

62542

**CAMPAÑA DE CAMPO DE GEOFÍSICA E  
INTERPRETACION DE DATOS EN LA ZONA DE  
LLUCMAJOR (MALLORCA)**

**CAPÍTULO 7 – GEOFÍSICA**

Madrid, 2002



MINISTERIO  
DE CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA



Instituto Geológico  
y Minero de España



|  |  |
|--|--|
| <b>INFORME:</b> Realización e interpretación de trabajos geofísicos en la zona de Lluçmajor (Mallorca).  | <b>Identificación:</b> Cla #8-001-2003   |
|  | <b>Fecha:</b> 10/3/2003  |
| <b>TÍTULO:</b> GEOFISICA. CAP 7  |  |
| <b>PROYECTO:</b> HIDROTERMALISMO EN LA ISLA DE MALLORCA<br>Sicoan: 2002034   |  |
| <b>RESUMEN:</b> Se presentan los fundamentos del método magneto-telúrico, la instrumentación, toma de datos y tipo de registros. Se explican con detalle los trabajos realizados, las estaciones de medida establecidas en campo. Se representan las curvas de resistividad aparente y fase, así como los intervalos de error. Por último se procede a la interpretación de los datos y se presenta el modelo geofísico obtenido en el área S de Lluçmajor (Mallorca). |  |
| <b>Revisión</b><br><br><b>Nombre:</b> Rosa María Mateos Ruiz<br><br><b>Unidad:</b> Oficina Proyectos Baleares<br><b>Fecha:</b> 20/12/2002  | <b>Autores:</b> Alex Marcuello – Juan José Ledó –<br>Universidad de Barcelona.<br><br><b>Responsable:</b> Alex Marcuello |

**CAMPAÑA DE CAMPO DE GEOFÍSICA E  
INTERPRETACION DE DATOS EN LA ZONA DE  
LLUCMAJOR (MALLORCA)**

**CAPÍTULO 7 – GEOFÍSICA**

**Madrid, 2002**

## **CAPÍTULO 7. GEOFÍSICA**

### **7.1. JUSTIFICACIÓN. SELECCIÓN DE MÉTODO**

### **7.2. METODOLOGÍA**

#### **7.2.1. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO**

#### **7.2.2. INSTRUMENTACIÓN. TOMA DE DATOS Y TIPO DE REGISTRO.**

#### **7.2.3. TRATAMIENTO DE DATOS. RESULTADOS. PARÁMETROS OBTENIDOS**

### **7.3. TRABAJO REALIZADO. ESTACIONES. INCIDENCIA**

### **7.4. CURVAS RESISTIVIDAD APARENTE Y FASE. BARRAS DE ERROR. COHERENCIA**

### **7.5. INTERPRETACIÓN**

### **7.6. MODELO GEOFÍSICO**

### **Referencias**

**APÉNDICE 7A: Especificaciones técnicas de los equipos**

**A.1 Sistemas de registro**

**A.2 Sensores magnéticos**

**APÉNDICE 7B: Formato de los archivos de las series temporales**

**B.1 Datos de campo originales del instrumento GMS06: ficheros \*.ATS**

**B.2 Datos de campo originales del instrumento MMS03E: ficheros \*.03E**

# CAPÍTULO 7. GEOFÍSICA

## 7.1. JUSTIFICACIÓN. SELECCIÓN DE MÉTODO

Como hipótesis de trabajo se ha considerado que existen dos acuíferos, uno superficial y conocido, que se corresponde con el llamado complejo arrecifal, y otro profundo, que sería el que daría origen al agua de mayor temperatura y del que no se tiene apenas información. Por lo tanto se espera que exista una zona fallada o fracturada que ponga en contacto estos dos acuíferos y por donde pueda circular este agua más caliente. Debido a la circulación de fluidos, es posible que se pueda identificar esta zona fallada porque presente una resistividad eléctrica más baja que su entorno. Por ello se sugieren los métodos geoelectricos como los más adecuados para este estudio.

En una campaña de sondeos eléctricos verticales (SEV) realizada por el IGME en la década de los ochenta se observó que el acuífero superficial era muy resistivo, por lo que la penetración de los SEV era muy limitada. En consecuencia y como alternativa, se han considerado los métodos electromagnéticos inductivos porque no presentan esta limitación en la penetración en los medios resistentes, y en particular se ha elegido el método magnetotelúrico (MT).

El objetivo de la campaña geofísica es la caracterización geoelectrica del subsuelo de la zona al sur del núcleo urbano de Lluçmajor, y su interpretación geofísica para poder localizar dónde se encuentra esta posible zona fallada.

## 7.2. METODOLOGÍA

### 7.2.1. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO

El método magnetotelúrico (MT) es una técnica de exploración geofísica basada en el fenómeno de la inducción electromagnética: considera que unas fuentes electromagnéticas naturales externas y variables con el tiempo (tormentas, corrientes ionosféricas, etc) inducen en el subsuelo unas densidades de carga y corrientes eléctricas que pueden ser caracterizadas con medidas en la superficie terrestre. Estas densidades de carga y corrientes eléctricas inducidas dependen de la distribución de resistividad eléctrica del subsuelo, cuya determinación es el objetivo del método MT.

La manera de abordar este estudio es a partir de la correlación de los campos eléctrico y magnético observados sobre la superficie terrestre. Por este motivo se registran simultáneamente en un mismo punto los campos eléctrico ( $\mathbf{E}_h$ ) y magnético ( $\mathbf{H}_h$ ) horizontales, que pueden relacionarse linealmente en el dominio espectral (o de frecuencias) por la expresión:

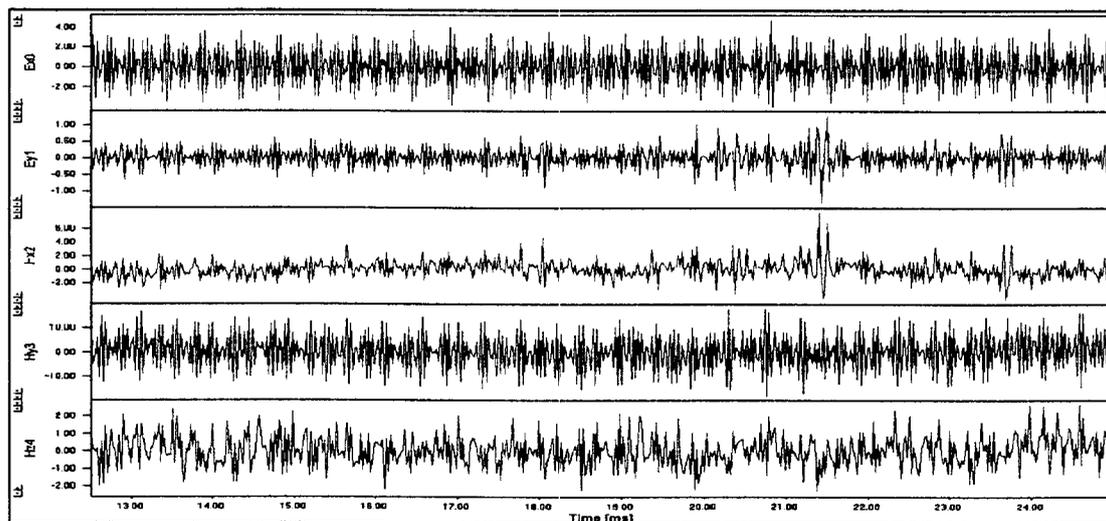
$$\mathbf{E}_h(\omega) = \mathbf{Z}(\omega) \cdot \mathbf{H}_h(\omega) \quad \text{o por componentes:} \quad \begin{aligned} E_x &= Z_{xx} H_x + Z_{xy} H_y \\ E_y &= Z_{yx} H_x + Z_{yy} H_y \end{aligned} \quad [7.1]$$

La magnitud  $\mathbf{Z}$  tiene un carácter tensorial, es el tensor de impedancia, que se representa mediante una matriz. La impedancia depende exclusivamente de la distribución de la resistividad eléctrica del subsuelo y de la frecuencia (o de su inversa: el periodo). Esta magnitud es compleja, por lo que introducen dos nuevas magnitudes reales a partir de  $\mathbf{Z}$ :



