son bobinas de inducción de forma cilíndrica con una longitud de 1,25 m y un diámetro de 7,5 cm. Como sensores eléctricos se emplean electrodos impolarizables y se disponen en campo en forma de cruz para registrar en la superficie las dos componentes horizontales del campo eléctrico; la longitud del dipolo eléctrico es del orden de 50 m. Todos los sensores se conectan a la estación de registro, tal como se muestra en la figura 3.

Todos los sensores se orientan según dos direcciones perpendiculares. En esta campaña se han tomado las direcciones N-S y E-O.



PC de control



Unidad de registro y baterías



Detalle de un electrodo impolarizable



Bobina

Figura 2: Partes del instrumento de AMT

El registro de las componentes del campo electromagnético en superficie se realiza simultáneamente, de manera que los datos se digitalizan a una frecuencia de muestreo seleccionada por el operador y se almacenan en la estación de registro, para una transferencia posterior a un ordenador portátil.

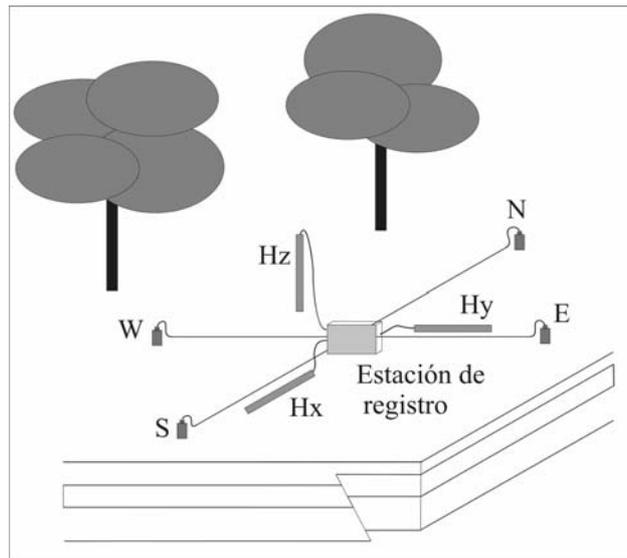


Figura 3: Esquema de la colocación de los sensores para los registros magnetotelúricos

3.3 Tratamiento y Análisis de Datos

El tratamiento de los datos permite obtener la impedancia (y las curvas de resistividad aparente y fase) a partir de los registros temporales de los campos. Para ello es preciso preparar estos registros para pasarlos al dominio espectral (o de frecuencias) mediante la transformada de Fourier. Posteriormente a partir de las relaciones lineales [1] se puede determinar una estimación del tensor de impedancia.

La calidad de esta estimación se basa en dos criterios:

- a) El análisis de la coherencia para cada frecuencia, que permite comprobar que existe una correlación entre los registros eléctrico y magnético.

- b) La dispersión de los datos, que permite estimar la barra de error cuando se considera una frecuencia (ej. Bendat y Piersol, 1971), y también permite detectar la presencia de datos anómalos (*outliers*) en las curvas, ya que la distribución debe ser regular.

Una vez obtenidas las curvas de resistividad aparente y fase para todas las estaciones se pasa a analizar tres aspectos:

- a) la *dimensionalidad* de la estructura geoelectrica, ya que el carácter tensorial de la impedancia permite identificar si los datos se ajustan a una estructura uni-, bi- o tridimensional.
- b) Cuando las estructuras geoelectricas siguen un patrón bidimensional es posible determinar la dirección de la estructura o *direccionabilidad*.
- c) Finalmente se efectúa la corrección del *static shift*, para eliminar los efectos de heterogeneidades próximas a los electrodos, que provocan un desplazamiento vertical de las curvas de resistividad aparente. Esta corrección es necesaria para evitar interpretaciones erróneas.

Después de este proceso se obtienen las curvas de resistividad aparente y fase preparadas para iniciar la interpretación, que se realiza mediante del ajuste entre las respuestas del modelo y los datos de campo.

4. TRABAJO REALIZADO

La adquisición se diseñó a lo largo de perfiles según las direcciones NO-SE, y SO-NE, para poder cubrir la zona de interés mediante una cuadrícula. Además se tuvieron en cuenta 14 estaciones de la campaña de 2005.

La adquisición de datos se programó a partir de campañas de duración semanal que se realizaron entre otoño de 2006 y verano de 2007. En total se han realizado seis campañas, que se completaron con otra de menor duración que se efectuó al final. En total se han registrado 52 estaciones.

Para los registros se usaron los dos instrumentos del modelo GSM06 de la empresa alemana *Metronix* que pertenecen a la Universidad de Barcelona, cuyas características principales están descritas en el anexo 1. Sus números de serie son 60 y 76, que se identifican en los archivos como #001 y #076 respectivamente, por ser esta la numeración que aparece en la cabecera de los registros.

Las coordenadas de las estaciones se obtuvieron con un GPS de la marca *Magellan* y modelo *Meridian Platinum*, con una precisión entre 1 y 3m, que es suficiente para localizar la estación magnetoteléfica ya que la separación entre los electrodos ha sido del orden de 50 m. En la tabla 1 se presentan los valores de la posición en coordenadas UTM referidas al huso 30, la altura esta medida sobre el mapa. En la figura 4 se muestra la localización de las estaciones en la zona de estudio.

Tabla 1: Coordenadas UTM de las estaciones referidas al huso 30 (Datum EUR50)

Estación	X	Y	Z	Estación	X	Y	Z
M20	768472	4469862	360	M56	748470	4488790	1160
M21	754164	4474335	545	M57	740191	4496303	790
M22	761563	4473087	540	M58	750193	4494858	995
M23	771263	4469343	220	M61	733357	4498618	970
M24	765764	4464638	320	M62	732497	4488398	1060
M25	763858	4463438	205	M63	729094	4484982	1240
M26	762786	4459315	330	M64	739583	4499593	890
M27	766765	4470840	350	M65	740599	4501609	935
M31	782426	4479223	160	M66	739868	4505167	710
M32	773412	4472663	405	M67	741174	4510337	690
M33	778858	4468005	240	M68	743395	4513599	850
M34	777500	4463851	130	M69	739595	4481256	1030
M35	772327	4462385	60	M70	736509	4478326	990
M36	783188	4468560	105	M71	753319	4496830	1070
M41	772950	4482163	360	M80	755711	4458189	415
M42	775453	4480833	325	M81	754749	4469067	590
M43	767190	4484992	380	M82	752052	4465782	540
M44	762040	4488411	550	M83	766654	4489251	460
M45	747759	4498065	955	M84	770592	4492057	400
M46	753997	4493283	810	M85	742305	4477153	940
M47	771027	4483208	300	M86	739389	4472411	840
M51	772409	4478224	470	M87	752385	4488332	750
M52	766622	4479830	340	M88	768933	4475474	385
M53	761579	4481423	450	M95	775112	4487446	310
M54	755910	4483407	635	M96	749234	4472990	605
M55	743511	4492527	915	M97	743264	4467347	810

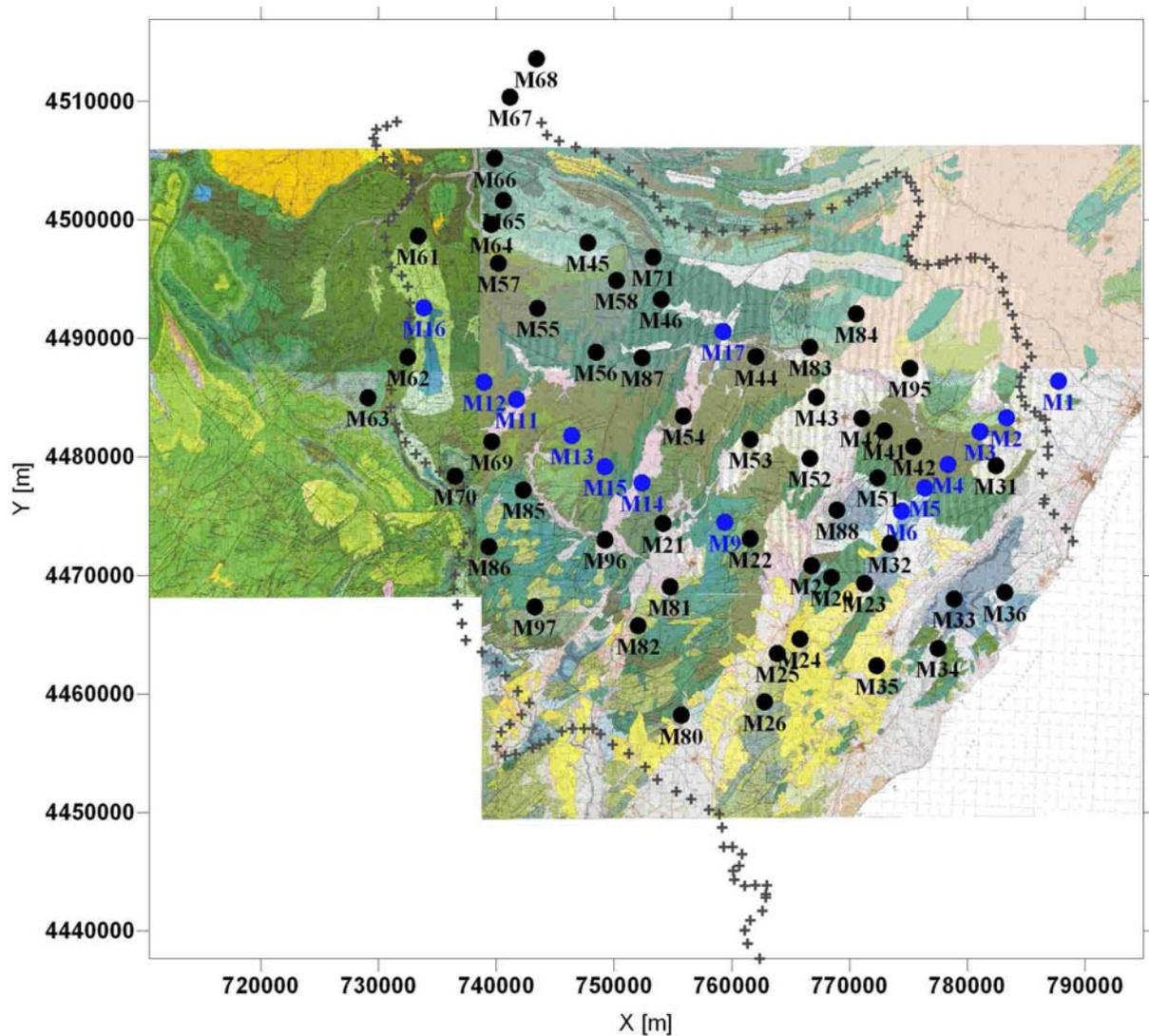


Figura 4 Situación de las estaciones de registro; los puntos azules corresponden a la campaña de 2005. El límite del acuífero se muestra mediante una línea de cruces. El mapa se ha construido a partir de las hojas 544, 545, 546, 569, 570, 571, 593 y 594 de la serie Magna del IGME.

Para optimizar la capacidad de registro de los instrumentos, el rango de frecuencias de interés (entre 0,01 y 1000 Hz) está dividido en diferentes intervalos o bandas, cada una con una determinada frecuencia de muestreo, que vienen indicadas en la tabla 2.

Tabla 2: Características de las bandas utilizadas por el instrumento GMS06.

Banda	Rango de frecuencias	Frecuencia de muestreo
LF1	10-1000 Hz	4096 Hz
Free	2-240 Hz	512 Hz
LF2	0,5-30 Hz	64 Hz
LF3	0,015-0,9 Hz	2 Hz (a partir de la LF2)

4.1 Cronología

Tal como se ha indicado el trabajo de campo se realizó en seis campañas más una corta al final entre otoño de 2006 y verano de 2007. La distribución cronológica de las campañas se muestra en el panel superior de la figura 5, y las estaciones medidas en cada campaña en el panel inferior de esa figura.

Los responsables de ellas fueron A. Marcuello, A. Martí y O. Rosell, y también participaron otros miembros del departamento como M. Coll, F. Bellmunt y E. Falgàs. También colaboró en una campaña J.L. Plata del IGME.

En el apéndice 1 se recogen a modo de resumen las características principales (instrumento y bobinas usadas, y longitud de los dipolos eléctricos) de los registros en cada estación.

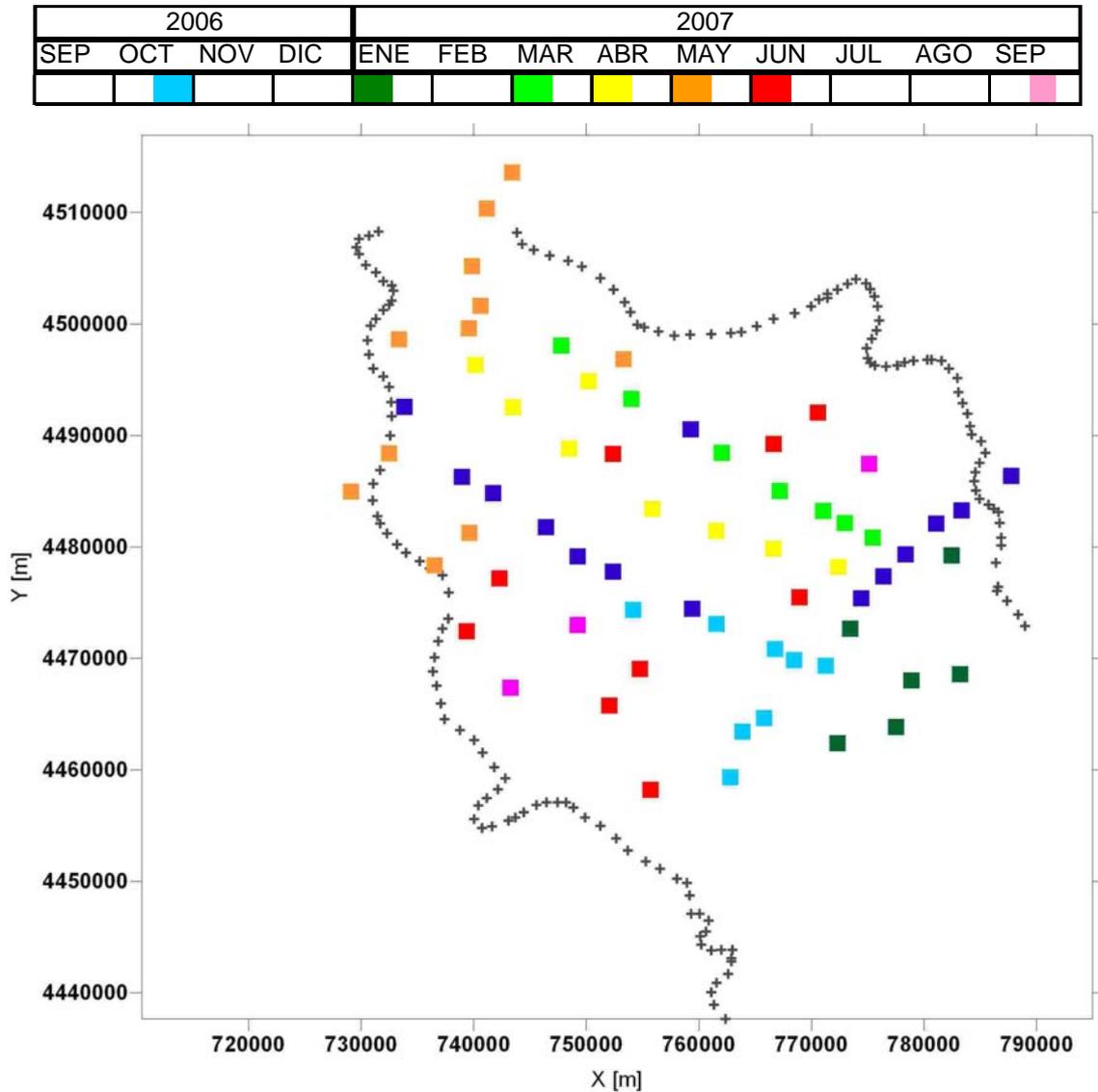


Figura 5: Panel superior: distribución cronológica de las campañas. Panel inferior: distribución geográfica de las estaciones según la escala de colores de panel superior. También se han incorporado las de la campaña de 2005 (azul oscuro).

4.2 Incidencias

Gracias a la experiencia de la campaña de 2005 que permitió conocer la zona así como la respuesta geoelectrica, no ha habido incidencias destacables durante la adquisición. Únicamente cabe mencionar que el inicio de dos campañas tuvo que posponerse por culpa de las lluvias.

4.3 Procesado de los datos obtenidos

Como resultado final del proceso de las series temporales se obtienen los valores de la impedancia, y a partir de ella, los de la resistividad aparente y la fase para cada frecuencia aplicando las fórmulas [2]. Las curvas de resistividad aparente y fase se muestran en el apéndice 2, en donde también se han incorporado para la interpretación final las curvas de la campaña de 2005.

4.4 Análisis de los datos obtenidos

Para determinar si las estructuras geoelectricas son principalmente uni-, bi- o tridimensionales se ha realizado el análisis de la *dimensionalidad* mediante la implementación realizada por Martí *et al.* (2004) del método WAL desarrollado por Weaver *et al.* (2000). Los resultados se muestran en la figura 6. En ella se indican mediante cuatro paneles los cuatro intervalos de frecuencia entre 100 y 0,01 Hz, que representan diferentes profundidades de estudio. El color rojo indica que la estructura que describe los datos de esa estación para ese intervalo de frecuencias es tridimensional; el verde, que la estructura puede ser uni- o bidimensional, y sin color cuando la estructura queda indeterminada.

En la figura 6 también se muestra los resultados del programa *Strike* (McNeice y Jones, 2001), que muestra la *direccionabilidad* geoelectrica cuando la estructura regional es bidimensional empleando el esquema de la descomposición de Groom y Bailey (Groom y Bailey, 1989).

Los resultados del método WAL (los cuadrados rojos y verdes de la figura) muestran que la estructura geoelectrica dominante para toda la región de estudio y las frecuencias (profundidades) medidas no es perfectamente bidimensional. A partir de 1 Hz la estructura geoelectrica regional parece ser tridimensional, a excepción de una zona de estaciones situadas al SE.

El programa *Strike* identifica la dirección estructural y su perpendicular mediante una cruz, cuyo tamaño está relacionado con el grado de validez de la aproximación bidimensional. En este caso los resultados no son totalmente equivalentes a los del análisis WAL.