El proceso de instalación de los instrumentos consiste en primer lugar en colocar los electrodos en forma de cruz, según las direcciones N, S, E y W, separados (para este tipo de estudios) una distancia de entre veinte y treinta metros. Para su instalación se realiza un agujero de unos quince a veinte centímetros de profundidad, que se humedece con agua para asegurar una resistencia de contacto pequeña y se entierra el electrodo para así conseguir una mayor estabilidad térmica. En segundo lugar, se instalan las bobinas horizontales, para lo que se cava una zanja de unos veinte centímetros de profundidad y metro y medio de largo, para enterrar las bobinas, lo que permite reducir el efecto del viento y obtener una mayor estabilidad térmica. En tercer lugar, se instala la bobina vertical, para lo que es preciso realizar un agujero de unos 35-40 cm de profundidad, que permite fijar verticalmente la bobina, para a continuación cubrir la bobina con tierra compactada hasta al menos dos tercios de su longitud. Para orientar los sensores se utiliza una brújula y un nivel. A continuación se conectan todos los sensores al equipo de registro, de manera que los cables estén a ras de tierra para evitar la vibración del viento, después se instala la toma de tierra, y se alimenta con una batería de 12 V.

El registro de estos cinco canales se realiza simultáneamente y se digitaliza a una frecuencia de muestreo seleccionada por el operador. Los registros originales consisten en series temporales como las del tipo que se muestran en la figura 7.2.



**Figura 7.2. Ejemplo de registro temporal de una estación mostrando los cinco canales.**

Para esta campaña se han utilizado dos instrumentos diferentes de la empresa alemana Metronix, cuyas características principales están descritas en el anexo 5A: el modelo MMS03E de la Universidad de Barcelona (para frecuencias menores de 256 Hz), y el modelo GSM06 de la Universidad de Lisboa (para frecuencias menores de 8000 Hz, en el rango audiomagnetotelérfico, AMT).

### 7.2.3. TRATAMIENTO DE DATOS. RESULTADOS. PARÁMETROS OBTENIDOS

Para calcular el tensor de impedancia se parte de los registros temporales y se pasan al dominio espectral o de frecuencias mediante la transformada de Fourier. Las relaciones

lineales [7.1] permiten determinar el tensor de impedancia (ver p.e. Vozoff 1972), y a partir de él, las curvas de resistividad aparente y fase en función de la frecuencia.

En esta etapa de procesado de las series temporales es preciso comprobar que realmente existe una correlación entre la señal dada por el campo eléctrico y la dada por el campo magnético. La manera de controlar este aspecto es mediante el cálculo de la coherencia, que indica para cada frecuencia cuál es el grado de relación entre las señales eléctricas y magnéticas debido al fenómeno de la inducción: si la coherencia es 1, la relación entre los campos es perfecta, si es 0, no la hay.

Cuando se obtienen las curvas de resistividad aparente y fase se procede a la evaluación de su calidad, en donde se tienen en cuenta principalmente dos aspectos:

- a) Para cada frecuencia, se considera la coherencia entre la señal magnética y la eléctrica,
- b) Para cada curva, se observa la dispersión entre los valores de la resistividad aparente y de la fase para las diferentes frecuencias.

Si los datos presentan una mala calidad se pasa a una selección detallada de los registros temporales de mejor calidad, a partir de los cuales se obtiene una nueva curva de resistividades aparentes y fases. Si aún con todo, la calidad de los datos sigue siendo mala, se ha procedido a eliminar estos datos de las curvas.

A continuación se analiza 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. En el caso de estructuras geoelectricas bidimensionales también es posible determinar la dirección de la estructura.

Una vez determinada la dirección de la estructura geoelectrica la etapa siguiente del análisis es la corrección del *static shift*, para eliminar los efectos de heterogeneidades en las proximidades de los electrodos, que provocan un desplazamiento vertical de las curvas de resistividad aparente, y que pueden llevar a una interpretación errónea.

Después de todo este proceso se obtienen las curvas de resistividad aparente y fase preparadas para iniciar la interpretación.

### **7.3. TRABAJO REALIZADO. ESTACIONES. INCIDENCIA**

A partir de la información disponible se diseñó la campaña, que se desarrolló a partir de dos perfiles largos, uno en la dirección NW-SE (perfil 1), y otro en la dirección NE-SW (perfil P) en forma de L, que fueron complementados por otras estaciones en la zona limitada por estos perfiles, según una cuadrícula de unos cuatrocientos metros de paso. Estas estaciones entre los dos perfiles principales permiten construir perfiles paralelos a los anteriores más cortos. También se han efectuado algunos sondeos fuera de esta cuadrícula y poder disponer de una información más regional, para lo que se ha empleado el instrumento MMS03E.

La campaña de adquisición de datos se ha realizado entre finales de julio y principios de agosto de 2002. En ella se han adquirido 46 registros magnetotelúricos (MT) en 42 ubicaciones distintas. Diez de los registros se han realizado con el modelo MMS03E de la Universidad de Barcelona y los 36 restantes, con el modelo GSM06 de la Universidad

de Lisboa. La localización de las mismas se presentan en la figura 7.3, y sus coordenadas, en la tabla 7.1. Para poder comparar los resultados que se obtienen con los dos instrumentos se ha efectuado un registro con los dos instrumentos en cuatro emplazamientos.

**TABLA 7.1.**

Coordenadas UTM de las estaciones

| Coordenadas UTM |        |         | Coordenadas UTM |        |         | Coordenadas UTM |        |         |
|-----------------|--------|---------|-----------------|--------|---------|-----------------|--------|---------|
| Estación        | ESTE   | NORTE   | Estación        | ESTE   | NORTE   | Estación        | ESTE   | NORTE   |
| 1               | 489375 | 4369700 | 21              | 490360 | 4368700 | 41              | 490202 | 4369651 |
| 2               | 488536 | 4369980 | 22              | 490153 | 4368642 | 42              | 490400 | 4369437 |
| 3               | 488630 | 4369762 | 23              | 489912 | 4368517 | 51              | 489382 | 4369387 |
| 4               | 488123 | 4370229 | 24              | 489685 | 4368245 | 52              | 489588 | 4369580 |
| 5               | 489024 | 4369300 | 25              | 490474 | 4369064 | 53              | 490216 | 4369869 |
| 6               | 488837 | 4369627 | 26              | 490887 | 4369156 | 54              | 490592 | 4370165 |
| 7               | 489120 | 4369134 | 27              | 491822 | 4370119 | 55              | 490011 | 4369753 |
| 8               | 489212 | 4368746 | 28              | 491692 | 4369899 | 61              | 490119 | 4370263 |
| 9               | 489410 | 4368458 | 29              | 491380 | 4369673 | 62              | 489988 | 4370543 |
| K10             | 487950 | 4371050 | 30              | 492797 | 4370913 | 63              | 489502 | 4370227 |
| K11             | 488150 | 4369250 | K31             | 494075 | 4371940 | 64              | 489254 | 4370043 |
| K12             | 491925 | 4368600 | 32              | 492493 | 4370726 | 65              | 489068 | 4369919 |
| K13             | 488100 | 4367600 | 33              | 492232 | 4370254 | 66              | 489955 | 4369130 |
| K14             | 490675 | 4367800 | 34              | 492298 | 4370534 | 67              | 489672 | 4368736 |

Para optimizar la capacidad de registro de los instrumentos en el rango de frecuencias de interés (entre 0,01 y 8000 Hz) se ha dividido este rango en diferentes partes o bandas, cada una con una determinada frecuencia de muestreo, que dependen del instrumento, y que vienen indicadas en las tablas 7.2 y 7.3.

**TABLA 7.2**

Características de las bandas utilizada por el instrumento MMS03E

| Banda | Rango de frecuencias | Frecuencia de muestreo |
|-------|----------------------|------------------------|
| 1     | 16-256 Hz            | 512 Hz                 |
| 2     | 0,25-16 Hz           | 32 Hz                  |
| 3     | 0,001-0,5 Hz         | 1 Hz                   |

**TABLA 7.3**

Características de las bandas utilizada por el instrumento GMS06

| Banda | Rango de frecuencias | Frecuencia de muestreo    |
|-------|----------------------|---------------------------|
| HF    | 500-8000Hz           | 40960 Hz                  |
| 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) |



En la tablas 7.4 y 7.5 se presentan las características principales de los registros que se han efectuados en cada ubicación, indicando la duración de registro de cada banda.

**TABLA 7.4:**  
Características del registro y su duración con el instrumento GMS06.

| Estación | run | Hz | HF  | LF1   | Free   | LF2        | LF3        |
|----------|-----|----|-----|-------|--------|------------|------------|
| 1        | 4   | Sí | 7 s | 5 min | -      | 20 min     | 21 min     |
| 2        | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 30 min | 2 h 30 min |
| 3        | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 30 min | 2 h 30 min |
| 4        | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 30 min | 2 h 30 min |
| 5        | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 15 min | 3 h 15 min |
| 6        | 9   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | -          | -          |
| 7        | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 30 min | 2 h 30 min |
| 8        | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 30 min | 2 h 30 min |
| 9        | 3   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | -          | -          |
| 21       | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 15 min | 2 h 15 min |
| 22       | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 15 min | 2 h 15 min |
| 23       | 3   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 30 min | 3 h 30 min |
| 24       | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 15 min | 3 h 15 min |
| 25       | 4   | -  | 7 s | -     | 15 min | -          | -          |
| 26       | 3   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | -          | -          |
| 27       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | -          | -          |
| 28       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | -          | -          |
| 29       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 30 min |            |
| 30       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h        | 3 h 30 min |
| 32       | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 15 min | 3 h        |
| 33       | 2   | -  | 7 s | -     | 15 min | 2 h 15 min | 2 h 15 min |
| 34       | 3   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | -          | 2 h 15 min |
| 41       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | -          | -          |
| 42       | 5   | -  | 7 s | -     | 10 min | -          | -          |
| 51       | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 15 min | 3 h 15 min |
| 52       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 30 min     | 31 min     |
| 53       | 2   | Sí | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h 30 min | 3 h 30 min |
| 54       | 2,3 | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 30 min     | 31 min     |
| 55       | 3   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 1 h 30 min | 2 h 30 min |
| 61       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 30 min     | 30 min     |
| 62       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 45 min     | 45 min     |
| 63       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 35 min     | 35 min     |
| 64       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 30 min     | 30 min     |
| 65       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 30 min     | 30 min     |
| 66       | 3   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 2 h        | 2 h        |
| 67       | 2   | -  | 7 s | 5 min | 15 min | 1 h        | 1 h        |

**TABLA 7.5:**

Características del registro y su duración con el instrumento MMS03E.

| Estación | Fichero | H <sub>z</sub> | B2    | B3     | B4         |
|----------|---------|----------------|-------|--------|------------|
| 3        | 1       | Sí             | 1 min | 30 min | 5 h        |
| 6        | 3       | Sí             | 1 min | 30 min | 6 h        |
| 9        | 11      | Sí             | 1 min | 30 min | -          |
| K10      | 2       | Sí             | 1 min | 30 min | 6 h 45 min |
| K11      | 3       | Sí             | 1 min | 30 min | 6 h        |
| K12      | 4       | Sí             | 1 min | 30 min | 6 h 30 min |
| K13      | 2       | Sí             | 1 min | 30 min | 7 h 30 min |
| K14      | 2       | Sí             | 1 min | 30 min | -          |
| 25       | 2       | Sí             | 1 min | 15 min | 7 h 20 min |
| K31      | 3       | Sí             | 1 min | 30 min | 7 h 20 min |

Una vez instalado el equipo y antes de la adquisición de los datos se realizan controles para comprobar el correcto funcionamiento.

Cuando se acaba la adquisición de datos, se realiza en el campo una primera inspección visual de las series temporales, para comprobar que tanto la información de la cabecera, la orientación de los sensores y la conexión de los sensores era correcta. A continuación se realiza un rápido procesado preliminar para evaluar el estado de la estación y disponer de una estimación de la calidad de los datos. En esta etapa se observó el registro de la componente magnética vertical era de mala calidad para frecuencias altas, por lo que se decidió instalar la componente vertical sólo para el instrumento MMS03E, que trabaja con frecuencias más bajas.

Las incidencias durante la realización de la campaña han sido menores (rotura de conectores o descarga prematura de las baterías de alimentación) y han sido resueltas en el campo.

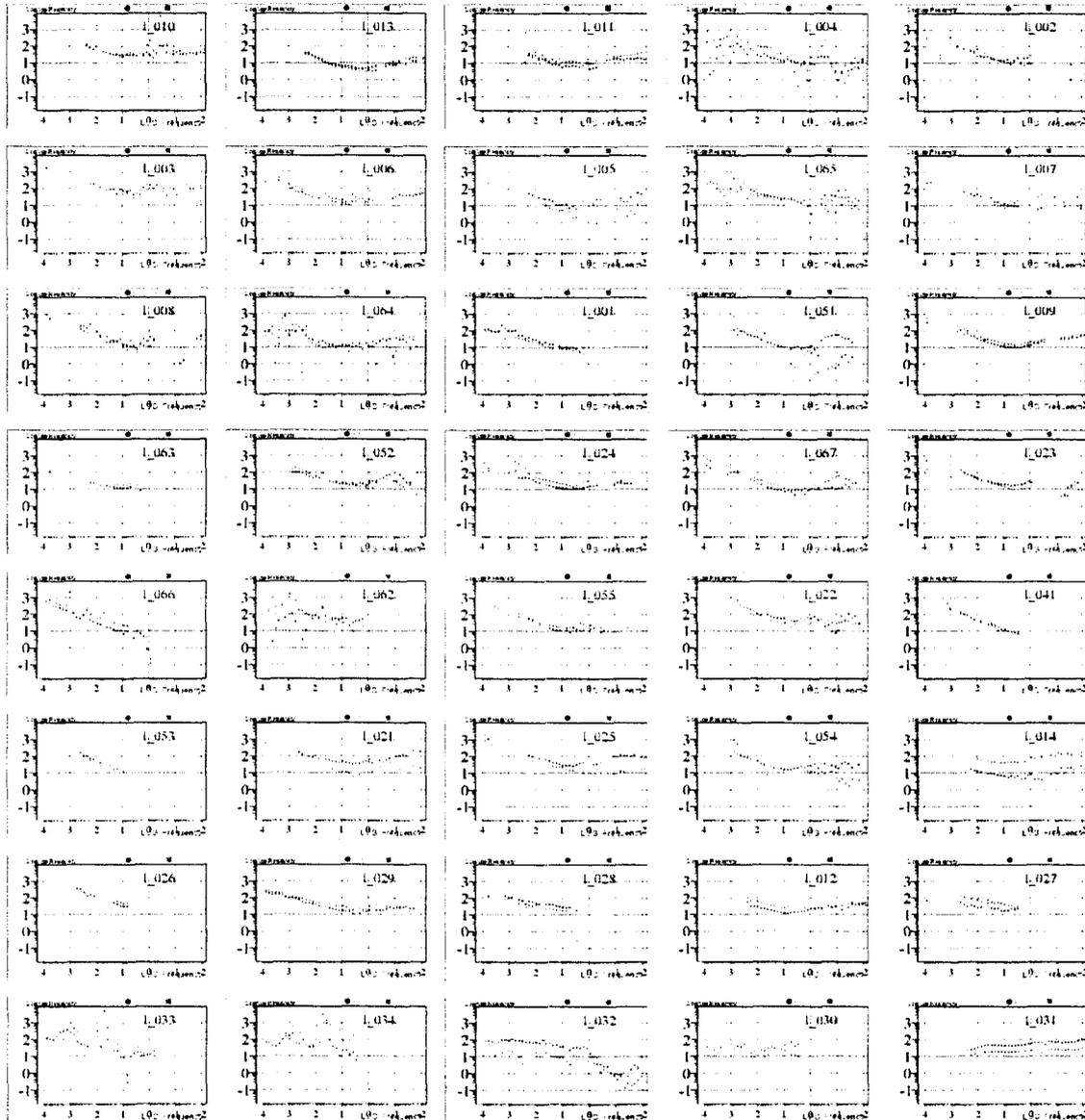
#### 7.4. CURVAS RESISTIVIDAD APARENTE Y FASE. BARRAS DE ERROR. COHERENCIA

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 expresiones [7.2]. En las figuras 7.4 y 7.5, se muestran las curvas de resistividad aparente y fase según las direcciones de medida (NS y EW) y sin la corrección del *static shift*.