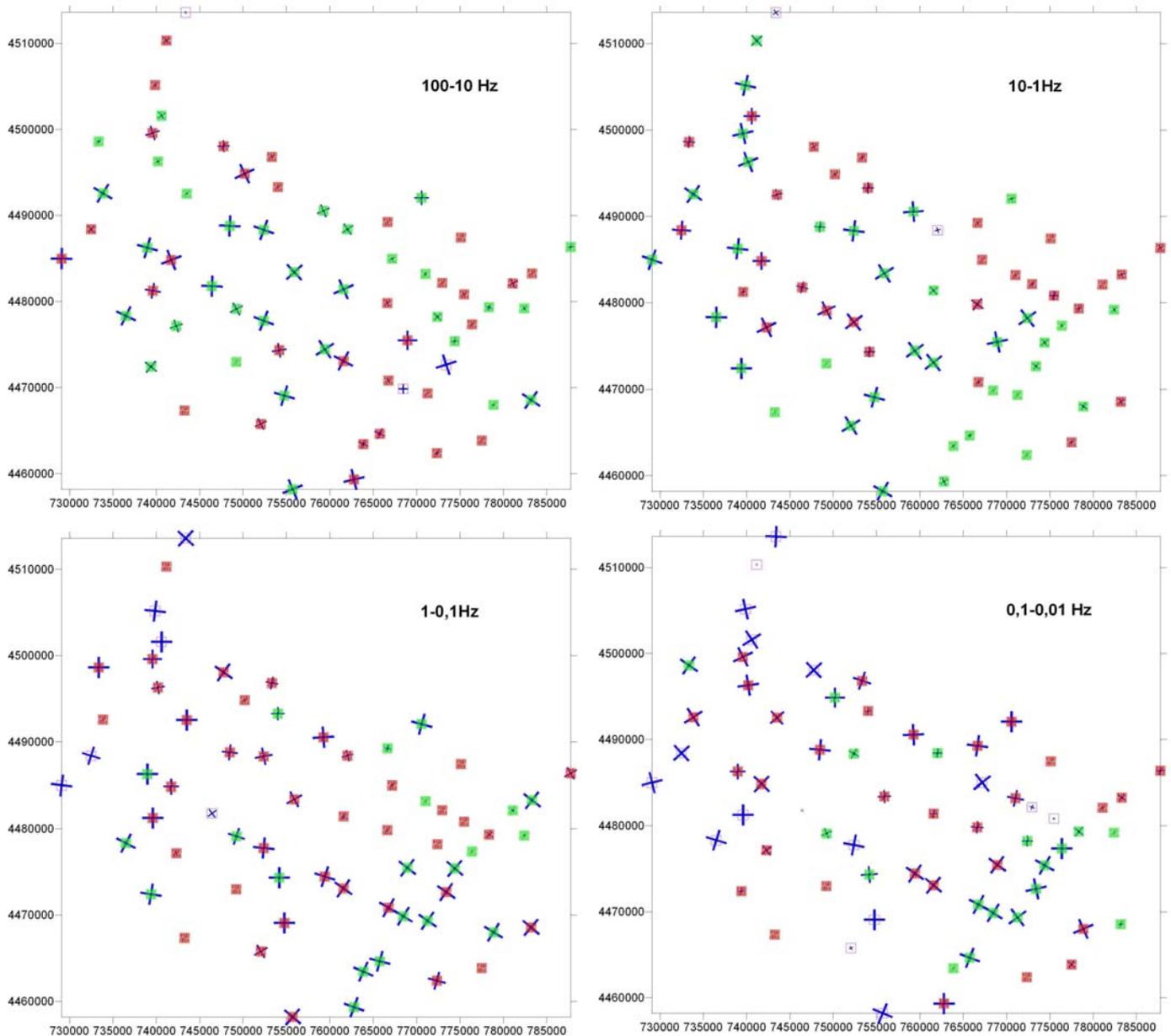


Figura 6: Análisis de la dimensionalidad para cuatro intervalos de frecuencia. Los cuadrados corresponden al WALDIM (ver texto para la explicación de los colores), y las cruces al programa Strike e indican las direcciones estructurales (el tamaño está relacionado directamente con la bidimensionalidad de la estructura).

Como los resultados de la figura 6 no eran concluyentes, se abordó la cuestión de la *dimensionalidad* de una manera diferente.

En la figura 7 se muestran dos mapas de fases del determinante para las frecuencias de 10 y 1 Hz. La fase se ha calculado según la expresión [3] y como ya se ha indicado es una magnitud que no depende de las direcciones de medida ni está afectada por *static shift*. En el panel superior se tiene el mapa

para 10 Hz y se observa que no es excesivamente heterogéneo; en el panel inferior (1 Hz), se identifica claramente una región más conductora en el oeste y más resistiva hacia el sureste. Considerando ese comportamiento como el regional se ha asumido para la realización de la interpretación bidimensional que los perfiles adecuados tendrán la dirección NO-SE (60°W). Complementariamente también se consideran los perfiles perpendiculares con dirección SO-NE (30°E), aunque los modelos que se obtengan para estos perfiles deberán ser tomados con mayor cautela.

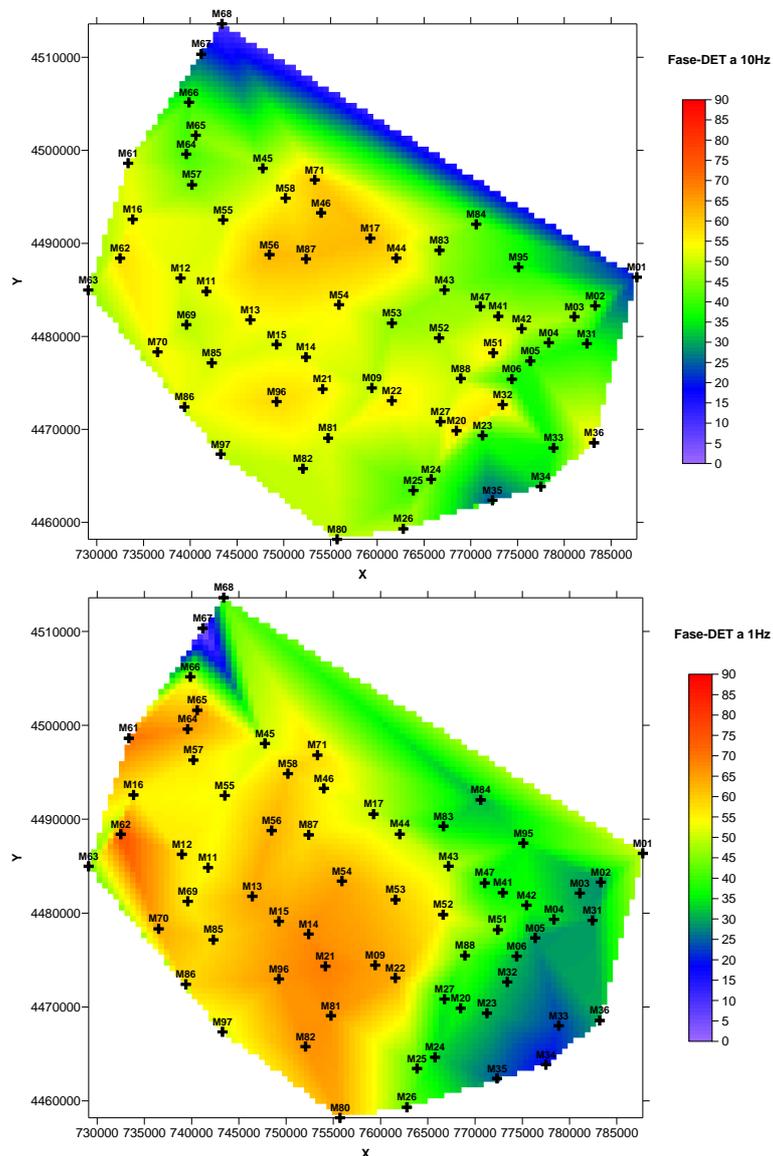


Figura 7: Mapas de valores de la fase a 10 y 1 Hz (profundidad creciente). Las áreas rojas indican cambios hacia estructuras conductoras y las azules, a resistentes.

La distribución final de las estaciones ha permitido considerar 11 perfiles: cuatro principales según la dirección NO-SE denominados L1, L2, L3 y L4, que se designarán en este informe “longitudinales”, y siete complementarios con la dirección SO-NE, o transversales, que se han identificado como T1 - T7. En la figura 8 se muestra su distribución así como la posición de los pozos en la región. Las estaciones consideradas en cada perfil se indican en la tabla 3.

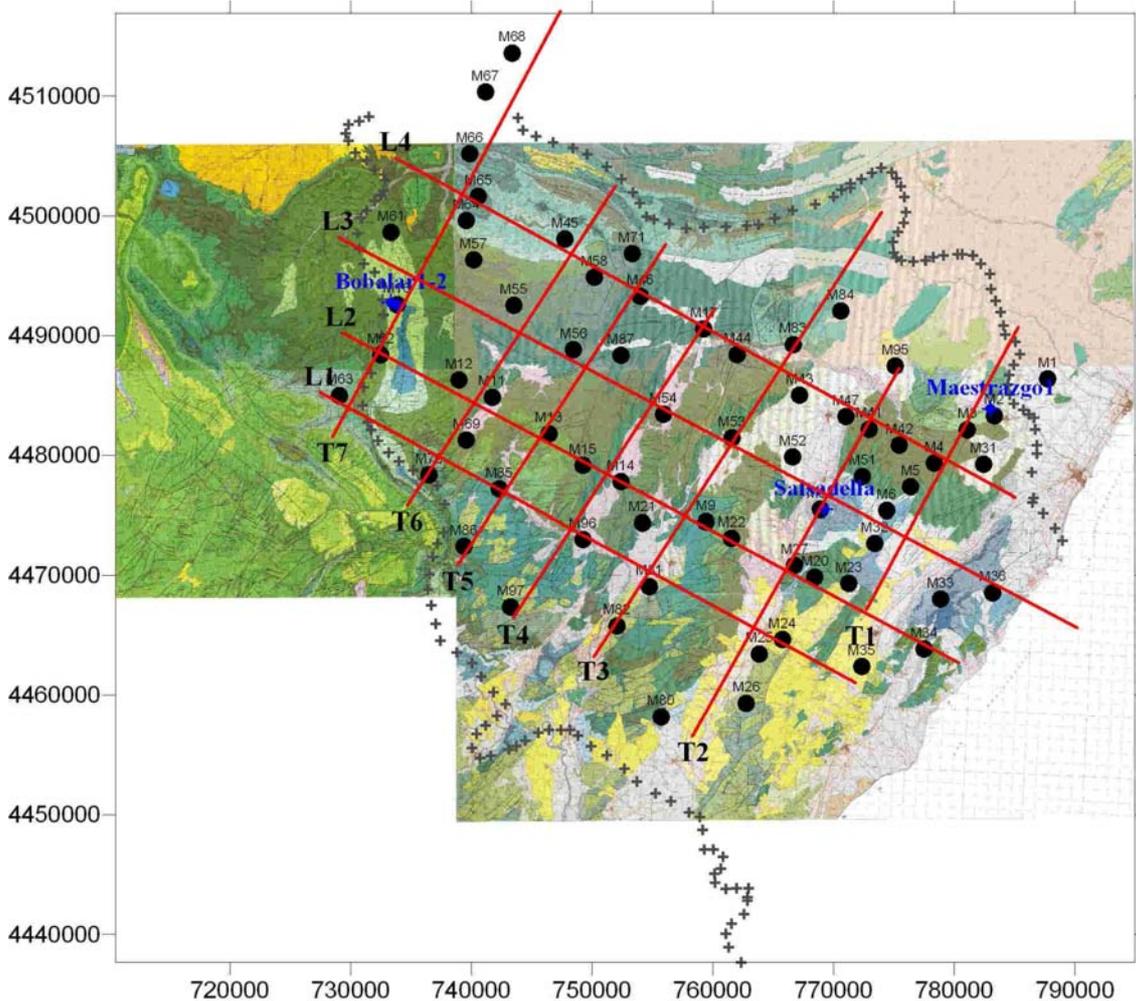


Figura 8. Direcciones de los perfiles interpretados 1 y 2. En azul se muestra la ubicación de los pozos de la zona.

Para construir las curvas empleadas en la interpretación, se ha rotado 30°E el tensor de impedancias de las estaciones utilizadas en los perfiles NO-SE, y 60°O en las usadas en los perfiles SO-NE. Esto provoca que si una estación pertenece simultáneamente a dos perfiles, se interpretará con datos diferentes según el perfil que se considere y eso será válido si las dos polarizaciones no

divergen. En los perfiles transversales y a partir de las figuras del apéndice 2 esto se considera aceptable para frecuencias mayores que 1 Hz.

Tabla 3: Características de los perfiles.

Nombre	Orientación	Estaciones
L1	NO-SE	M63, M70, M86, M96, M81, M25, M24 y M35
L2	NO-SE	M62, M12, M11, M13, M15, M14, M21, M09, M22, M27, M20, M23 y M24
L3	NO-SE	M61, M16, M57, M55, M56, M87, M54, M53, M52, M51, M06, M33 y M36
L4	NO-SE	M66, M65, M45, M58, M71, M46, M17, M44, M83, M43, M47, M41, M42, M04 y M31
T1	SO-NE	M23, M32, M06, M05, M04, M31, M03, M02 y M01
T2	SO-NE	M80, M26, M25, M24, M27, M88, M51, M41 y M95
T3	SO-NE	M82, M81, M21, M09, M53, M43, M83 y M84
T4	SO-NE	M97, M96, M14, M54 y M17
T5	SO-NE	M86, M85, M13, M56, M87, M46 y M71
T6	SO-NE	M70, M69, M11, M55, M58 y M45
T7	SO-NE	M63, M62, M16, M61, M57, M64, M65, M66, M67 y M68

Para la corrección del *static shift* se ha distinguido entre las estaciones tomadas sobre las calizas y las tomadas sobre los sedimentos, y se ha contemplado el valor promedio de las frecuencias altas para cada caso. También se ha considerado el comportamiento de las estaciones próximas.

5. INTERPRETACIÓN

En la interpretación se han contemplado las 66 estaciones, las 52 de la campaña actual y 14 de la campaña de 2005. Se ha invertido cada uno de los perfiles indicados en la tabla 3, de manera que los modelos tienen el mismo nombre que los perfiles. Para la inversión se han considerado el rango de frecuencias entre 1000 y 0,01 Hz con los datos rotados. Los modelos 2D para los perfiles se han obtenido mediante el algoritmo RLM2DI (Rodi y Mackie, 2001), que invierte las curvas de resistividad aparente y fase de ambas polarizaciones, y se han adaptado a la topografía.

La calidad de los ajustes entre respuestas y datos se valora mediante el RMS para cada modelo que se calcula con la expresión:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(d_i - f_i)^2}{\epsilon_i^2}}, \quad [5]$$

donde d_i son los datos (tanto $\ln \rho_a$ como φ); f_i , las respuestas calculadas por el modelo para esos datos; ε_i , la barra de error, y N , el número de datos. Como *error floor* se ha tomado 5% para la resistividad aparente y 1,5° para las fases.

En los apartados siguientes se muestran los modelos hasta 4km de profundidad, para poder caracterizar las estructuras mesozoicas. Los colores azules corresponden a los objetos eléctricamente resistentes, que se asocian a las calizas y dolomías mesozoicas; los colores rojos, amarillos y parte de los verdes se relacionan con materiales conductores y se asocian a las arcillas y margas, que pueden ser tanto triásicas como terciarias. Los modelos están a escala 1:1.

Los ajustes entre las respuestas de los modelos y las curvas de resistividad aparente y fase de campo se recogen en el apéndice 3. Los resultados se han estructurado en dos bloques: los perfiles longitudinales y los transversales. Por el carácter complementario que se ha dado los últimos sólo se ha invertido hasta 1 Hz.

5.1 Perfiles longitudinales

5.1.1 Modelo para el perfil L1

Como resultado para el perfil L1 se ha obtenido el modelo que se presenta en la figura 9.

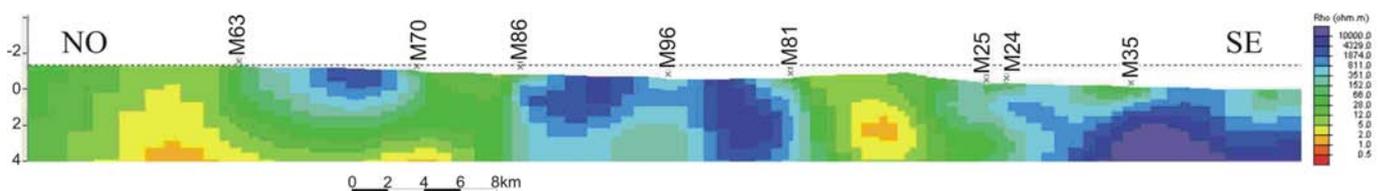


Figura 9: Modelo geoelectrico para el perfil L1.

El valor de RMS obtenido ha sido de 4,25. En este primer modelo longitudinal se observa que la parte superior es más resistente (azules) si bien aparece una

zona más conductora entre las estaciones M81 y M25. Los extremos SE y NO muestran una tipología diferente, de carácter resistente hacia el SE y conductor hacia el NO.

5.1.2 Modelo para el perfil L2

Para los datos del perfil L2 se ha procedido de la misma manera que en el caso anterior, y el modelo obtenido se muestra en la figura 10. Este perfil coincide parcialmente con el perfil P2 del Informe 1.

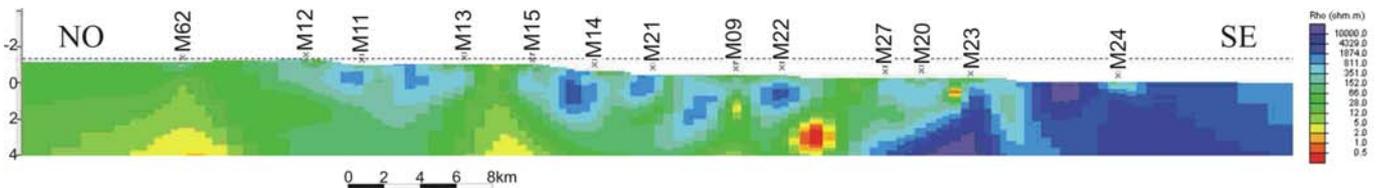


Figura 10: Modelo geoelectrico para el perfil L2.

Para este modelo el RMS ha sido de 3,06. Tiene un comportamiento similar al modelo anterior, si bien los cuerpos resistentes son más pequeños. También aparecen zonas más conductoras entre las estaciones M22 y M27, y entre M13 y M15

5.1.3 Modelo para el perfil L3

Para el perfil L3 se ha obtenido el modelo que se presenta en la figura 11.

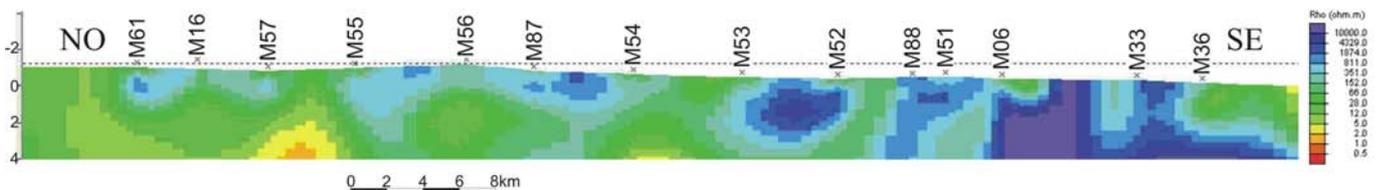


Figura 11: Modelo geoelectrico para el perfil L3.

El RMS conseguido en este caso ha sido de 4,17. Las características son similares al modelo anterior.

5.1.4 Modelo para el perfil L4

Para los datos del perfil L4 se ha procedido igual que en los casos anteriores, y el modelo se presenta en la figura 12.