En estas figuras las curvas están ordenadas de oeste a este según la posición de las estaciones, empezando por la más occidental (la 10) y acabando por la más oriental (la 31).

La barra de error de la resistividad aparente y la fase se ha determinado a partir del error de la impedancia, según la fórmula de propagación de errores que se puede obtener de [7.2]. El error de  $Z$  se determina a partir de la coherencia entre las componentes electromagnéticas (para una información más detallada se puede consultar el capítulo 6.8 en Bendat y Piersol, 1971).

Los sondeos 42 y 61 no aparecen en las figuras 7.4 y 7.5 porque los datos son de mala calidad y no se ha podido aprovechar ninguna parte del espectro. Estas estaciones no se han tenido en cuenta en la interpretación.



**Figura 7.4. Curvas de resistividad aparente. En rojo según la dirección XY (campo eléctrico en la dirección NS, campo magnético en la dirección EW), y en verde, según la dirección YX.**

Se observa en la figura 7.4 que en la mayoría de los casos las curvas presentan un mínimo. Esto correspondería a estructuras geoelectricas del tipo resistente-conductor-resistente. Este comportamiento parece desaparecer en los sondeos más orientales. Además, se observa que en general hay dos intervalos en el espectro que tienen una mala calidad: un primer intervalo entre 5000 y 500 Hz, (correspondiente a una menor penetración y, por lo tanto, a estructuras muy superficiales) y un segundo intervalo entre 5 y 0,3 Hz. El motivo de la mala calidad en el primero es el ruido antropogénico que

coincide con un mínimo de la señal audiomagnetotelérica natural, y el motivo en el segundo es que la amplitud de la señal natural alrededor de 1 Hz es demasiado baja. De todas maneras disponemos de datos suficientes para el estudio.

## 7.5. INTERPRETACIÓN

A partir de estos datos se ha pasado a analizar si las estructuras geoelectricas dominantes son uni-, bi- o tridimensionales. El análisis se ha efectuado mediante la descomposición de Groom-Bailey (Groom y Bailey, 1989), que indica que las estructuras geoelectricas en la zona de estudio tienen una dirección 45°E.

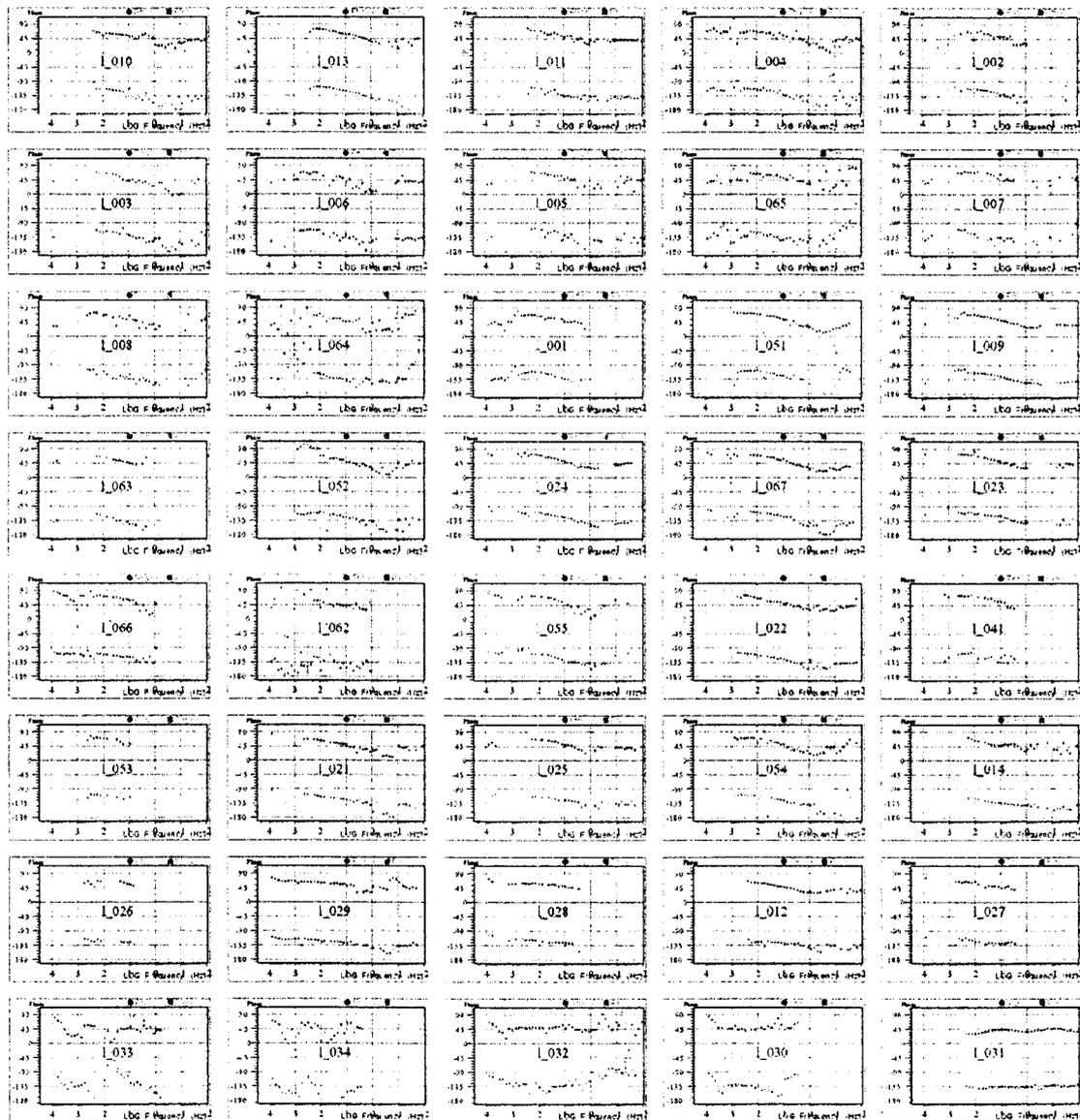
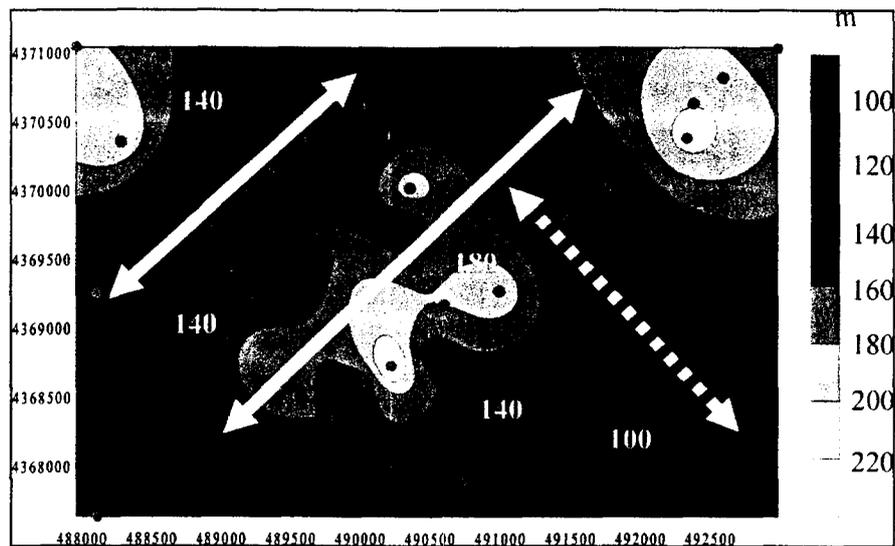


Figura 7.5. Curvas de fases. En rojo según la dirección XY (campo eléctrico en la dirección NS, campo magnético en la dirección EW), y en verde, según la dirección YX.

Esta metodología no puede discriminar entre una dirección y su perpendicular, por lo que una dirección  $135^{\circ}\text{E}$  también podría ser compatible. Para eliminar esta indeterminación, y dado que las dos curvas que se obtienen en las dos direcciones de medida presentan una forma muy semejante, se ha procedido a la inversión 1-D de los datos MT, que ofrecerá una interpretación aproximada. Para el ajuste se ha utilizado un modelo de tres capas del tipo resistente-conductor-resistente, y sobre un mapa se ha representado la profundidad a la que se encuentra el techo del conductor (figura 7.6). En ella se puede identificar dos alineamientos: uno en la dirección NE-SW, y otro más hacia el Este, en la dirección NW-SE (éste menos evidente). En consecuencia se ha considerado que la dirección principal de las estructuras es  $45^{\circ}\text{E}$ .



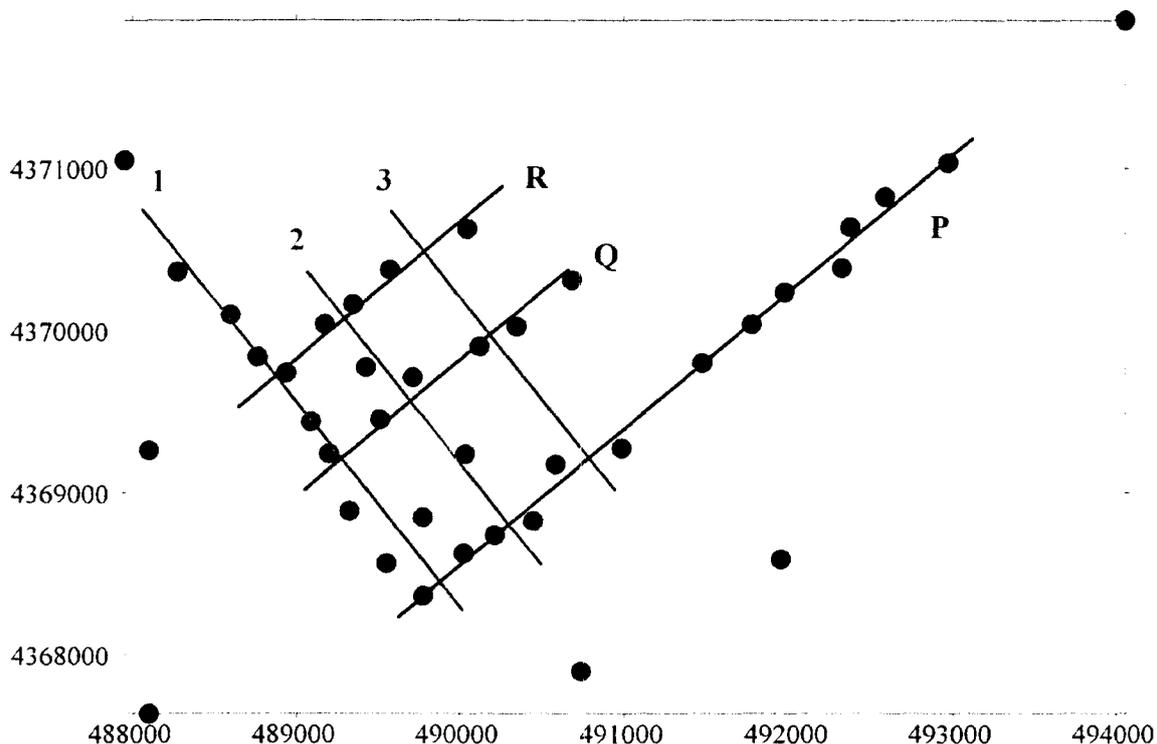
**Figura 7.6. Alineaciones obtenidas a partir del techo del conductor (ver texto)**

El siguiente paso ha sido la corrección del *static shift*. Una manera de evaluar su importancia es la de estudiar el comportamiento de las curvas de resistividad aparente a frecuencias altas (periodos bajos), en el caso de que las curvas según las dos direcciones de medida converjan hacia el mismo valor de resistividad, no es preciso realizar ningún tipo de corrección. Afortunadamente, éste es el comportamiento habitual, tal y como se observa en las curvas de la figura 7.4. Además ha podido ser contrastado con los datos obtenidos por la campaña del SEV realizada por el IGME en la década de los ochenta.

Como resultado de todo el análisis anterior se construyen las curvas de resistividad aparente y fase de todos los sondeos según las direcciones geoelectricas, es decir como si los datos se hubiesen adquirido con una orientación de los sensores eléctricos y magnéticos en las direcciones  $45^{\circ}\text{E}$  y  $135^{\circ}\text{W}$ , lo que va a permitir realizar la modelización bidimensional.

Esta modelización se realiza en base a perfiles perpendiculares a la estructura, porque en este caso es posible descomponer el campo electromagnético según dos comportamientos independientes, o modos: la polarización E, cuando el campo eléctrico es paralelo a la estructura, y la polarización H, cuando lo es el campo magnético. Como el análisis anterior ha indicado que estructura geoelectrica tiene la dirección SW-NE, se han considerado tres perfiles perpendiculares NW-SE, identificados como los perfiles 1,

2 y 3, cuya localización se muestra en la figura 7.7. Sobre estos perfiles se han proyectado las ubicaciones magnetotelúricas más próximas.



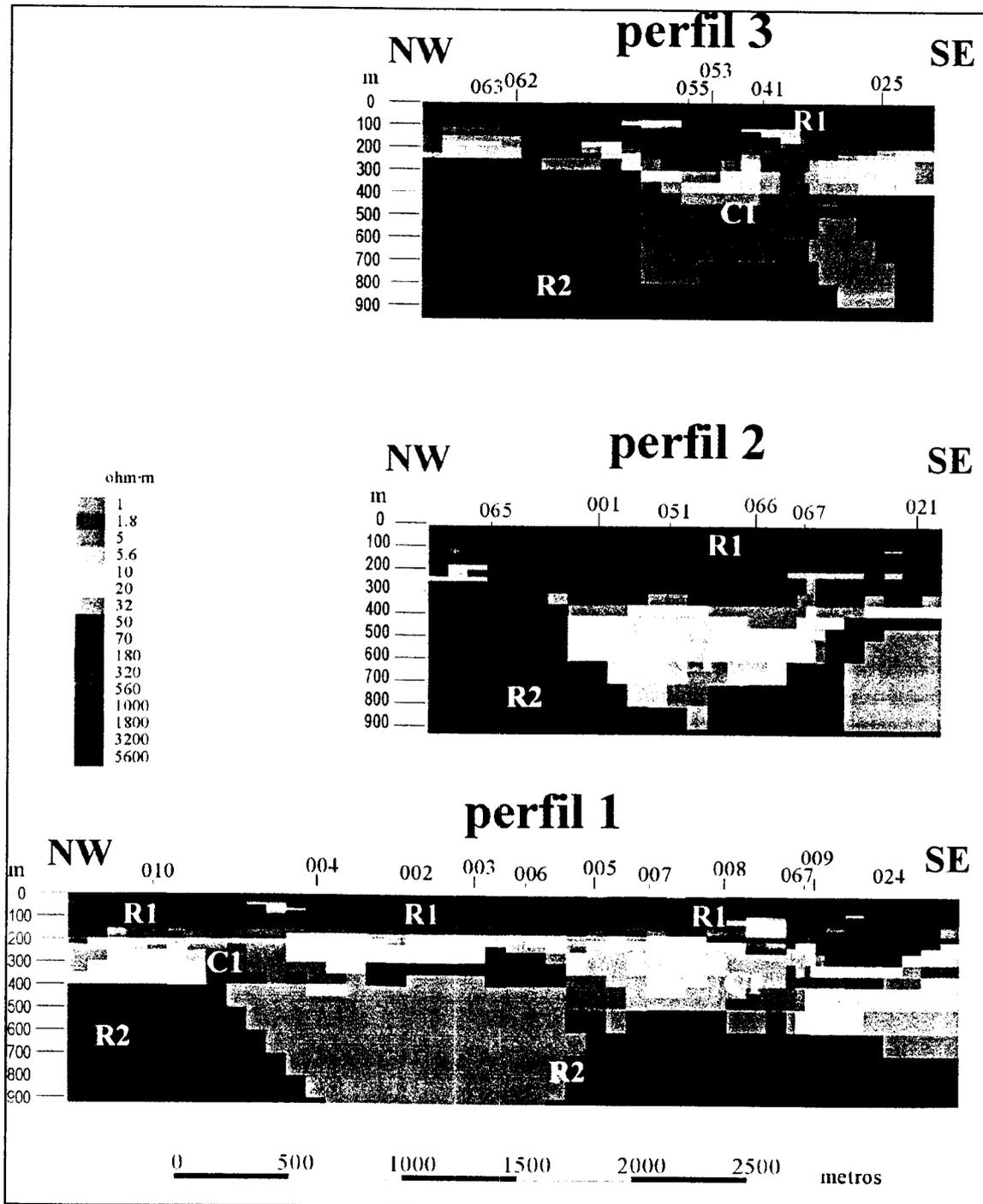
**Figura 7.7. Localización de los perfiles interpretados.**