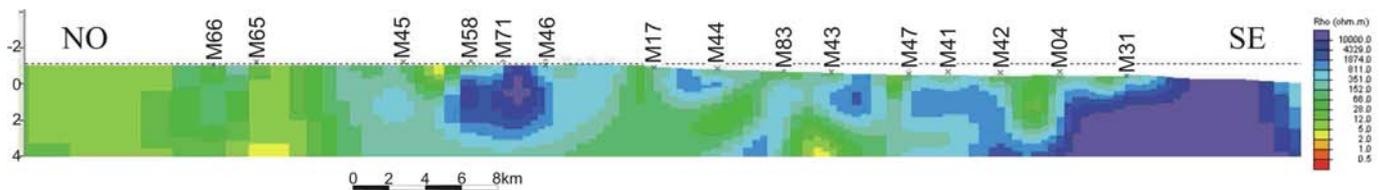


Figura 12: Modelo geoelectrico para el perfil L4.

El RMS ha sido de 3,06. Igual que en los modelos anteriores las estructuras resistentes aparecen en la superficie, y los extremos NO y SE presentan un comportamiento geoelectrico muy diferente.

Estos modelos longitudinales tienen unas características generales muy similares: un extremo NO más conductor y un extremos SE muy resistente, con una zona central que muestra unos cuerpos resistentes en superficie y un basamento más conductor. Ello confirma la hipótesis de que la dirección estructural regional es predominantemente SO-NE.

5.2 Perfiles transversales

5.2.1 Modelo para el perfil T1

En el perfil T1 se ha obtenido el siguiente modelo que se enseña en la figura 13.

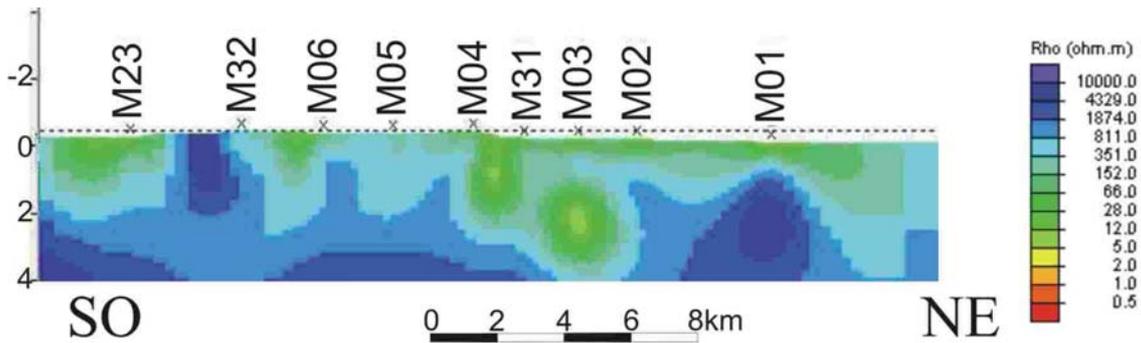


Figura 13: Modelo geoelectrico para el perfil T1.

Se ha determinado un valor de RMS de 5,03. En este primer modelo transversal la parte superficial es más conductora y la profunda, más resistente, si bien también varía desde el SO hacia el NE.

5.2.2 Modelo para el perfil T2

El modelo del perfil T2 se muestra en la figura 14.

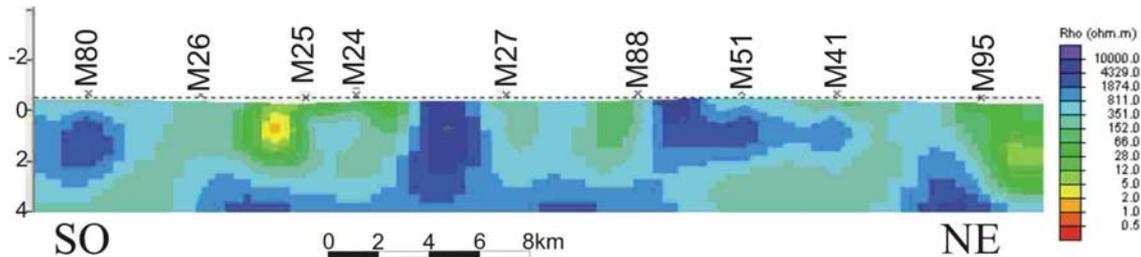


Figura 14: Modelo geoelectrico para el perfil T2.

El RMS ha sido de 3,11. Igual que en el modelo anterior la parte profunda es resistente, pero a diferencia del anterior, la parte superficial también es mayoritariamente resistente.

5.2.3 Modelo para el perfil T3

Como resultado de la inversión para el modelo T3 se ha obtenido el corte geoelectrico mostrado en la figura 15.

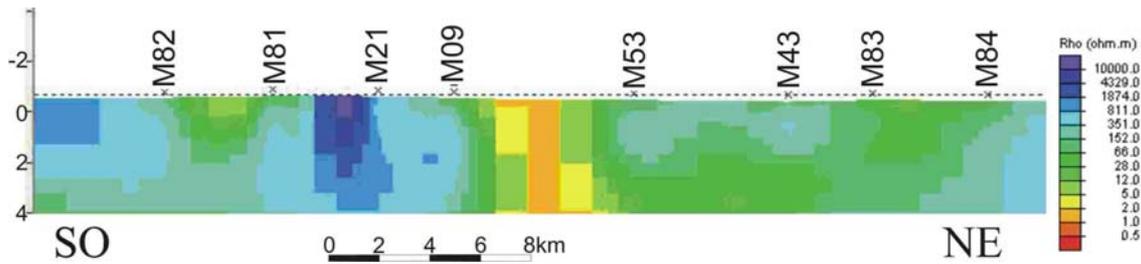


Figura 15: Modelo geoelectrico para el perfil T3.

El valor de RMS obtenido ha sido de 3,52. Este modelo es muy diferente de los dos modelos transversales anteriores. La parte NE es más conductora y entre las estaciones M09 y M53 aparece una zona conductora.

5.2.4 Modelo para el perfil T4

Con los datos del perfil T4 se ha elaborado el modelo que se muestra en la figura 16.

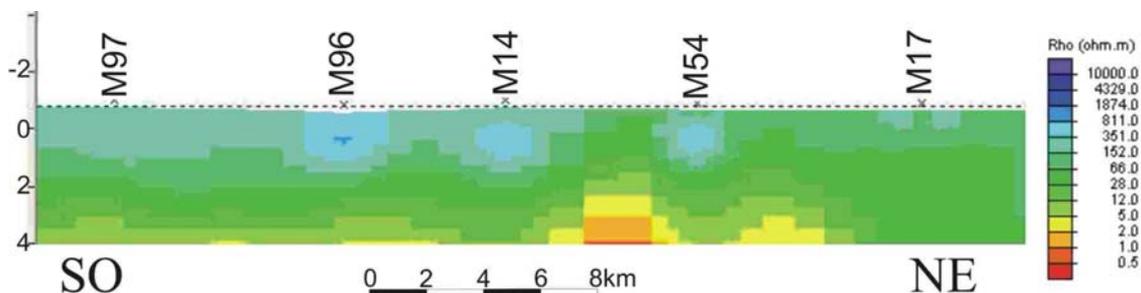


Figura 16: Modelo geoelectrico para el perfil T4.

El RMS ha sido de 2,90. Este modelo se ha ajustado con sólo cinco estaciones y presenta una parte superficial más resistente que la parte profunda, es decir, la situación contraria a T1.

5.2.5 Modelo para el perfil T5

En la figura 17 se muestra el modelo asociado al perfil T5.

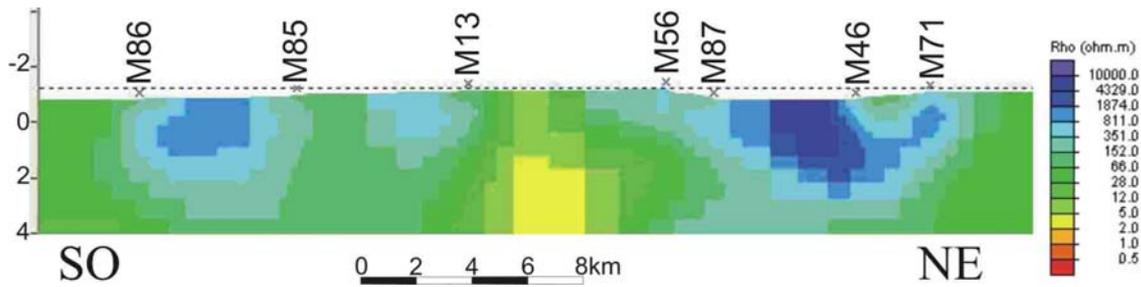


Figura 17: Modelo geoelectrico para el perfil T5.

Para este modelo el RMS calculado ha sido de 5,52. Se observa que en superficie es predominantemente resistente, aunque aparece una zona más conductora entre las estaciones M13 y M56.

5.2.6 Modelo para el perfil T6

Como resultado de la inversión, se ha obtenido el modelo que se presenta en la figura 18 para el perfil T6.

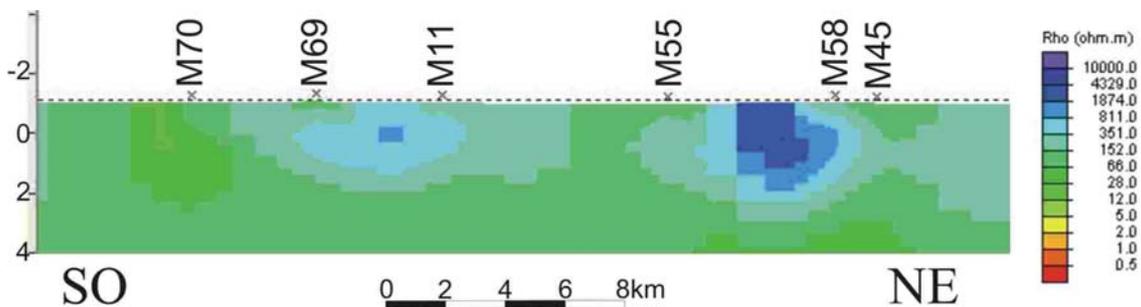


Figura 18: Modelo geoelectrico para el perfil T6.

El valor de RMS obtenido ha sido de 4,38. Este modelo es similar al anterior.

5.2.7 Modelo para el perfil T7

Para el último perfil transversal T7 se ha elaborado un modelo que se enseña en la figura 19.

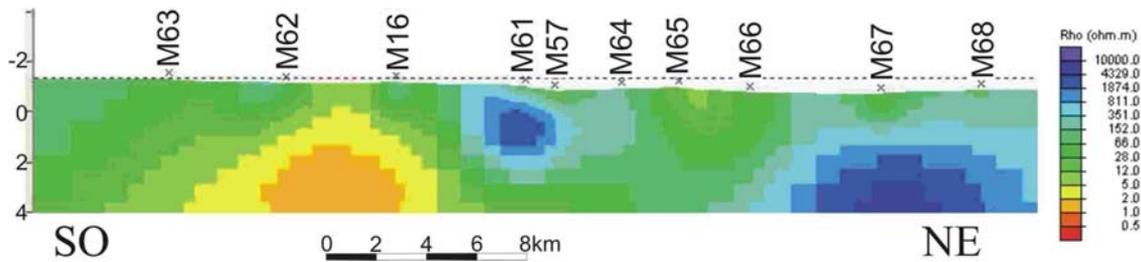


Figura 19: Modelo geoelectrico para el perfil T7.

El RMS ha sido de 4,22. En el modelo a diferencia de los anteriores se puede diferenciar la parte SO que es más conductora y la parte NE que es más resistente.

Los modelos transversales anteriores presentan características diferentes entre sí, y no se puede identificar una estructura bidimensional común. Por este motivo se confirma el carácter complementario asignado a estos perfiles.

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En las figuras 20 y 21 se muestra la composición de los perfiles anteriores con la intención de facilitar la interpretación y disponer de una visión de la estructura geoelectrica de la región. En la figura 20 se representa de arriba abajo los perfiles longitudinales ordenados de NE a SO, y en la figura 21 se muestran los transversales, ordenados en este caso de NO a SE.

Estas figuras nos permiten disponer de una imagen tridimensional a partir de los modelos bidimensionales. No se ha de olvidar que en esta situación ofrece una imagen aproximada de la que es podría obtener con una inversión 3D completa. La distribución actual de estaciones permitirá efectuarla en un futuro próximo cuando los algoritmos de inversión estén suficientemente probados.

A partir de la observación de las figuras 20 y 21 se tiene que los perfiles longitudinales son los que presentan una mayor similitud entre ellos, y por lo tanto las variaciones de la distribución de resistividad a lo largo de la dirección SO-NE no son tan abruptas como en el caso de los perfiles transversales. Por dicho motivo se han elegido estos perfiles para describir la estructura

geoeléctrica más profunda. En la figura 22 se muestran esta estructura más profunda representando los perfiles longitudinales hasta una profundidad de 15 km para describir la transición del basamento conductor al resistivo. Esta cuestión ya se planteó en las conclusiones del Informe 1. En esta figura se observa como el basamento resistente presenta una inclinación hacia el NO, de manera que a 15 km de profundidad se encuentra bajo los perfiles T3-T4, que están situados en la mitad de la región estudiada.

Los modelos presentados en los perfiles son compatibles con los datos de pozos (Lanaja, 1987) disponibles en la zona (Maestrazgo-1, Salsadella y Bobalar 1-2) cuya ubicación ya se mostró en la figura 8. Las estaciones más próximas a los pozos son las siguientes: La estación M16 está muy cerca de los pozos de Bobalar 1-2, la M88, al de Salsadella y la M02, al pozo de Maestrazgo-1. Como consecuencia se dispone del control de los pozos en los siguientes perfiles: L3 (Bobalar 1-2 y Salsadella), T1 (Maestrazgo-1), T3 (Salsadella) y T7 (Bobalar 1-2).

A continuación se comenta la comparación entre las litologías de los pozos y el modelo geoeléctrico:

- La litología del pozo Maestrazgo-1 indica que las rocas cretácicas y jurásicas alcanzan los 2,5 km de profundidad, y bajo ellas se encuentran 0,3 km de materiales triásicos, de forma que el basamento paleozoico empieza a 2,8 km. En el perfil T1, bajo la estación M02, se observa un mínimo de la resistividad a una profundidad de 2,5 km.
- En el caso del Salsadella, la litología señala que las formaciones triásicas están comprendidas entre 0,5 y 1 km de profundidad, pero parece que los materiales más conductores de esta formación (arcillas y margas) tienen una presencia mucho menor que los más resistivos (dolomía). Como consecuencia del bajo contraste entre los materiales triásicos y los jurásicos que afloran, la estructura geoeléctrica bajo estación M88 en los perfiles L3 y T2 presenta un comportamiento resistente.

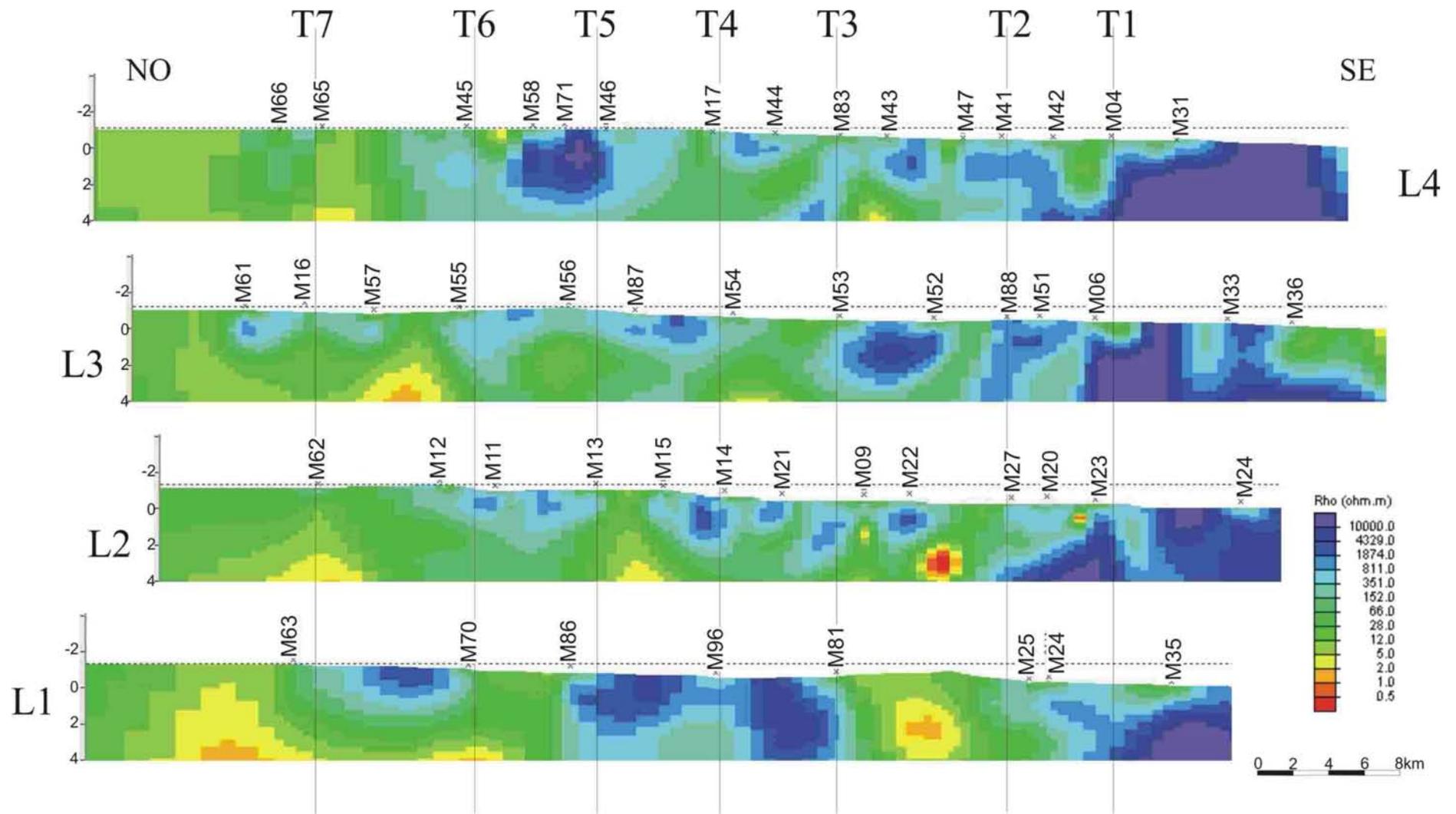


Figura 20: Comparativa de los modelos L1, L2, L3 y L4.

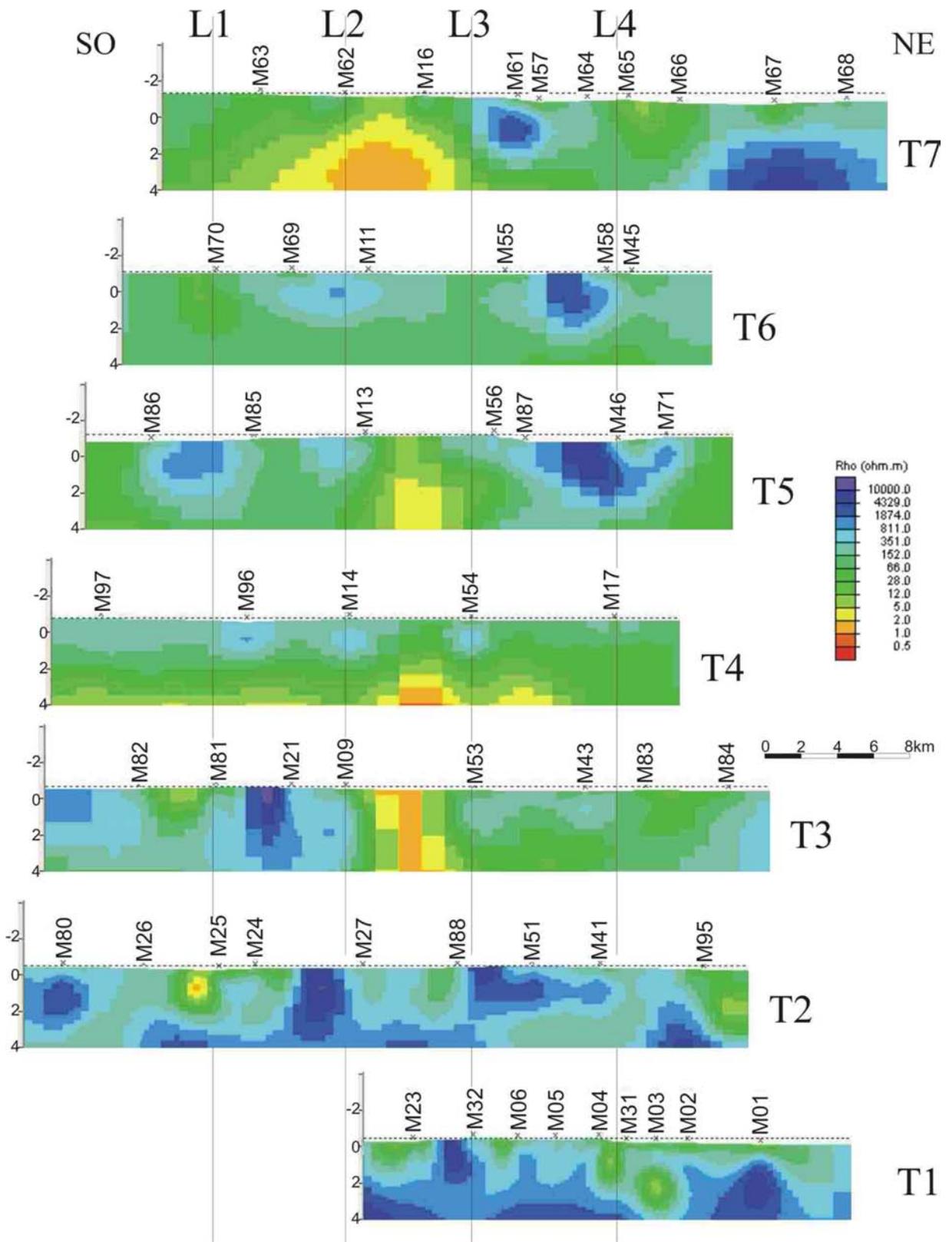


Figura 21: Comparativa de los modelos del T1 al T7.

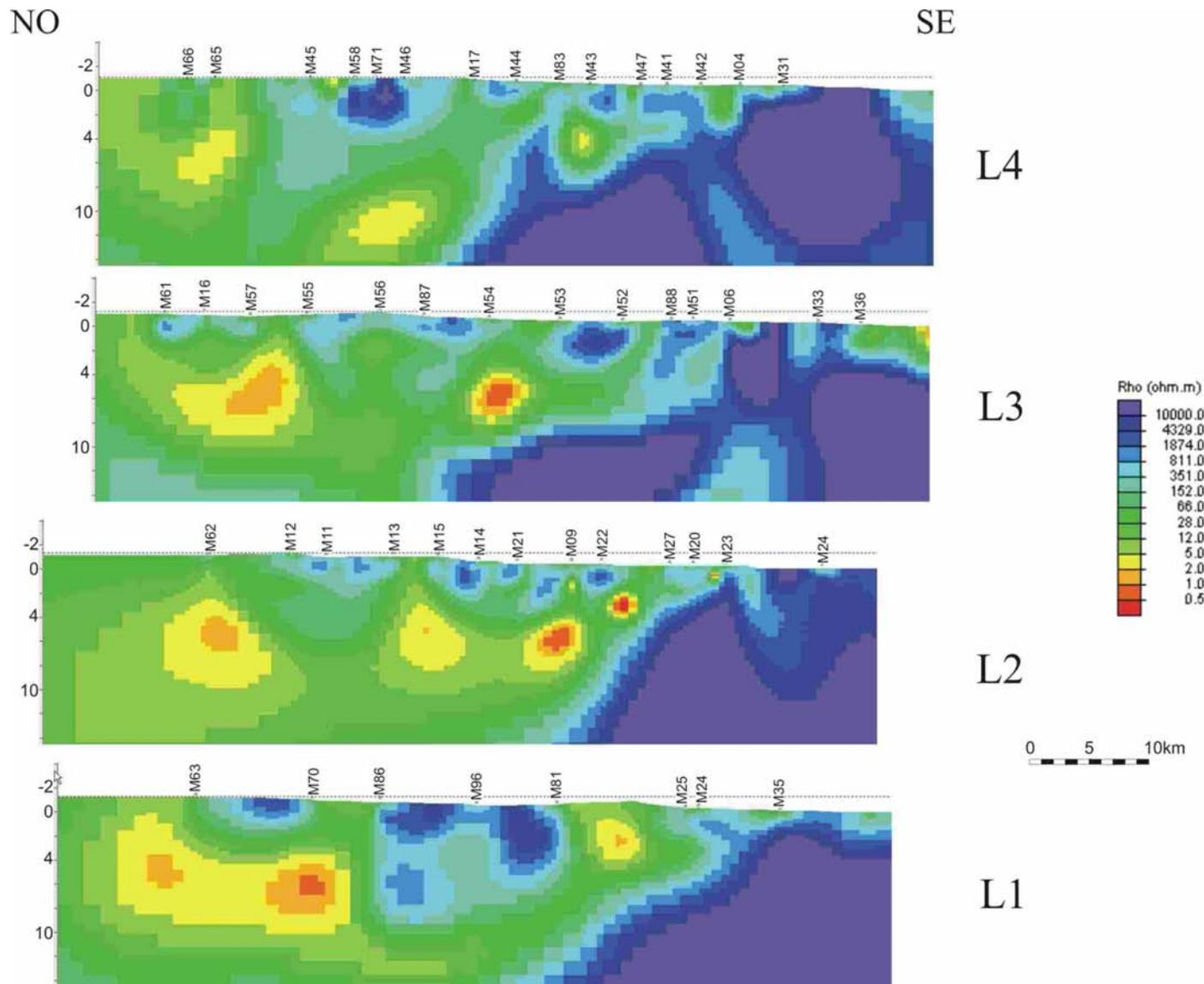


Figura 22: Modelo geoelectricos más profundos para los perfiles L1, L2, L3 y L4.

- Las columnas de los pozos de Bobalar 1 y 2 indican los materiales jurásicos tienen una potencia de 1 km y los triásicos de al menos 1,5 km, ya que no se alcanzó el basamento paleozoico. En los perfiles L4 y T7 se puede identificar un adelgazamiento de los materiales resistentes bajo la estación M16 que es consistente con esas columnas.

De la comparación de los diferentes perfiles se puede concluir que las estructuras resistentes superficiales (< 2km) están asociadas a las rocas carbonatadas cretácico-jurásicas.

A la vista de estas composiciones de modelos (fig. 20 y 21) se puede aventurar una primera hipótesis de la estructura superficial. Es posible identificar tres dominios:

- A) En la parte noroeste de los perfiles longitudinales L2 al L4 las estructuras resistentes presentan una potencia variable que podrían asociarse a pliegues; este comportamiento también parece confirmarse en los modelos transversales T4 a T7.
- B) En la parte central y sur, que comprendería la zona entre los perfiles transversales T3 y T2 y el perfil L1, aparecen cuerpos resistentes aislados que podrían sugerir la presencia de fallas.
- C) Y finalmente la parte sureste de todos los perfiles longitudinales corresponde a aquella donde el basamento resistente es más próximo a la superficie, y no se distingue claramente las estructuras mesozoicas del basamento paleozoico.

Referencias

- Bendat, J.S y Piersol, A.G. 1971. Random data: analysis and measurements procedures. John Wiley & sons. Nueva York, 407 pp.
- Groom, R.W. y Bailey, R.C. 1989. Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in presence of local three-dimensional galvanic distortion. *J. Geophys. Res.*, 94, 1913-1989.
- Lanaja, J.M. 1987. Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la Geología de España. IGME. 467 pp + planos.

- Marcuello, A., Ledo, J., Arango, C y Queralt, P. 2006. Campaña de AMT en El Maestrazgo. Proyecto HIPROMA. Informe IGME. 37 pp.
- Martí A., Queralt, P. y Roca, E. 2004. Geoelectric dimensionality in complex geologic areas: application to the Spanish Betic chain. *Geophys. J. Int.*, 157, 961-974.
- McNeice, G. y Jones, A.G. 2001. Multisite, multifrequency tensor decomposition of magnetotelluric data. *Geophysics*, 158-173.
- Pedersen L. y Engels, M. 2005. Routine 2D inversion of magnetotelluric data using the determinant of the impedance tensor. *Geophysics*, 70, 33-41.
- Rodi, W. y Mackie, R.L. 2001. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversions, *Geophysics*, 66 , 174-187.
- Salas, R., Guimerà, J., Mas, R., Martín-Closas, C., Meléndez, A y Alonso, A. 2001. Evolution of the Mesozoic Central Iberian Rift System and its Cainozoic inversion (Iberian Chain). In: P.A. Ziegler, W. Cavazza, A.H.F. Robertson and N.S. Crasquin-Soleau (eds.), Peri-Tethys Memoir 6: Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 186, 145-185.
- Vera, J.A. (Editor). 2004. Geología de España. Ed. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España. 884 pp.
- Weaver J.T., Agarwal, A.K. y Lilley, F.E.M. 2000. Characterisation of the magnetotelluric tensor in terms of its invariants. *Geophys. J. Int.*, 141, 321-336.

APÉNDICE 1: Características de la adquisición

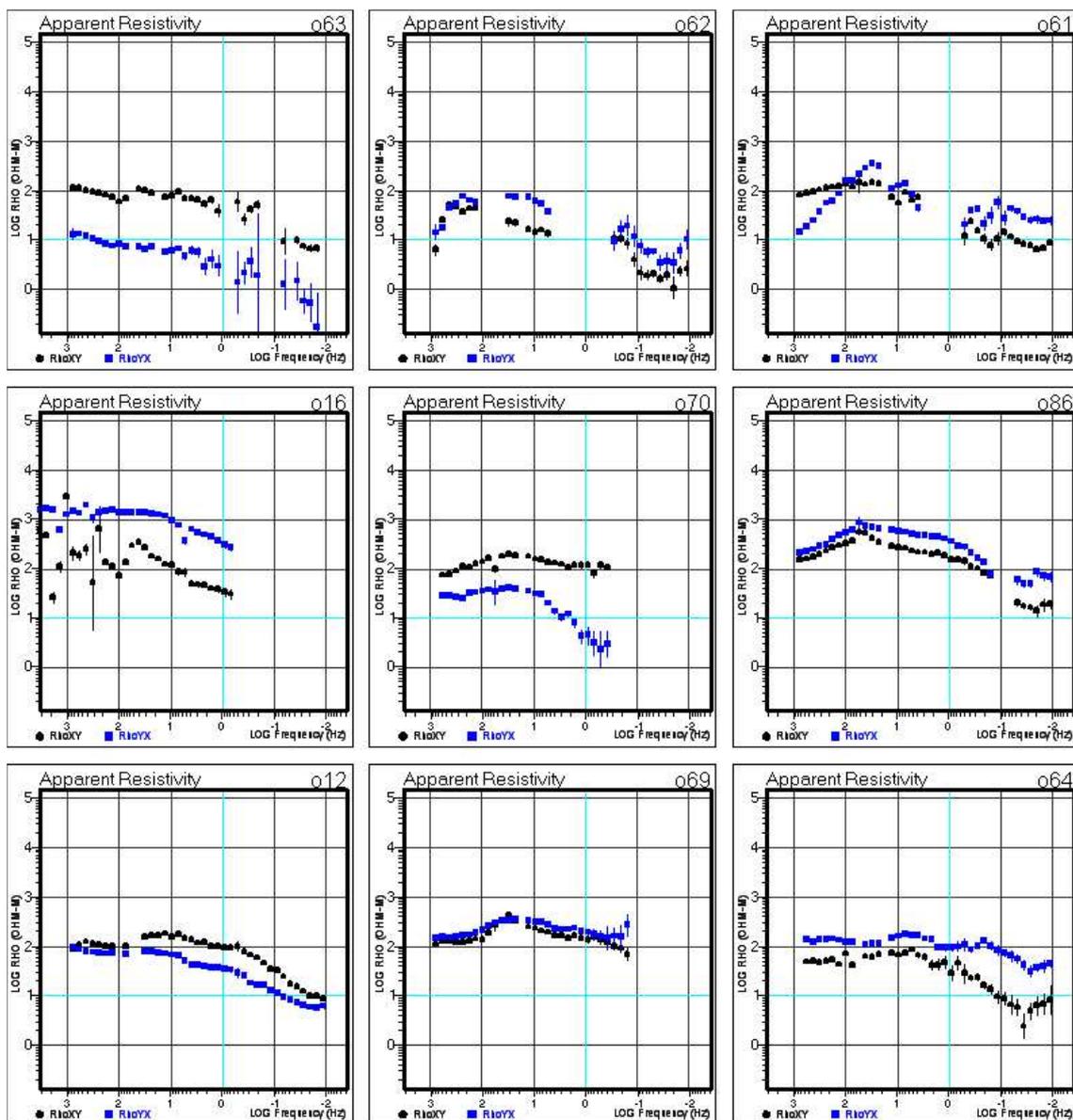
Núm. de serie. de instrumento y bobinas y longitud de los dipolos eléctricos.

estación	equipo	no.ser. Bx	no.ser. By	long. Ex [m]	long. Ey [m]
M20	76	162	163	50	50
M21	76	162	163	50	50
M22	76	162	163	50	45
M23	76	162	163	50	50
M24	76	162	163	35	35
M25	76	162	163	35	35
M26	76	162	163	50	50
M27	76	162	163	50	50
M31	60	162	163	40	40
M32	60	162	163	30	30
M33	60	162	163	30	30
M34	60	162	163	30	30
M35	60	162	163	50	47
M36	60	162	163	45	45
M41	60	162	163	49.6	49
M42	60	162	163	41.5	50
M43	60	162	163	50	50
M44	60	162	163	43.3	29.1
M45	60	162	163	47	33.5
M46	60	162	163	50	50
M47	60	162	163	45	47.5
M51	60	162	163	47.6	43.3
M52	60	162	163	45	48.5
M53	60	162	163	50	38.5
M54	60	162	163	43.5	41.5
M55	60	162	163	50	50
M56	60	162	163	50	50
M57	60	162	163	41.5	50
M58	60	162	163	50	50
M61	60	89	96	42.5	43.5
M62	60	89	96	50	50
M63	60	89	96	50	50
M64	60	89	96	36	28
M65	60	89	96	50	43
M66	60	89	96	50	45
M67	60	89	96	41.5	50
M68	60	89	96	50	39.5
M69	60	89	96	50	50
M70	60	89	96	50	40
M71	60	89	96	50	50
M80	60	89	96	23.5	38.6
M81	60	89	96	50	50
M82	60	89	96	50	50
M83	60	89	96	50	50
M84	60	89	96	50	40.5
M85	60	89	96	50	50
M86	60	89	96	50	50
M87	60	89	96	33	50
M88	60	89	96	50	50
M95	76	89	96	50	50
M96	76	89	96	50	50
M97	76	89	96	50	48.5

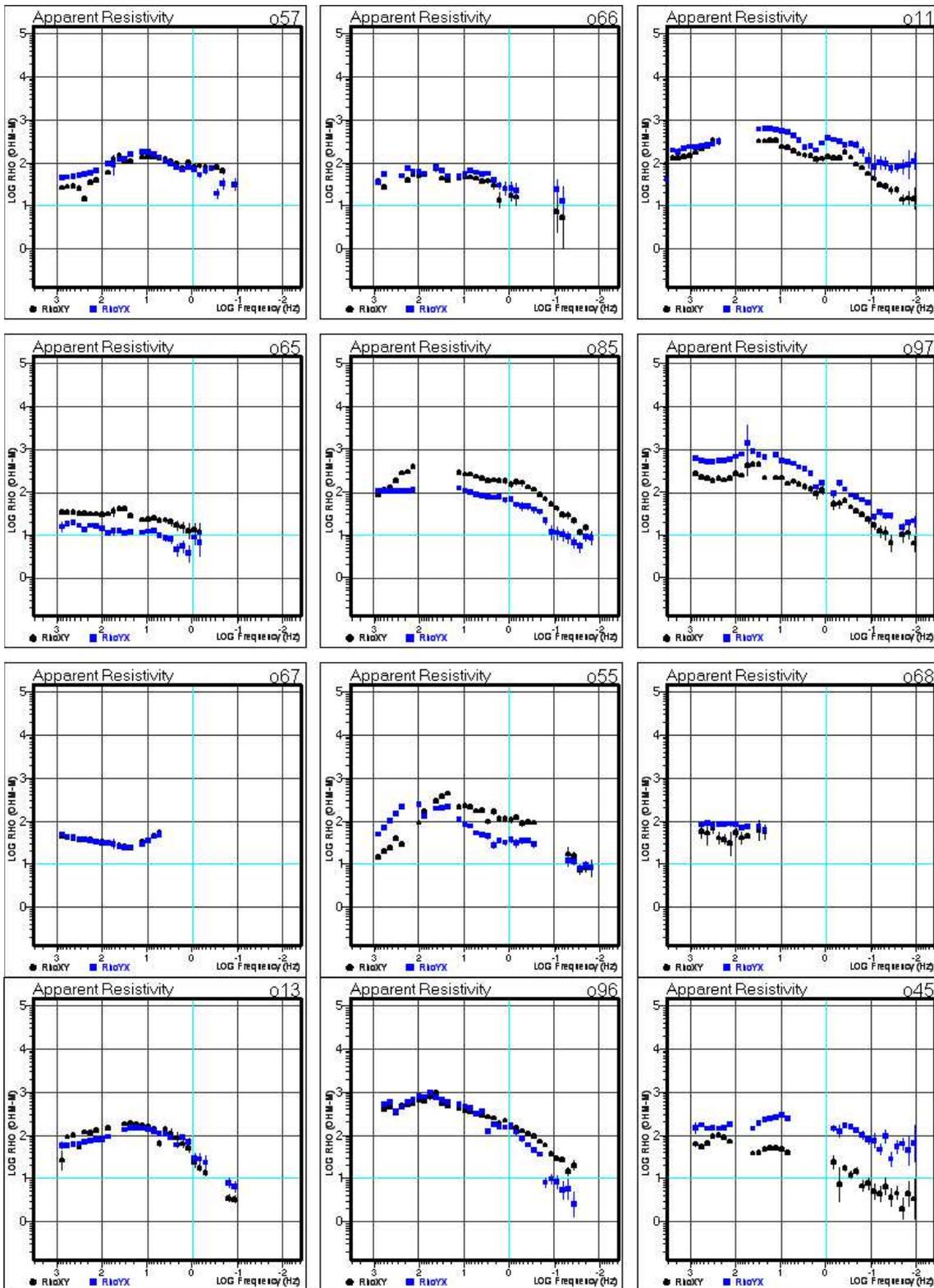
APÉNDICE 2: Curvas de resistividad aparente y fase de la campaña.