También se muestran en la figura 7.7 los perfiles P, Q y R, orientados en la dirección NE-SW, que requieren ser comentados. Conceptualmente, no es posible interpretar los perfiles paralelos a la estructura mediante modelos bidimensionales, ya que por construcción se supone que a lo largo de la dirección de la estructura no debe haber cambios en la distribución de resistividades y por lo tanto en las respuestas magnetotelúricas. Los datos obtenidos indican que estas variaciones a lo largo de la estructura existen, pero que son muy suaves, lo que justifica el empleo de modelos bidimensionales. Afortunadamente también se observa que las dos curvas obtenidas según las direcciones de medida presentan una forma semejante para frecuencias altas, por lo que se ha juzgado que, en ese rango de frecuencias, las respuestas no dependen de la polarización. De esta manera se ha procedido a la interpretación de esos perfiles, pero sólo se ha tenido en cuenta la parte más superficial, correspondiente a las frecuencias más altas.

## 7.6. MODELO GEOFÍSICO

Para la interpretación se han considerado los datos en el rango de frecuencias entre 500 y 1 Hz, que es un rango donde la mayoría de sondeos de los perfiles tienen datos suficientes, y se han completado con frecuencias más bajas (de mayor penetración) donde ha sido posible.

Los modelos 2D se han obtenidos mediante el algoritmo de Mackie (Rodi y Mackie, 2001). En la figura 7.8 se presentan los modelos obtenidos para los perfiles en la dirección NW-SE, que son el 1, 2 y 3. Y en la figura 7.9, se presentan los modelos para los perfiles según la dirección NE-SW, identificados como P, Q y R.



**Figura 7.8. Modelos geoelectricos para los perfiles 1, 2 y 3.**

En los modelos de la figura 7.8, se puede identificar como características más destacadas las siguientes:

- a) la existencia de una capa resistente (R1) de entre 150 a 200 m de potencia (colores azules);
  - b) una capa conductora (C1) debajo de la anterior de potencia variable (colores rojos y amarillos);
  - c) debajo de la anterior aparece una capa (R2) más resistente (color verde),
- que corroboran la estructura resistente-conductor-resistente sugerida por las curvas.

En el perfil 1 (panel inferior) se observa que la capa conductora (C1) presenta cierta discontinuidad en el tramo bajo las estaciones 3, 6 y 5. Este comportamiento también se identifica en el perfil 2 (entre los puntos 65 y 1,) y el perfil 3 (entre las estaciones 62 y 55), pero estos perfiles son más cortos que el perfil 1 y no se puede evaluar su comportamiento hacia el NW. Por lo tanto se podría considerar que esta discontinuidad se extiende a lo largo de la dirección NE-SW.

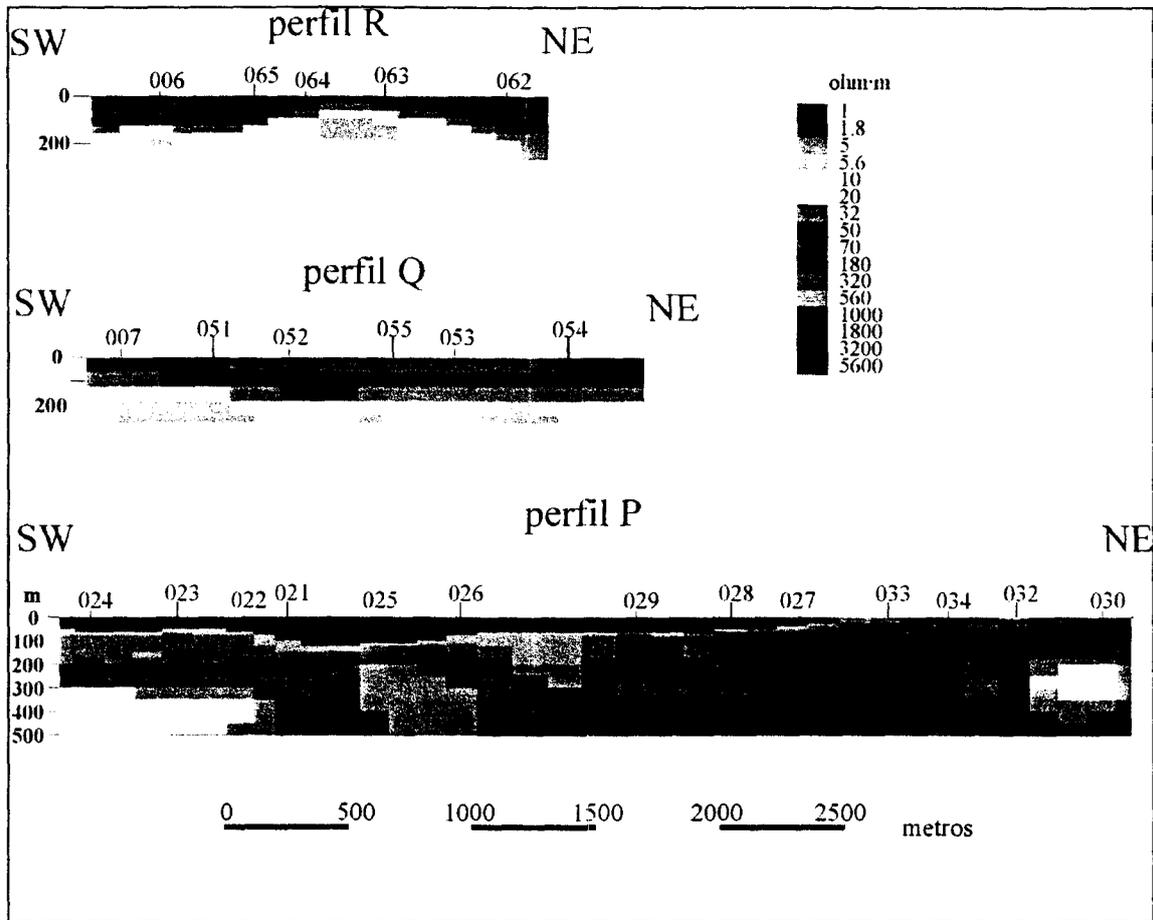
También se observa en los tres perfiles que al SE de este cambio (o discontinuidad) hay un engrosamiento significativo de la capa conductora (bajo las estaciones 5, 7 y 8 en el perfil 1; bajo los puntos 1, 51 y 66 en el perfil 2, y bajo 55, 53 y 41 en el perfil 3), que se va adelgazando de manera gradual cuando se continua hacia el SE.

Es importante remarcar que la presencia de esta capa conductora (C1) tiene dos efectos a tener en cuenta en el proceso de interpretación: En primer lugar, "apantalla" las estructuras más profundas, y seguramente el modelo no tiene resolución suficiente por debajo de 500 m (aunque en la figura 7.8 se muestre hasta casi un kilómetro), y en segundo lugar, la potencia de la capa conductora puede quedar indeterminada por el problema de la equivalencia (diferentes valores de resistividad y potencia pueden presentar la misma respuesta magnetoteléutica), de manera que la base de C1 no queda completamente determinada.

Como se ha comentado al final del apartado 7.5, los modelos obtenidos en la figura 7.9 deben ser tomados con cierta cautela, y sólo se ha considerado la parte más superficial de la interpretación, que no depende de la polarización considerada. En el perfil P de esta figura se observa cómo la potencia de la capa resistente superficial (identificada como R1 en los perfiles 1, 2 y 3) va disminuyendo hacia el NE, y prácticamente desaparece bajo el punto 32. Este comportamiento podría considerarse como regional. En los perfiles Q y R aparece claramente el conductor identificado como C1. En el perfil Q el techo de este conductor se encuentra a una profundidad de entre 160-190 m, y en el perfil R, el techo del conductor pero se llega a situar a menos de 100 m entre las estaciones 64 y 63. Se aprecia también un cambio de comportamiento entre los perfiles Q y R por una parte, y el P por otra, que se puede justificar por el hecho de que los perfiles Q y R están sobre la región donde el conductor esta engrosado (según indican de los perfiles 1, 2 y 3) mientras que el perfil P está fuera de esa zona.

El paso del modelo geoelectrico al geológico no es simple, porque la relación entre resistividad y litología no es biunívoca, dado que la resistividad eléctrica depende de la composición de la roca, de la porosidad, de la presencia de fluidos, del tipo de fluido que contiene, etc. Por dicho motivo proponemos la siguiente asignación entre las

resistividades eléctricas identificadas en los modelos y la litología, a partir de la información geológica previa a la campaña:



**Figura 7.9. Modelos geoelectricos de los perfiles P, Q y R.**

- Los valores altos de resistividad próximos a la superficies (R1) se asocian a el conjunto cuaternario y complejo arrecifal del Mioceno. Las variaciones en esta dominio pueden ser debidas a cambios locales de la litología (p.e. mayor contenido en arcillas) o a la presencia de fluidos.
- Los valores más bajos de la resistividad (identificados por colores amarillos y ocras), que correspondería al dominio C1, podrían ser asignados a las margas del Mioceno, u otro material conductor que *selle* el acuífero. En la frontera con el dominio anterior R1 es posible que la resistividad baja sea debida a la zona freática del acuífero superficial.
- Los valores intermedios (los colores verdes) que aparecen bajo las margas (dominio R2) debe ser el basamento.

Las secciones geoelectricas parecen indicar la existencia de una discontinuidad, de dirección NE-SW, localizada entre las estaciones 6-5, 65-1 y 63-51, que eleva el basamento en el Norte y aumenta el espesor de margas en el Sur, que pueden dar lugar a una pequeña cubeta, y justificar la presencia del mínimo gravimétrico de esta zona. La dirección de la discontinuidad coincide además con la del gradiente térmico (en concreto con la isolínea de 40°C) y con la falla sugerida a partir de la extrapolación de las observaciones en la costa.

## Referencias

- Bendat, J.S y Piersol, A.G. 1971. Random data: Analysis and measurements procedures. John Wiley & sons. Nueva York, 407 pág.
- 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.
- Rodi, W., y Mackie, R.L. 2001. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversions, *Geophysics*, 66 , 174-187.
- Vozoff, K. 1972. The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins. *Geophysics*, 37, 98-141.

## APÉNDICE 7A: Especificaciones técnicas de los equipos

### A.1 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  $\pm 130$  ns con referencia GPS (Motorola).

**Capacidad:** 100 Mb de memoria Flash.

**Conexión de red:** Cable coaxial estándar.

**Alimentación:** batería de 12 V (40Ah).

**Metronix SCU884 y ADR881 (registrador del MMS03E):** convertidor A/D: 1024 muestras/s, de 16 bit, y 5 canales.

**Rango de frecuencias:** DC-256 Hz

**Reloj Interno:** Oscilador de cristal de cuarzo de alta precisión  $\pm 130$  ns

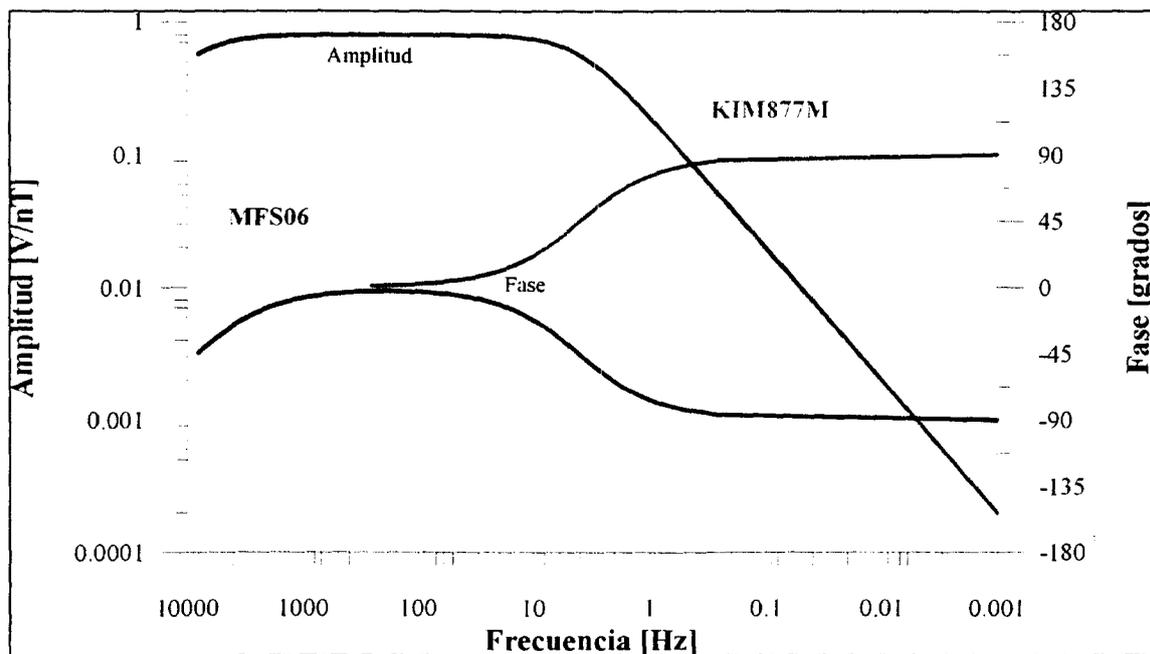
**Capacidad:** 4 Mb de memoria.

**Conexión de red:** Cable en serie y en paralelo.

**Alimentación:** batería de 12 V (40Ah).

### A.2 Sensores magnéticos

Cada instrumento tiene sus propias bobinas de inducción: el GMS06 utiliza las bobinas MFS06, y el MMS03E, las KIM877M. Las funciones de respuesta típicas para cada bobina se muestran en la siguiente figura, donde el KIM877E sólo trabaja hasta 256 Hz (la amplitud de las dos bobinas se superponen a partir de ese valor).