En las figuras siguientes las estaciones están ordenadas de oeste a este. Los dos últimos caracteres de la parte superior derecha de cada panel identifican el número de la estación. La dirección XY corresponde a la dirección eléctrica NS y la magnética EO, y la dirección YX, a la dirección eléctrica EO, y la magnética NS.

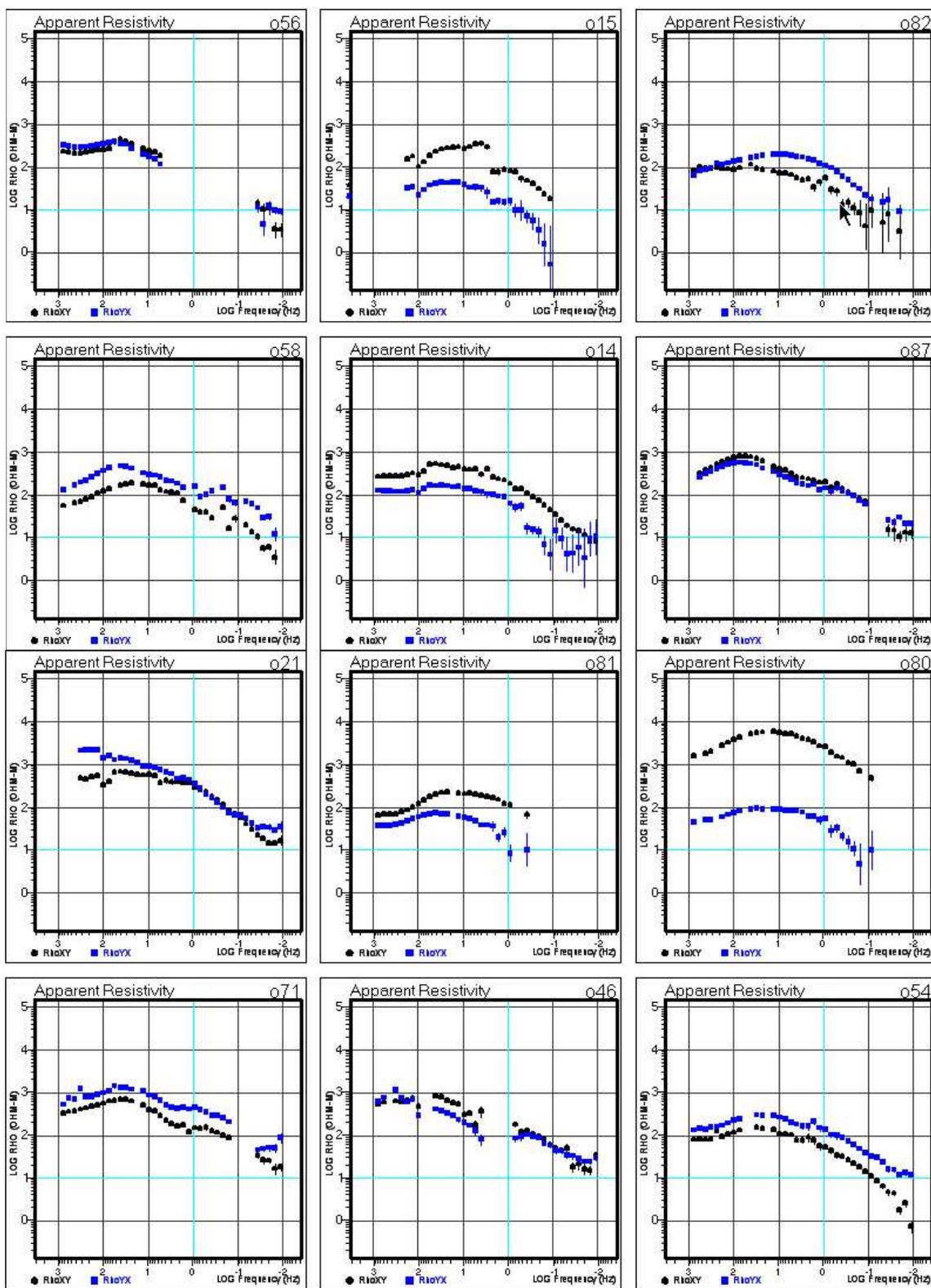
CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE



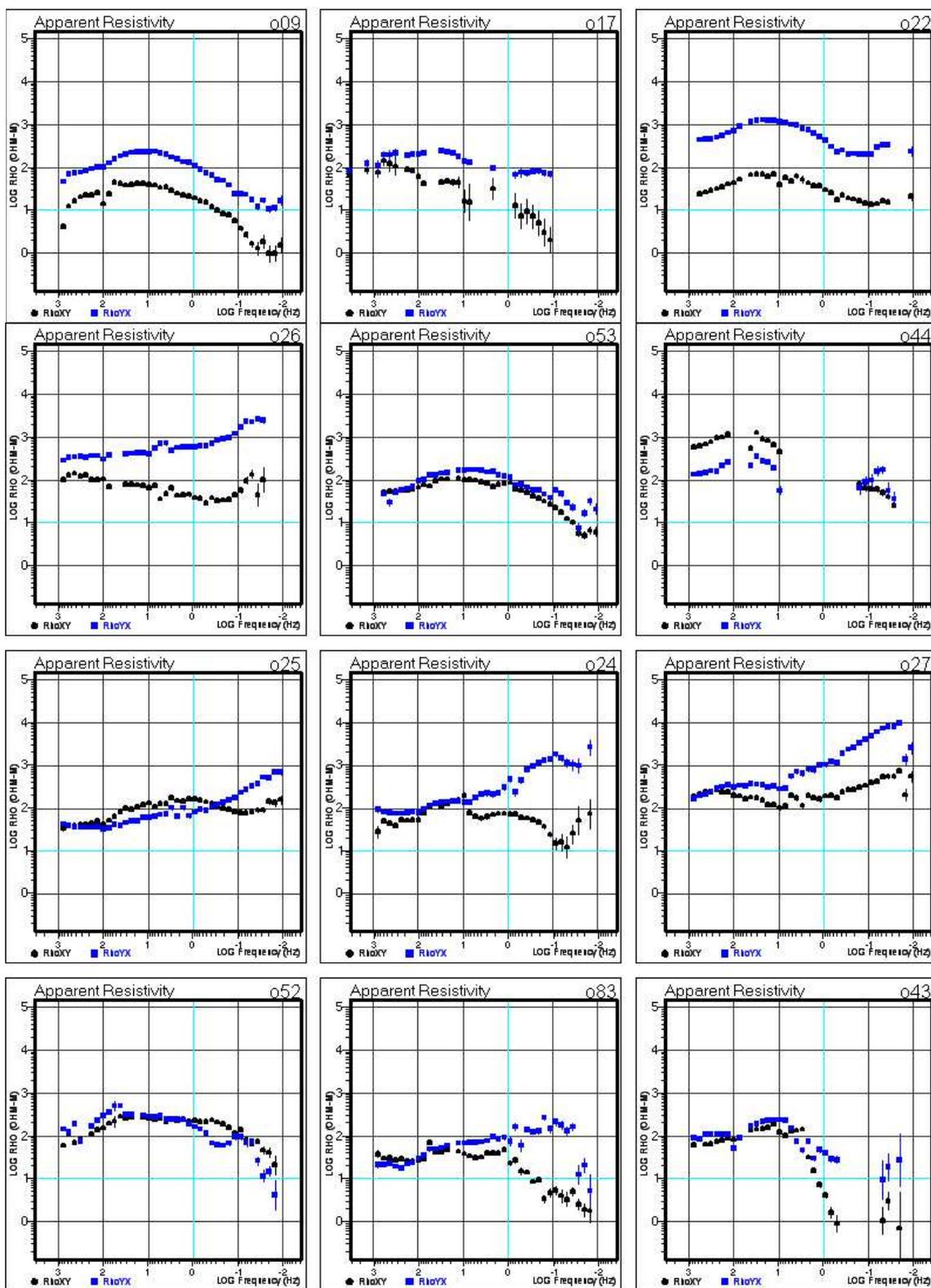
CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE (cont.)



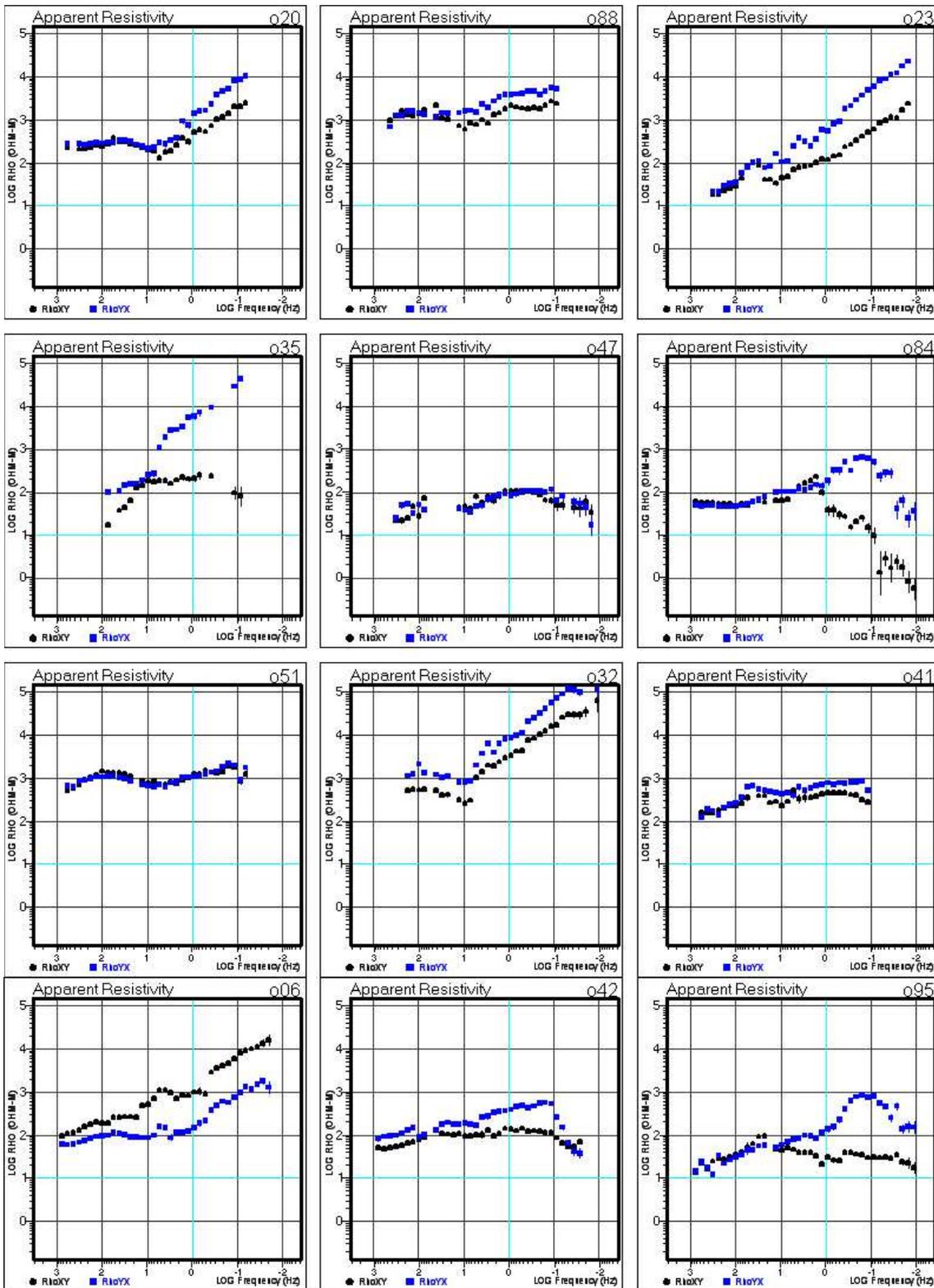
CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE (cont.)



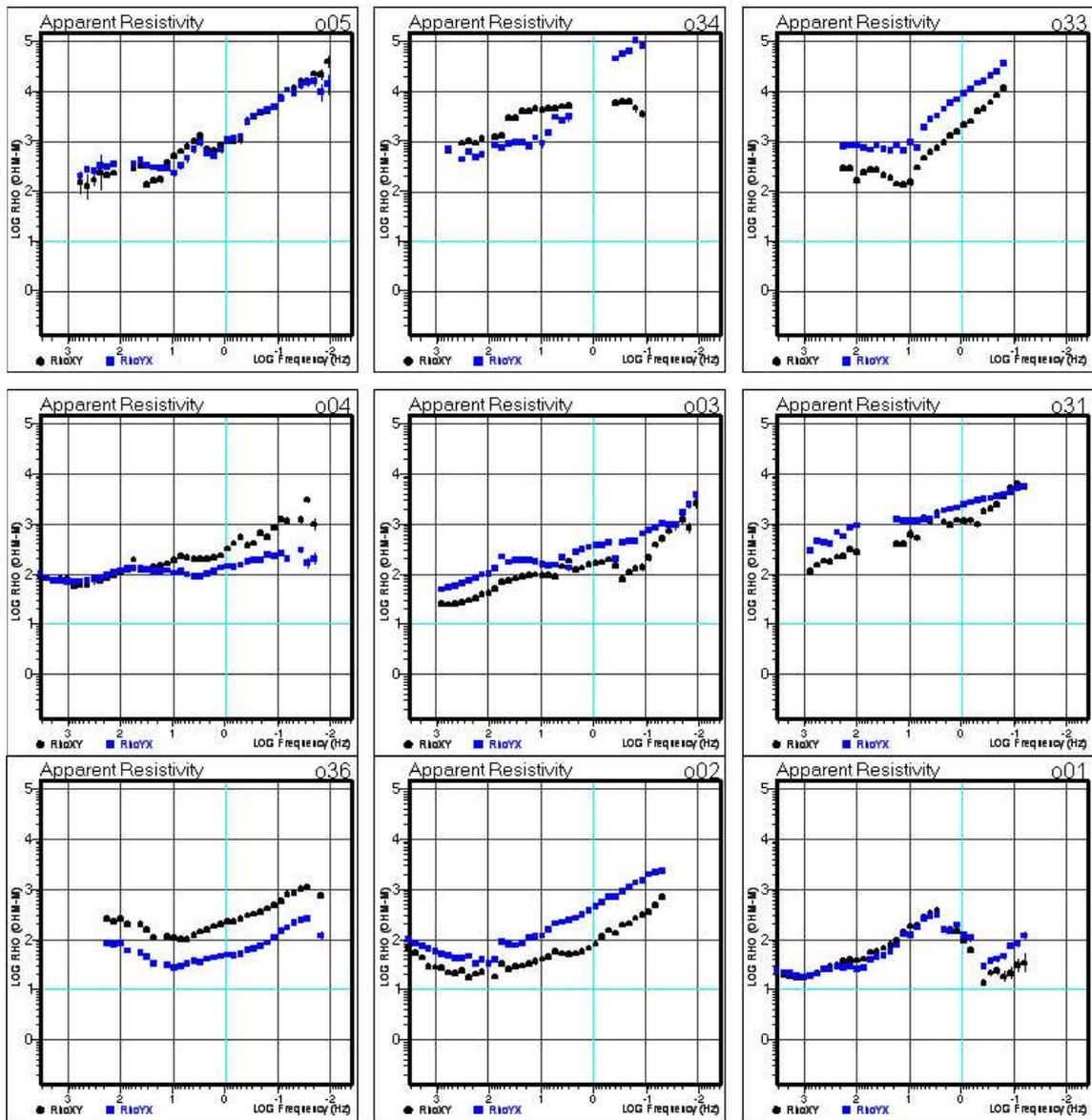
CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE (cont.)



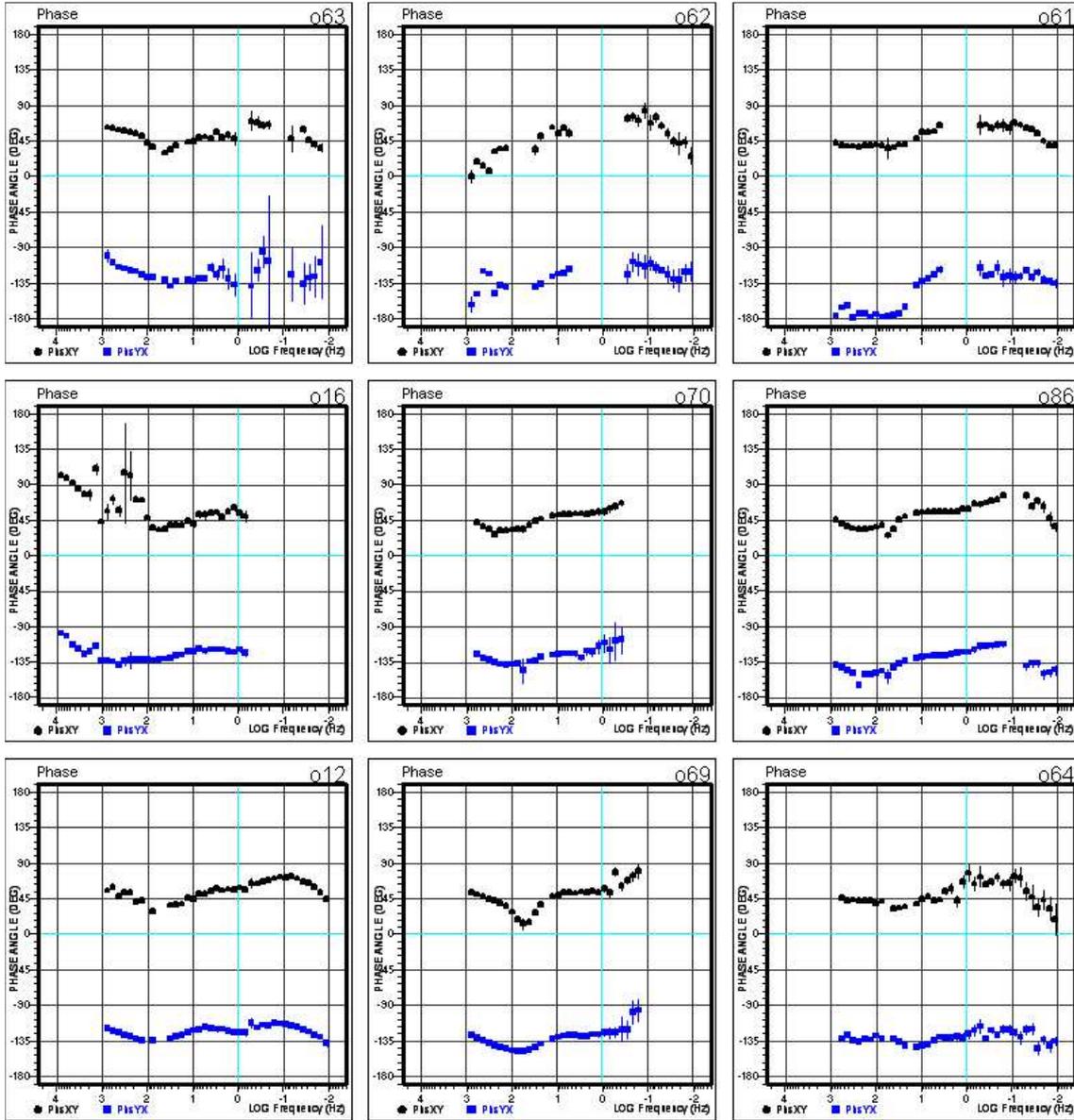
CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE (cont.)



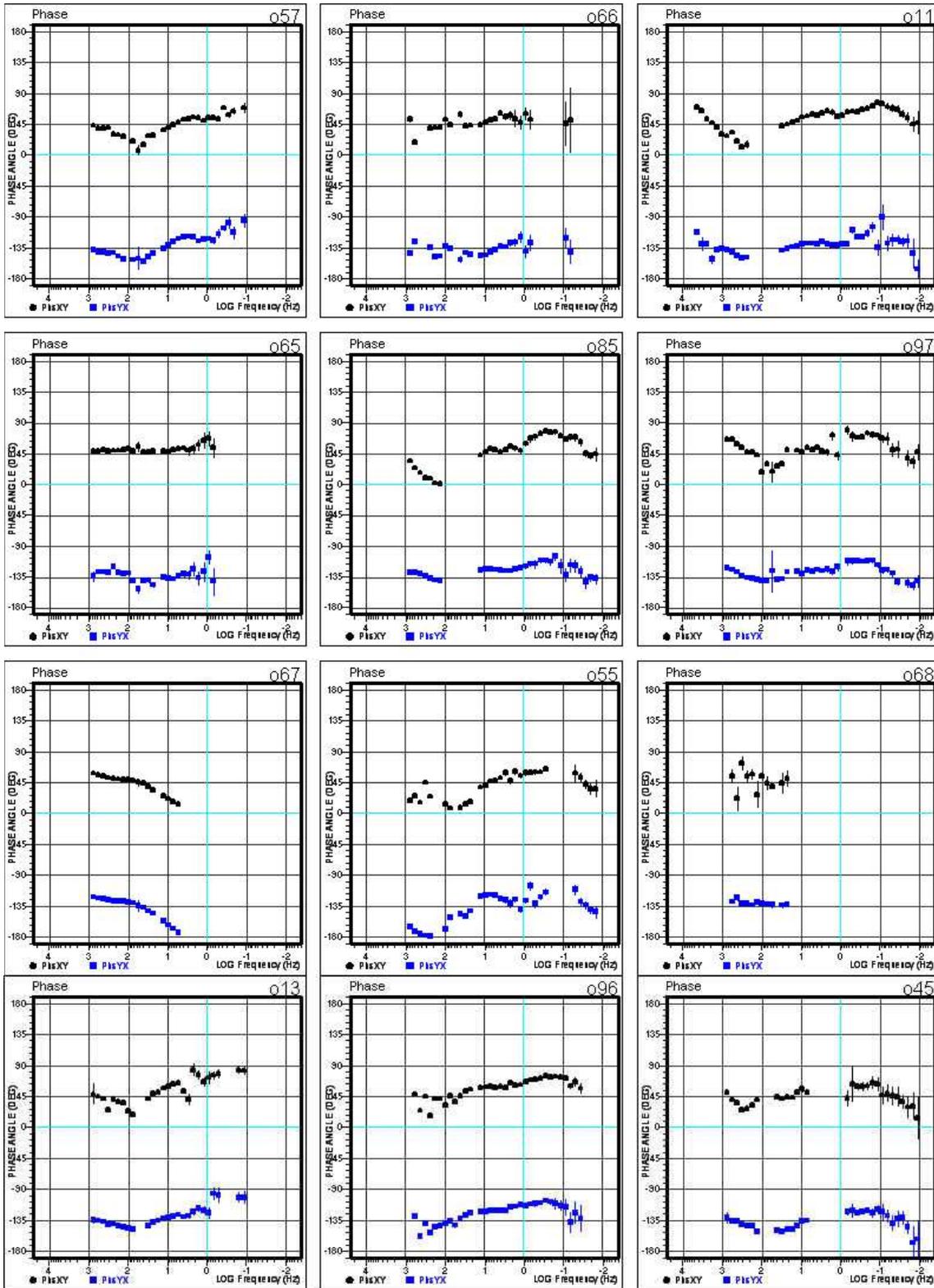
CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE (cont.)



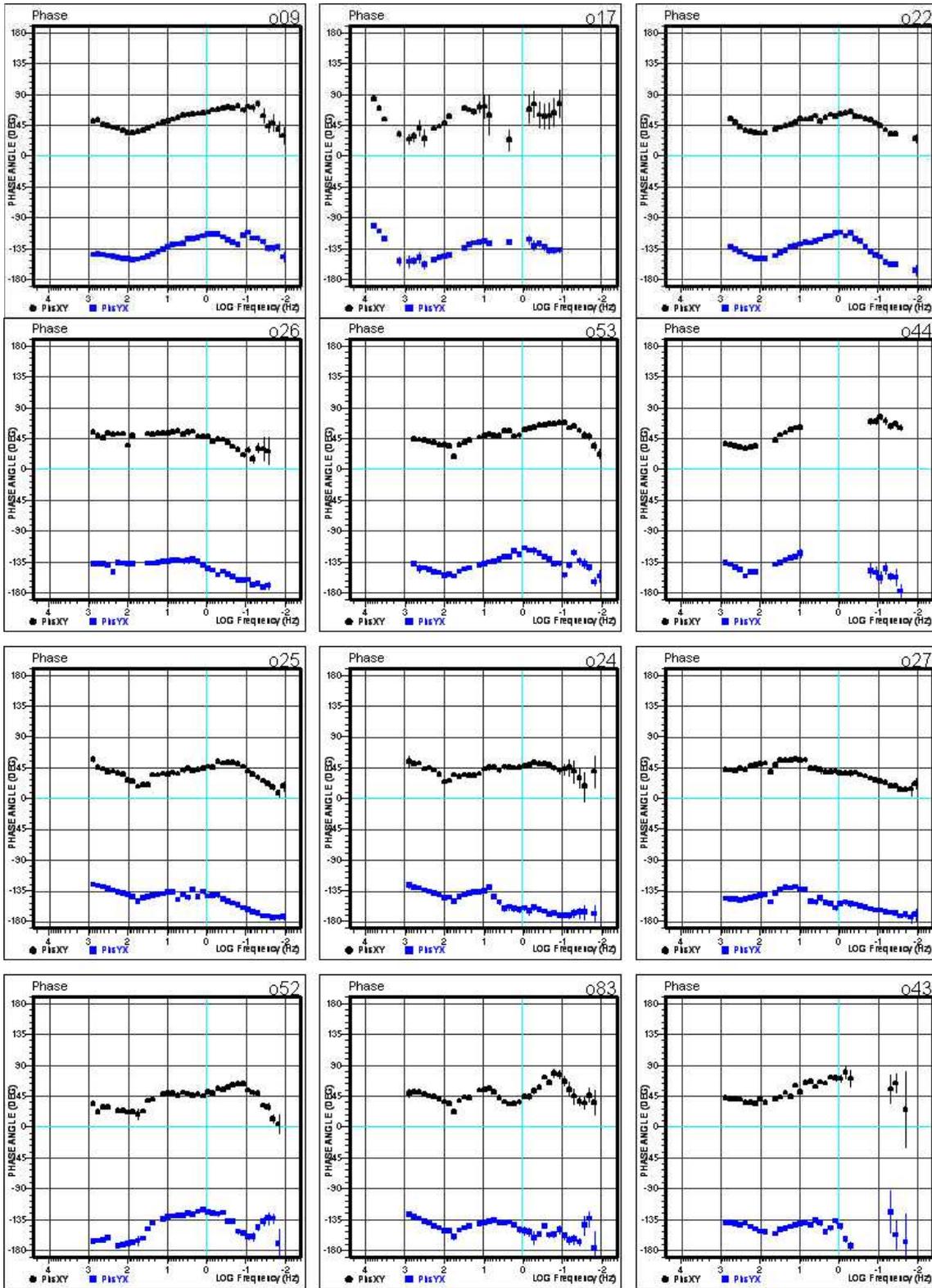
CURVAS DE FASE



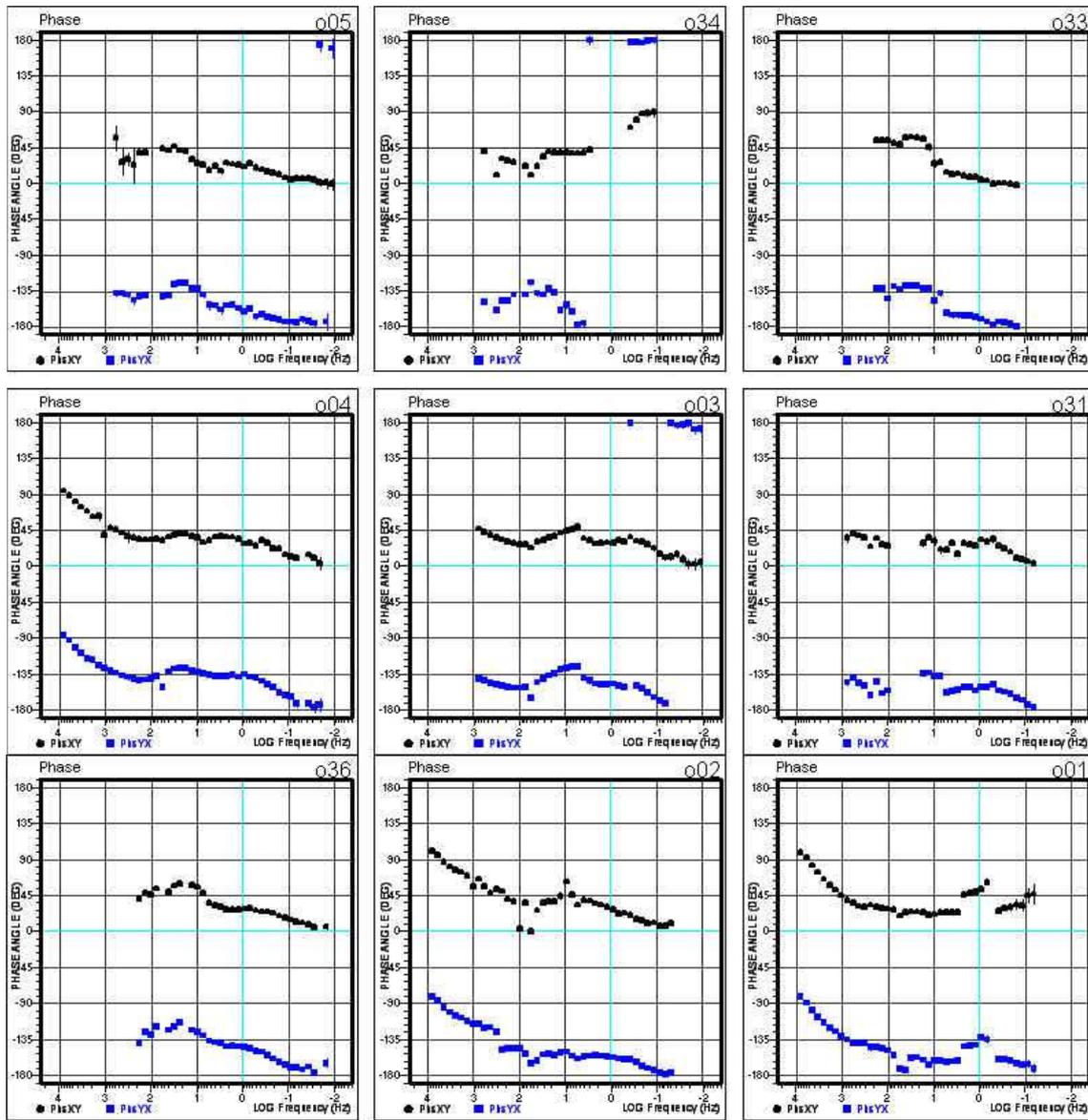
CURVAS DE FASE (cont.)



CURVAS DE FASE (cont.)



CURVAS DE FASE (cont.)

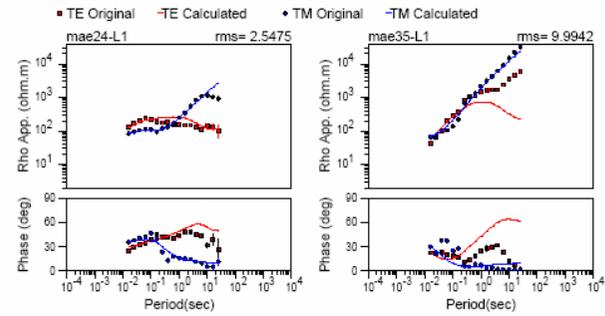
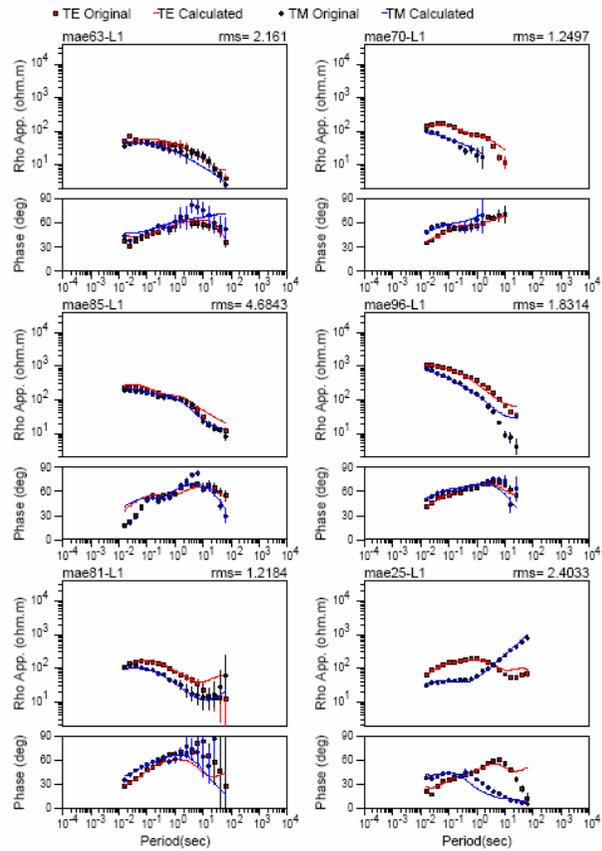


APÉNDICE 3: Ajustes de los modelos.

Se muestran los ajustes entre las respuestas del modelo y las curvas de campo de resistividad aparente y fase en las figuras siguientes. En azul se tiene la polarización TM y en rojo, la TE.

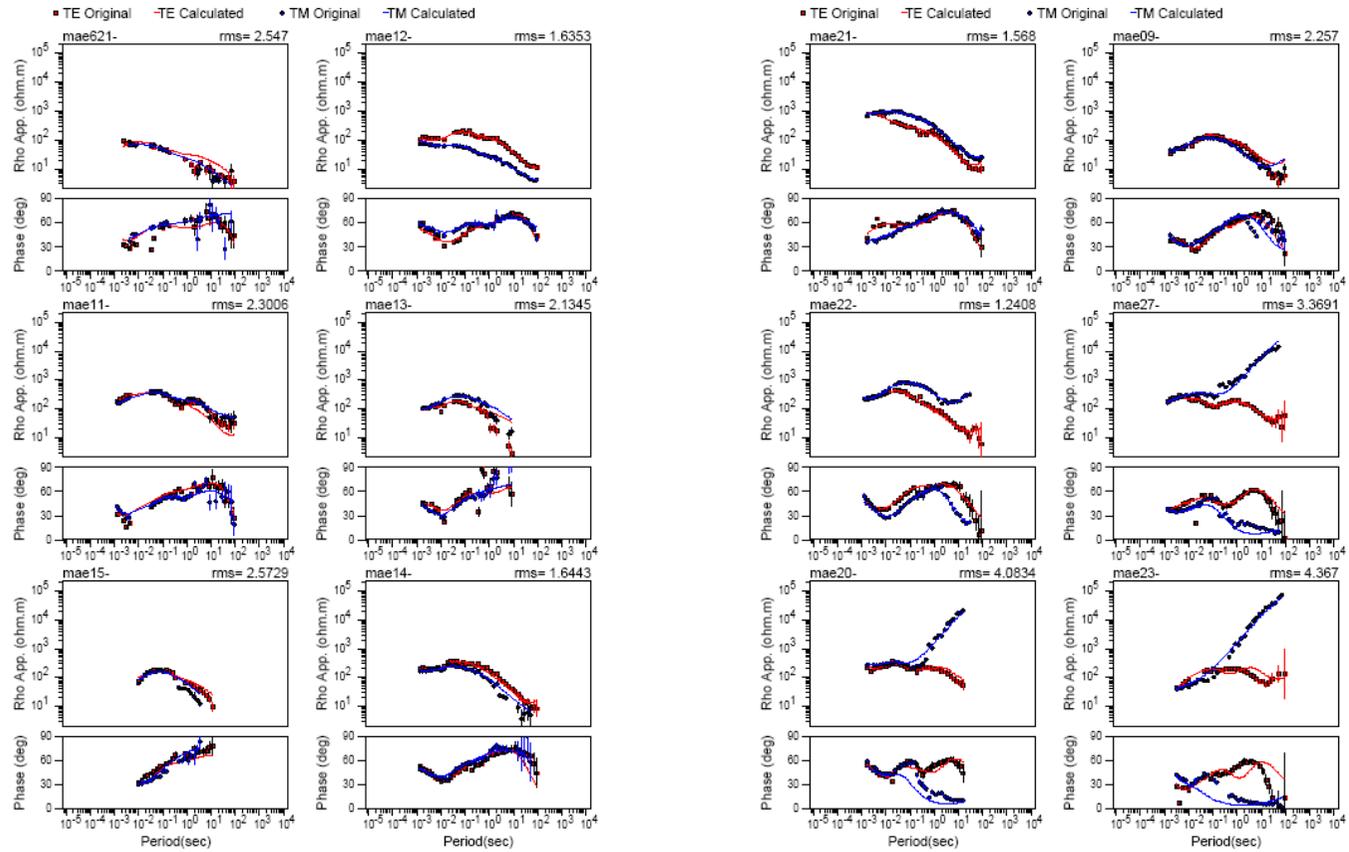
El tensor de impedancias de campo empleado en la inversión bidimensional se ha rotado 60° E para los modelos L1, L2, L3 y L4, y 30° O para los modelos T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7. En los modelos 2D se considera que la dirección estructural es perpendicular al perfil.

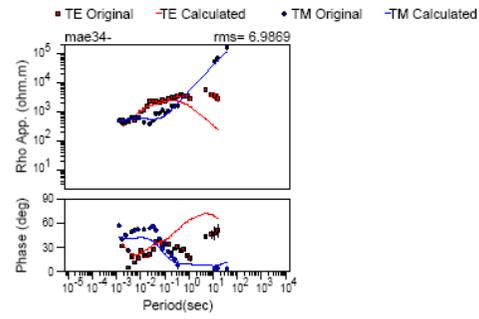
En los modelos T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 sólo se ha invertido para frecuencias mayores de 1 Hz, porque se ha asumido que estos perfiles son de apoyo a los perfiles principales (L1, L2, L3 y L4).



Ajustes para el Modelo L1

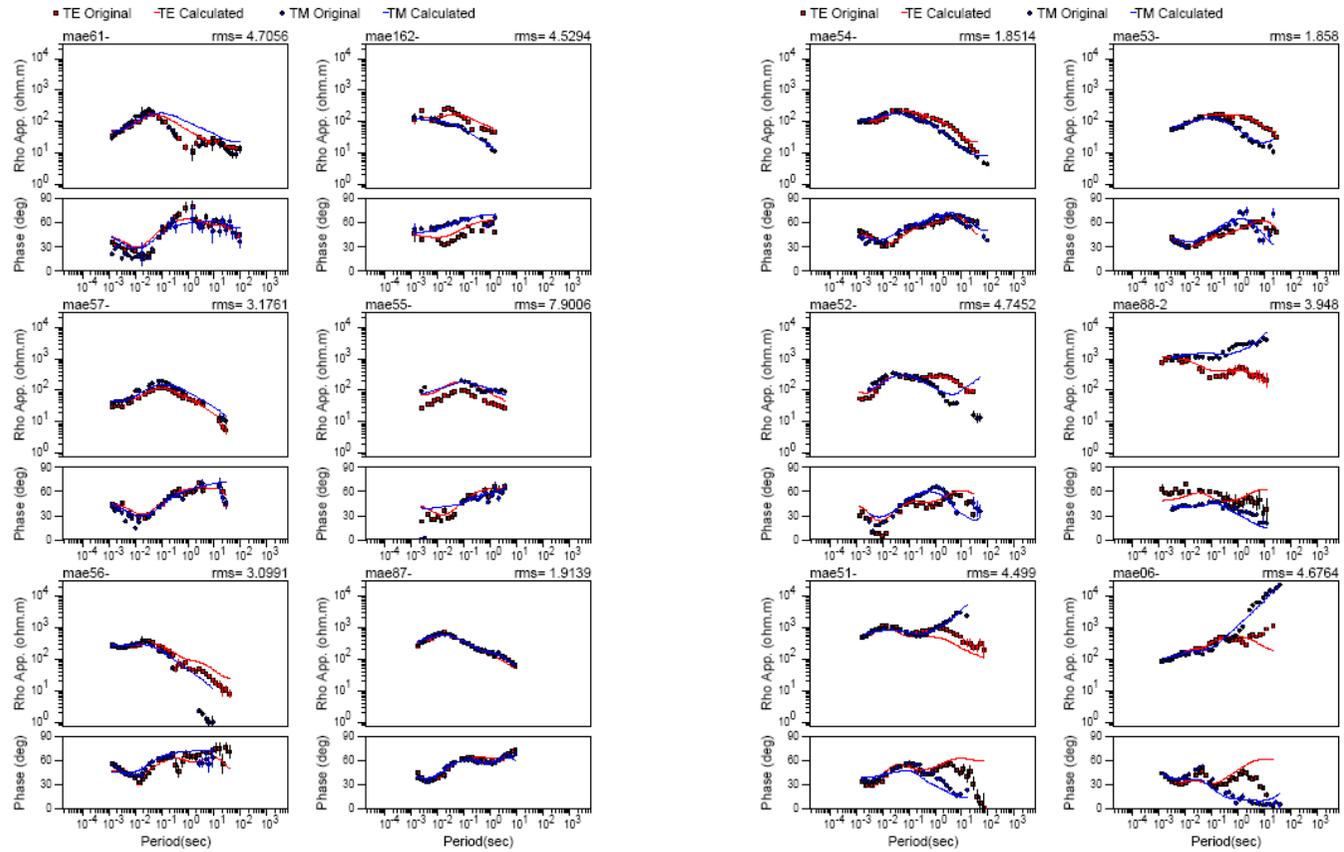
Ajustes para el modelo L2 (cont.)

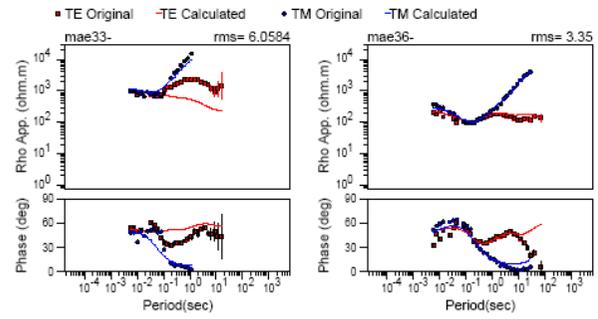




Ajustes para el Modelo L2

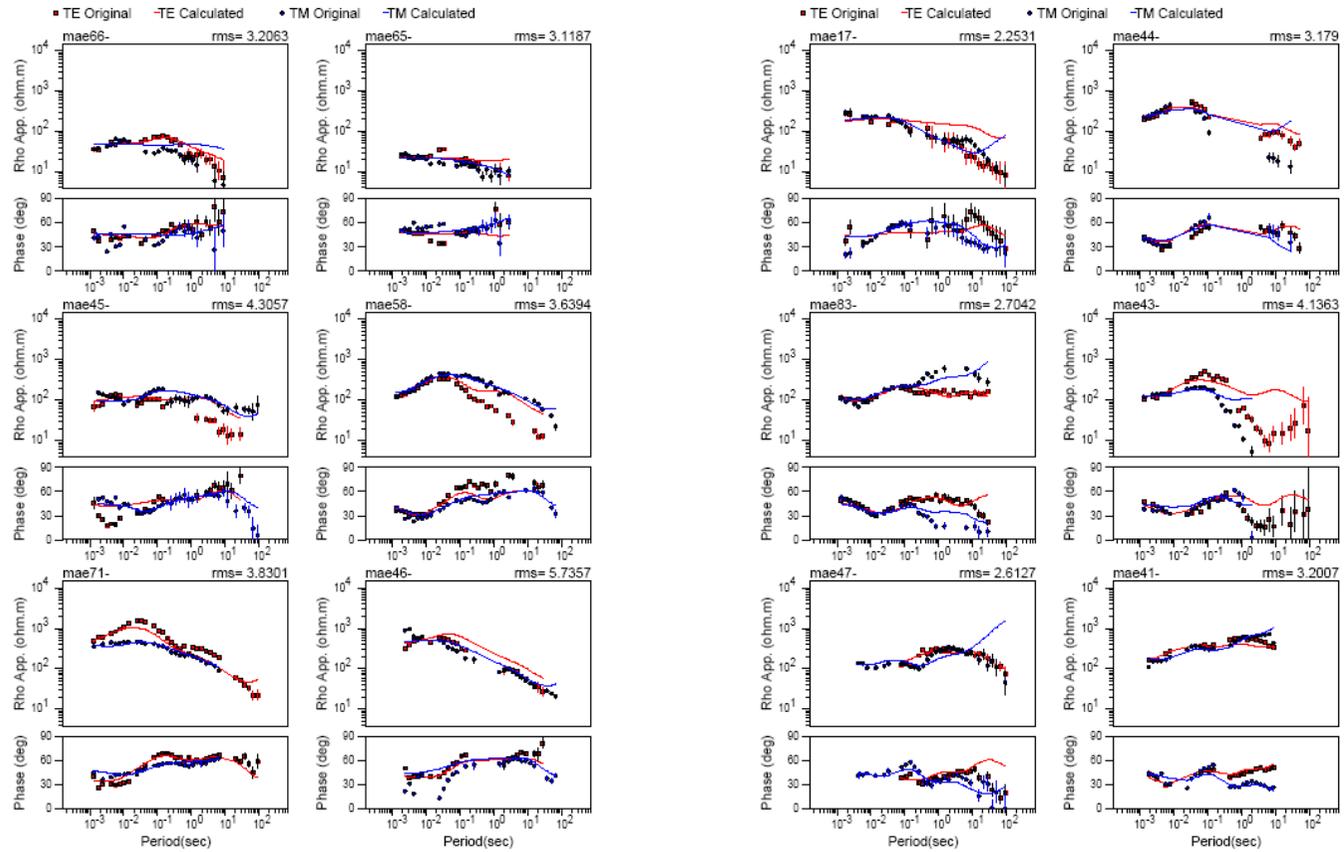
Ajustes para el modelo L3 (cont)

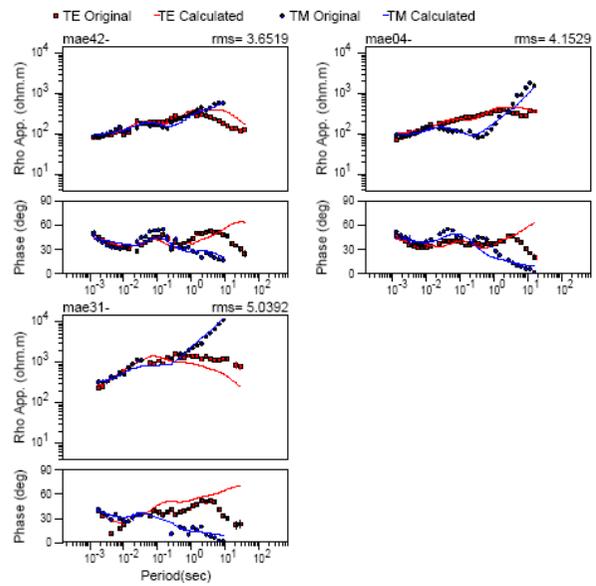




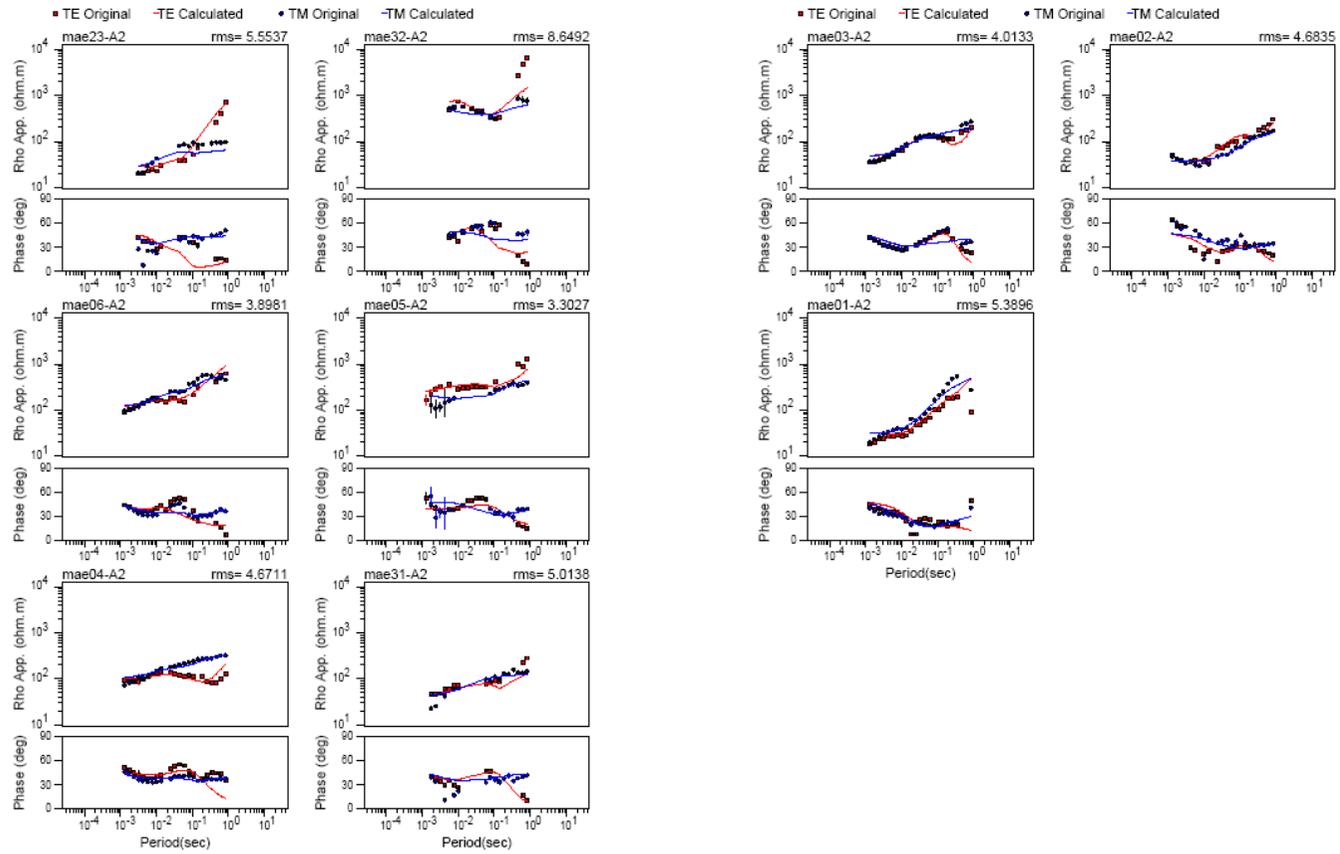
Ajustes para el Modelo L3

Ajustes para el modelo L4 (cont.)

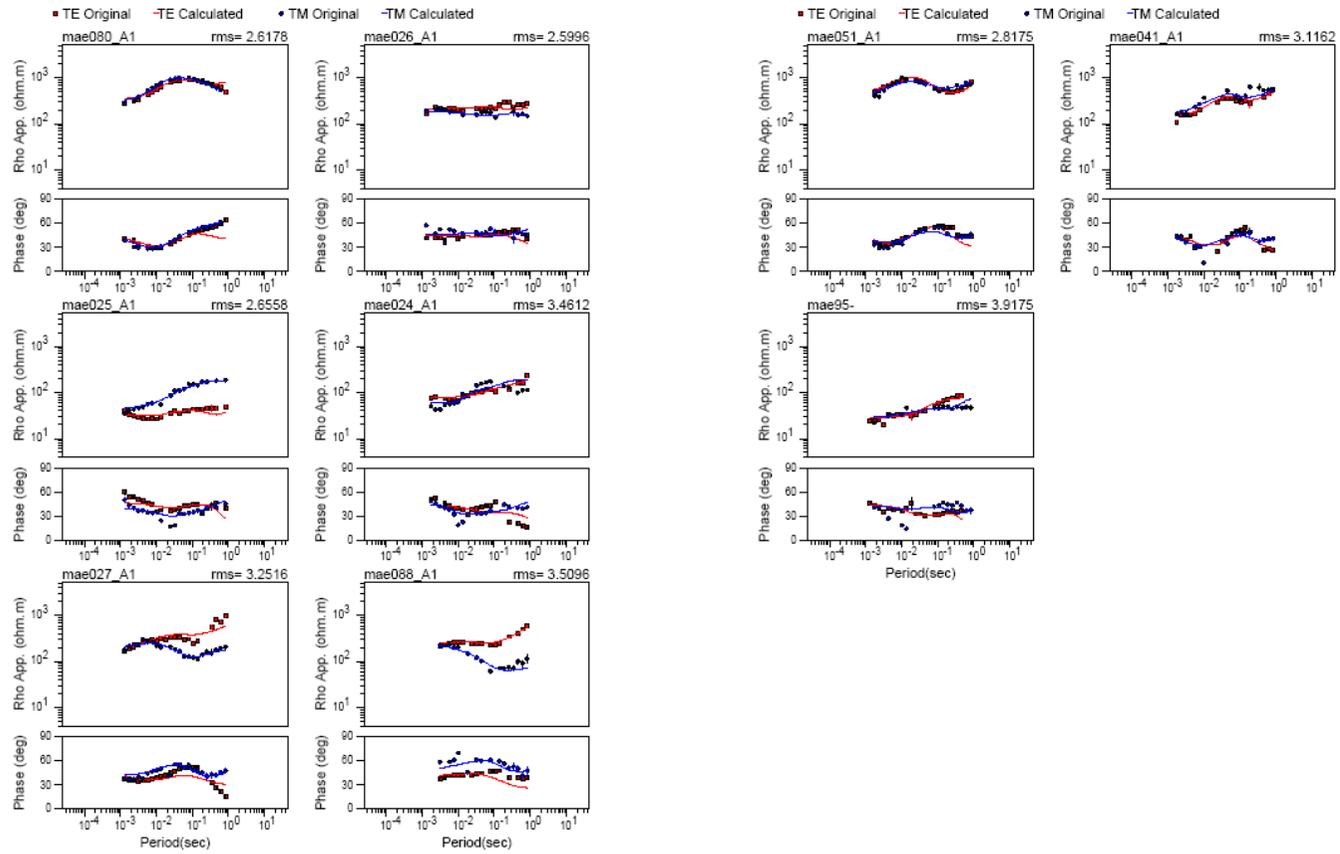




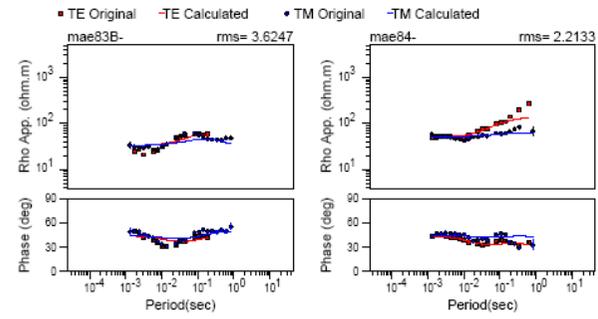
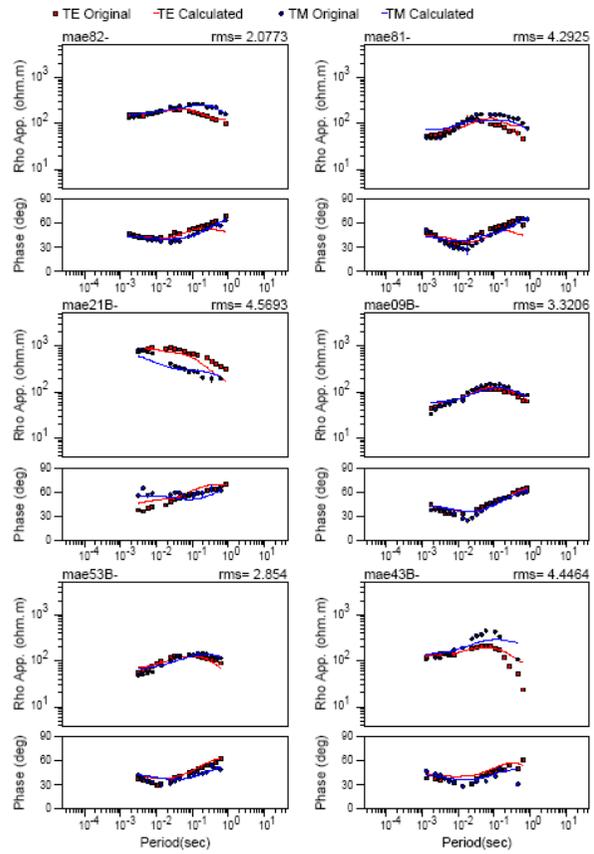
Ajustes para el Modelo L4



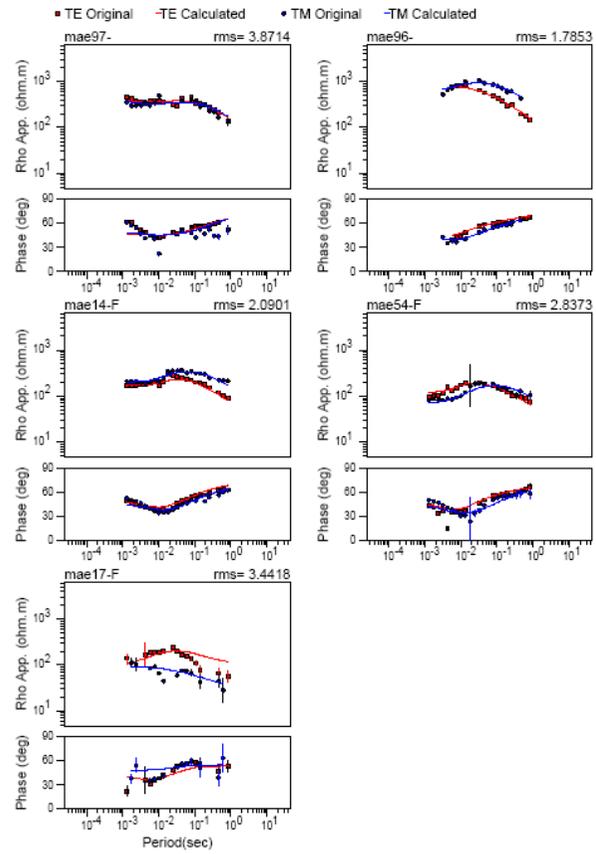
Ajustes para el Modelo T1



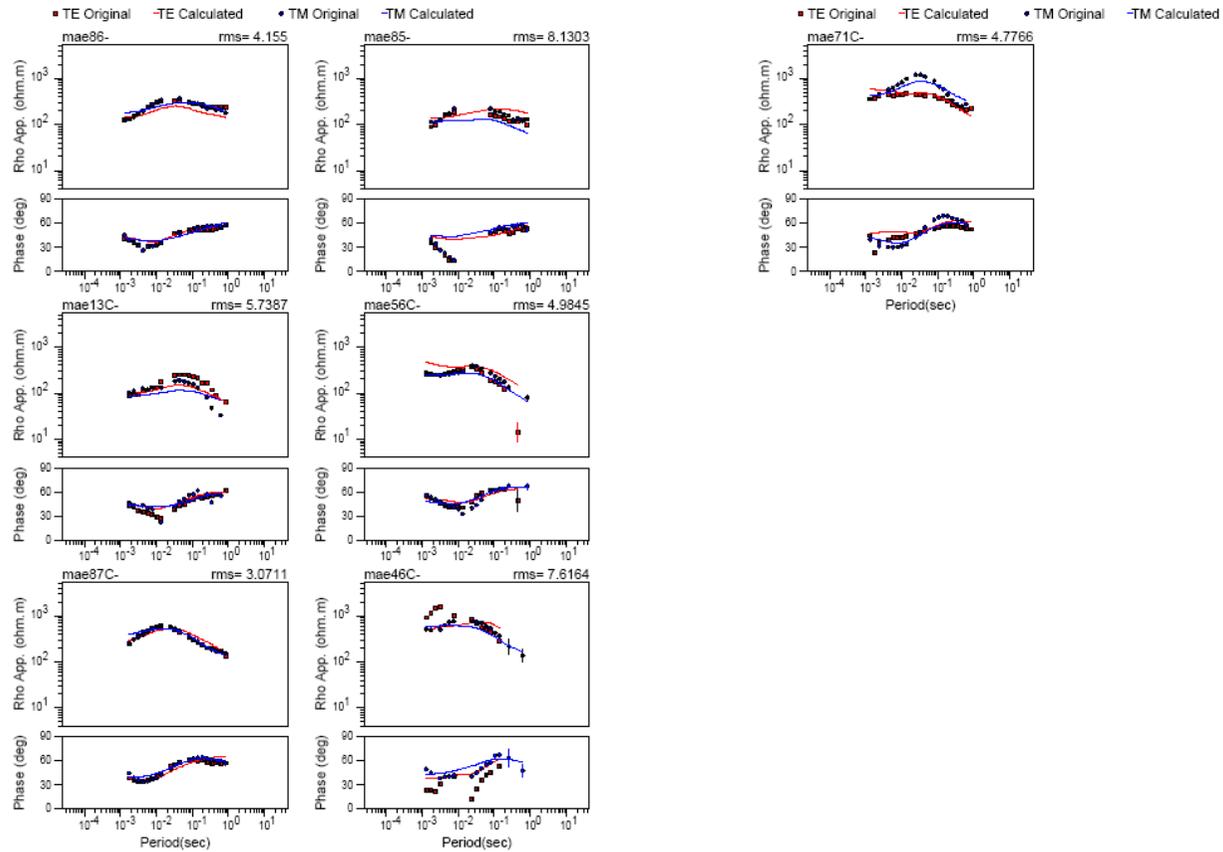
Ajustes para el Modelo T2



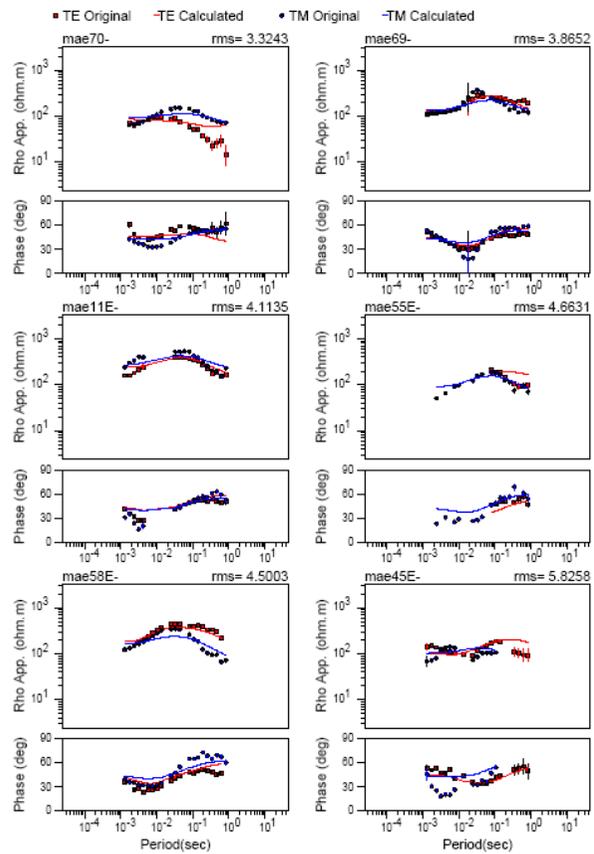
Ajustes para el Modelo T3



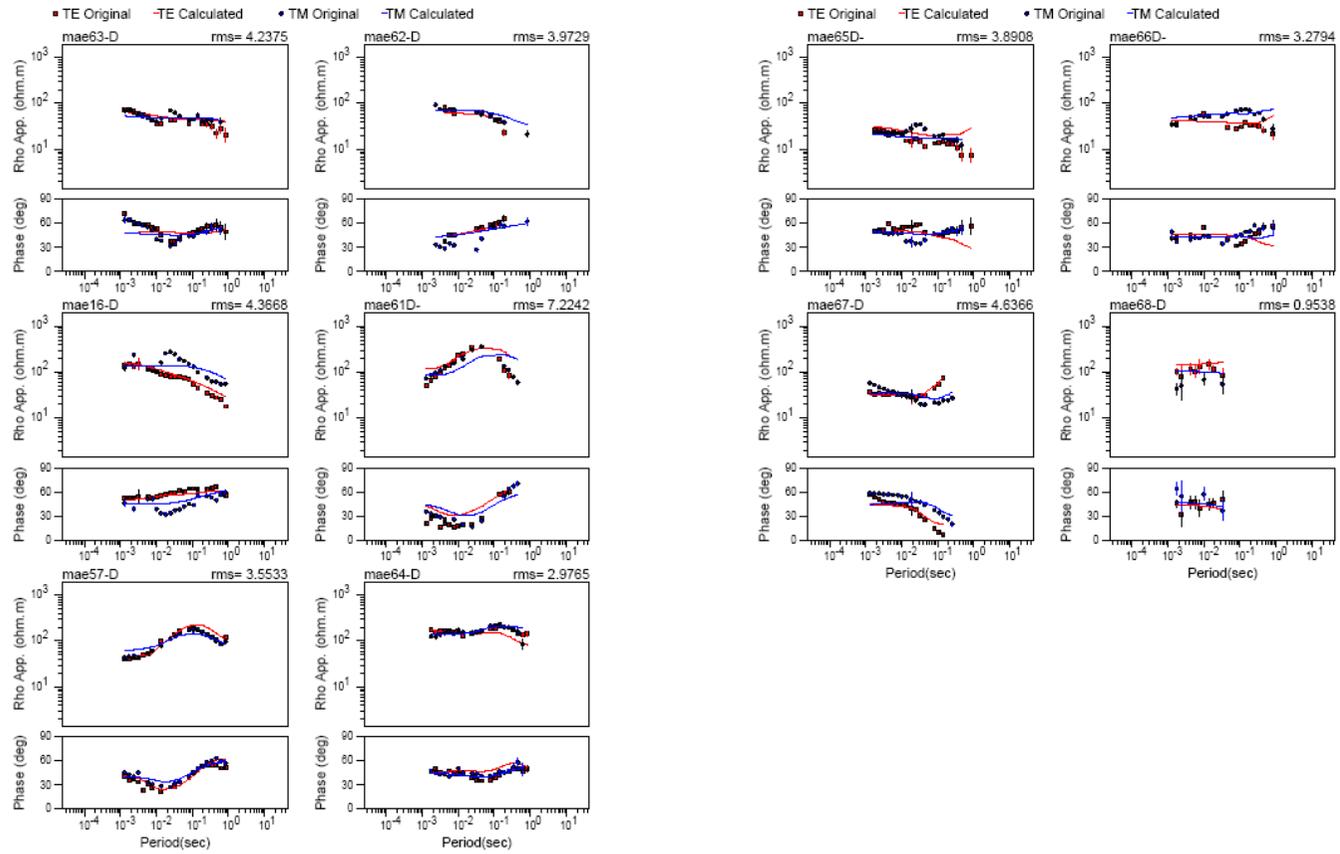
Ajustes para el Modelo T4



Ajustes para el Modelo T5



Ajustes para el Modelo T6.



Ajustes para el Modelo T7

APÉNDICE 4: Especificaciones técnicas de los equipos

Sistemas de registro

Metronix ADU06 (registrador del GMS06): Ordenador interno de 32 bits, dos convertidores A/D: 4096 muestras/s y 40960 muestras/s, de 24 bit, y 5 canales.

Rango de frecuencias: DC-20 kHz.

Reloj Interno: Oscilador de cristal de alta precisión ± 130 ns con referencia GPS (Motorola).

Capacidad: 256 Mb de memoria Flash.

Conexión de red: Cable coaxial estándar.

Alimentación: batería de 12 V (40Ah).

Sensores magnéticos

El GMS06 utiliza las bobinas MFS06 y cada instrumento emplea sus propias bobinas de inducción cuyas funciones de respuesta son particulares de cada una. La función de respuesta típica de estas bobinas se muestra en la figura 23.

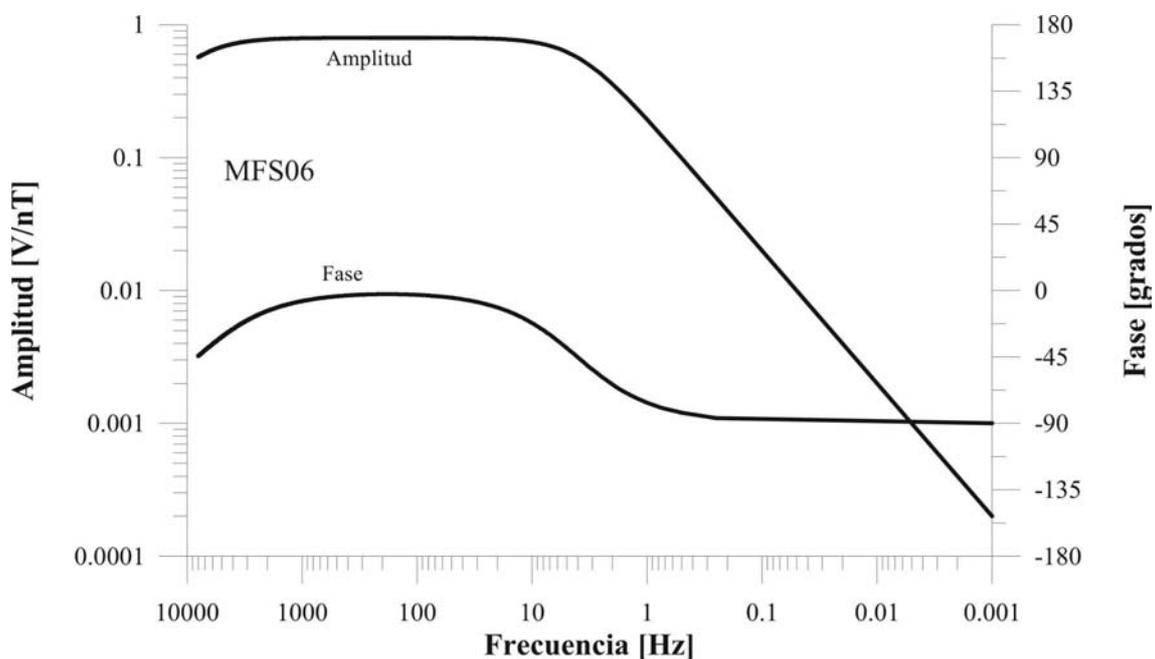


Figura 23: Funciones de respuesta típica de los sensores magnéticos.

APÉNDICE 5: Formato de los archivos de las series temporales (ficheros *.ATS)

Los datos de campo originales (series temporales) registrados por el sistema GMS06 están almacenados en unos archivos escritos en formato binario por el programa de adquisición de datos GMS157b desarrollado por Metronix (Tabla 4). Estos archivos están en un directorio con el nombre de la estación y el nombre sigue la convención siguiente:

ssscrrtb.ATS

donde:

sss = número del serie del equipo ADU06

c = Número de canal del ADU06 (a=1...h=8)

r = número de registro o *run*

t = tipo de canal (a=Ex, b=Ey, x=Hx, y=Hy, z=Hz)

b = frecuencia de muestreo (a=40960, b=4096, c=64, d=2, f= 512 Hz)

Tabla 4: Cabecera del archivo ATS

Byte Off-set	ADR	Byte	Tipo	Nombre	Información
1	000H	2	INTEGER	Header length	Tamaño de la cabecera en byte
3	002H	2	INTEGER	Header version	Número de versión de la cabecera (*100)
5	004H	4	LONGINT	Samples	Número de muestras
9	008H	4	SINGLE	Sample freq.	Frecuencia de muestreo
13	00CH	4	LONGINT		Tiempo de inicio de la medición (en segundos desde 1.1.70)
17	010H	8	DOUBLE	LSBVal	LSB en mV
25	018H	8	BYTE	Reserved	Reservado
33	020H	2	INTEGER		Número de serie del ADU06
35	022H	2	INTEGER		Núm. de serie de la tarjeta A/D ADB06
37	024H	1	BYTE		Número de canal (0, 1, ...7)
38	025h	1	BYTE	Reserved	Reservado
39	026h	2	CHAR		Tipo de canal (Ex,Ey,Hx,Hy,Hz)
41	028H	6	CHAR		Tipo de sensor (MFS05,BF4...)
47	02EH	2	INTEGER		Número de serie del sensor
49	030H	4	SINGLE		x1 coordenadas del electrodo 1(m)
53	034H	4	SINGLE		y1
57	038H	4	SINGLE		z1
61	03CH	4	SINGLE		x2 coordenadas del electrodo 2(m)

65	040H	4	SINGLE		y2
69	044H	4	SINGLE		z2
73	048H	4	SINGLE		Longitud del dipolo eléctrico (m)
77	04CH	4	SINGLE		Ángulo(0°=norte) (grados)
81	050H	4	SINGLE		Resistencia de contacto (ohm)
85	054H	4	SINGLE		Compensación del canal (mV)
89	058H	4	SINGLE		Amplificación interna (1 o 30)
93	05CH	4	BYTE		Reservado
97	060H	4	LONG		Latitud (msec)
101	064H	4	LONG		Longitud (msec)
105	068H	4	LONG		Elevación (cm)
109	06CH	1	CHAR		Lat/Long Tipo: U' definido por el usuario, 'G' reloj interno GPS
110	06DH	1	CHAR		Tipo de coordenadas adicionales: 'U' UTM, 'G' Gauss-Kruger (Alemania)
111	06EH	2	INTEGER		Mediano de referencia
113	070H	8	DOUBLE		Coordenada X
121	078H	8	DOUBLE		Coordenada Y
129	080H	1	CHAR		Status GPS/CLK: 'G' GPS sintonizado, 'C' CLK sincronizado, 'N' CLK no sincronizado
130	089H	1	BYTE		Precisión aproximada del GPS/CLK: 9 indica una precisión de 10 ⁻⁹
131	082H	14	BYTE		Reservado
145	090H	12	CHAR		Nombre del archivo de cabecera del registro
157	09CH	4	CHAR		Tipo de medición: MT o CSAMT
161	0A0H	12	CHAR		Nombre del archivo con los resultados del autotest
173	0ACH	2	CHAR		Resultado del autotest 'OK' o 'NO'
175	0AEH	2	BYTE		Reservado
177	0B0H	2	INTEGER		Número de frecuencias de calibración en el archivo
179	0B2H	2	INTEGER		Tamaño de las frecuencias de entrada(32 byte)
181	0B4H	2	INTEGER		Versión del formato de calibración (*100)
183	0B6H	2	INTEGER		Dirección lógica inicial de la información de calibración en la cabecera (400H)
185	0B8H	8	BYTE		Reservado
193	0C0H	12	CHAR		Nombre del archivo de calibración del ADU06
205	0CCH	4	LONG		Fecha/Hora de calibración
209	0D0H	12	CHAR		Nombre del archivo de la calibración del sensor
221	0DCH	4	LONG		Fecha/Hora de calibración
225	0E0H	4	SINGLE		Frec. 1 de la red eléctrica
229	0E4H	4	SINGLE		Frec. 2 de la red eléctrica
233	0E8H	8	BYTE		Reservado
241	0F0H	4	SINGLE		CSAMT: frecuencia del transmisor
245	0F4H	2	INTEGER		CSAMT: bloques de registro
247	0F6H	2	INTEGER		CSAMT stacks/bloque
249	0F8H	4	LONG		CSAMT tamaño del bloque
253	0FCH	4	BYTE		Reservado
257	100H	16	CHAR		Cliente
273	110H	16	CHAR		Contratista
289	120H	16	CHAR		Área

305	130H	16	CHAR		Identificador de la Campaña
321	140H	16	CHAR		Operador
337	150h	112	CHAR		Reservado
449	1C0H	64	CHAR		Condiciones meteorológicas
513	200H	512	CHAR		Comentarios
1025	400H	32			Frecuencia de calibración 1
1025	400H	4	SINGLE		Frecuencia
1029	404H	4	SINGLE		Amplitud: campo e (V) – campo h (nT/V)
1033	408H	4	SINGLE		Fase (grados)
1037	40ch	4	SINGLE		Precisión de la amplitud (%)
1041	410H	4	SINGLE		Precisión de la fase (+/- grados)
1045	414H	12	BYTE		Reservado
1057	420H	32			Frecuencia de calibración 2
...					...
	400H+(n.1)*20H	32			Frecuencia de calibración n
	400H+n*20H	4 samples	LONGINT		Series temporales