## APÉNDICE 7B: Formato de los archivos de las series temporales

### B.1 Datos de campo originales del instrumento GMS06: ficheros \*.ATS

Los datos de campo originales (series temporales) están almacenados en unos archivos escritos en formato binario por el programa de adquisición de datos GMS157b desarrollado por Metronix. Estos archivos están ubicados en un directorio con el nombre de la estación. Los archivos individuales dentro del directorio siguen la convención siguiente:

ssscrtrb.ATS

donde:

- sss = número del serie del equipo ADU06 (el 024 en nuestro equipo)
- c = Número de canal del ADU06 (a=1...h=8)
- rr = 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)

Cabecera del archivo:

| 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  |                | Angulo(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,<br>'G' reloj interno GPS  |
| 110  | 06DH | 1   | CHAR    |  | Tipo de coordenadas adicionales:<br>'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:<br>'G' GPS sintonizado,<br>'C' CLK sincronizado,<br>'N' CLK no sincronizado |
| 130  | 089H | 1   | BYTE    |  | Precisión aproximada del GPS/CLK: 9<br>indica una precisión de $10^{-9}$                    |
| 131  | 082H | 14  | BYTE    |  | Reservado   |
| 145  | 090H | 12  | CHAR    |  | Nombre del archivo de cabecera del<br>registro  |
| 157  | 09CH | 4   | CHAR    |  | Tipo de medición: MT o CSAMT  |
| 161  | 0A0H | 12  | CHAR    |  | Nombre del archivo con los resultados del<br>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<br>archivo                                       |
| 179  | 0B2H | 2   | INTEGER |  | Tamaño de las frecuencias de entrada(32<br>byte)  |
| 181  | 0B4H | 2   | INTEGER |  | Versión del formato de calibración (*100)   |
| 183  | 0B6H | 2   | INTEGER |  | Dirección lógica inicial de la información<br>de calibración en la cabecera (400H)          |
| 185  | 0B8H | 8   | BYTE    |  | Reservado   |
| 193  | 0C0H | 12  | CHAR    |  | Nombre del archivo de calibración del<br>ADU06  |
| 205  | 0CCH | 4   | LONG    |  | Fecha/Hora de calibración   |
| 209  | 0D0H | 12  | CHAR    |  | Nombre del archivo de la calibración del<br>sensor  |
| 221  | 0DCH | 4   | LONG    |  | Fecha/Hora de calibración   |
| 225  | 0E0H | 4   | SINGLE  |  | Freq. 1 de la red eléctrica   |
| 229  | 0E4H | 4   | SINGLE  |  | Freq. 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    |  | Area  |
| 305  | 130H | 16  | CHAR    |  | Identificador de la Campña  |
| 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           |

## B.2 Datos de campo originales del instrumento MMS03E: ficheros \*.03E

Las series temporales consisten en dos partes, la cabecera y los datos. La cabecera ocupa los primeros 1024 bytes y los datos están almacenados según la banda y ubicados de acuerdo al siguiente esquema:

| Cabecera del archivo | 1024 bytes             |
|----------------------|------------------------|
| Canal 1, Banda 1     | RecordsBd1 * 256 bytes |
| Canal 2, Banda 1     | RecordsBd1 * 256 bytes |
| ...                  | ...                    |
| Canal n, Banda 1     | RecordsBd1 * 256 bytes |
| Canal 1, Banda 2     | RecordsBd2 * 256 bytes |
| Canal 2, Banda 2     | RecordsBd2 * 256 bytes |
| ...                  | ....                   |
| Canal n-1, Banda 5   | RecordsBd5 * 256 bytes |
| Canal n, Banda 5     | RecordsBd5 * 256 bytes |

La dirección donde está ubicado los datos del el primer canal de cada banda está indicada en el cabecera del archivo. El número de datos depende del tiempo de medición. El número de registros (en bloques de 256 byte) por canal también está definido en la cabecera del archivo.

El formato de la cabecera es el siguiente:

| Adr  | Byte | Tipo     | Nombre        | Descripción                      |
|------|------|----------|---------------|----------------------------------|
| 000H | 2    | CARDINAL | Channels      | Número de canales                |
| 002H | 2    | STRING   | Equipment     | "03" o "05"                      |
| 004H | 4    | LONGCARD | Maxrecords    | Registros Band1...Band5          |
| 008H | 4    | LONGCARD | RecordsBd2    | Número de registros banda2       |
| 00CH | 4    | LONGCARD | RecordsBd3    | Número de registros banda3       |
| 010H | 4    | LONGCARD | RecordsBd4    | Número de registros banda4       |
| 014H | 4    | LONGCARD | RecordsBd5    | Número de registros banda5       |
| 018H | 4    | LONGCARD | AdrBd2        | Dirección del primer byte banda2 |
| 01CH | 4    | LONGCARD | AdrBd3        | Dirección del primer byte banda3 |
| 020H | 4    | LONGCARD | AdrBd4        | Dirección del primer byte banda4 |
| 024H | 4    | LONGCARD | AdrBd5        | Dirección del primer byte banda5 |
| 028H | 8    |          | Reserved1     |                                  |
| 030H | 16   | STRING   | StartTimeBd2  | "hh:mm:ssdd:mm:yy"               |
| 040H | 16   | STRING   | StartTimeBd3  | "                                |
| 050H | 16   | STRING   | StartTimeBd4  | "                                |
| 060H | 16   | STRING   | StartTimeBd5  | "                                |
| 070H | 8    | STRING   | DistanceChan1 | Longitud del dipolo (m)          |
| 078H | 8    | STRING   | DistanceChan2 | "                                |
| 080H | 8    | STRING   | DistanceChan3 | "                                |
| 088H | 8    | STRING   | DistanceChan4 | "                                |
| 090H | 8    | STRING   | DistanceChan5 | "                                |
| 098H | 8    | STRING   | DistanceChan6 | "                                |
| 0A0H | 8    | STRING   | DistanceChan7 | "                                |
| 0A8H | 8    | STRING   | DistanceChan8 | "                                |
| 0B0H | 8    |          | Reserved2     |                                  |

|      |    |          |                |  |
|------|----|----------|----------------|--|
| 0B8H | 2  | CARDINAL | HighPassFilter | '0' = off                                |
| 0BAH | 2  | CARDINAL | Notch1         | '0' = off                                |
| 0BCH | 2  | CARDINAL | Notch2         | '0' = off                                |
| 0BEH | 2  | CARDINAL | Notch3         | '0' = off                                |
| 0C0H | 2  | CARDINAL | Notch4         | '0' = off                                |
| 0C2H | 2  | CARDINAL | FreqStabCode   | No usado                                 |
| 0C4H | 2  | CARDINAL | Remote         | No usado                                 |
| 0C6H | 2  | CARDINAL | Number ADR     | No usado                                 |
| 0C8H | 4  |          | Reserved3      |  |
| 0CCH | 4  | STRING   | Site           |  |
| 0D0H | 16 | STRING   | Longitude      | nnnDEGREnn'nn"                           |
| 0E0H | 16 | STRING   | Latitude       | nnnDEGREnn'nn"                           |
| 0F0H | 16 |          | Reserved4      |  |
| 100H | 4  | STRING   | AmplChan1      | Amplificación de los canales: [1,2,...8] |
| 104H | 4  | STRING   | AmplChan2      | "  |
| 108H | 4  | STRING   | AmplChan3      | "  |
| 10CH | 4  | STRING   | AmplChan4      | "  |
| 110H | 4  | STRING   | AmplChan5      | "  |
| 114H | 4  | STRING   | AmplChan6      | "  |
| 118H | 4  | STRING   | AmplChan7      | "  |
| 11CH | 4  | STRING   | AmplChan8      | "  |
| 120H | 4  | STRING   | NameChan1      | Tipo de canal: EX, EY, HX, HY o HZ       |
| 124H | 4  | STRING   | NameChan2      | "  |
| 128H | 4  | STRING   | NameChan3      | "  |
| 12CH | 4  | STRING   | NameChan4      | "  |
| 130H | 4  | STRING   | NameChan5      | "  |
| 134H | 4  | STRING   | NameChan6      | "  |
| 138H | 4  | STRING   | NameChan7      | "  |
| 13CH | 4  | STRING   | NameChan8      | "  |
| 140H | 4  | STRING   | SensorChan1    | No usado                                 |
| 144H | 4  | STRING   | SensorChan2    |  |
| 148H | 4  | STRING   | SensorChan3    |  |
| 14CH | 4  | STRING   | SensorChan4    |  |
| 150H | 4  | STRING   | SensorChan5    |  |
| 154H | 4  | STRING   | SensorChan6    |  |
| 158H | 4  | STRING   | SensorChan7    |  |
| 15CH | 4  | STRING   | SensorChan8    |  |
| 160H | 16 | STRING   | StopTimeUser   |  |
| 170H | 4  | LONGCARD | CapChan1       | No usado                                 |
| 174H | 4  | LONGCARD | CapChan2       |  |
| 178H | 4  | LONGCARD | CapChan3       |  |
| 17CH | 4  | LONGCARD | CapChan4       |  |
| 180H | 4  | LONGCARD | CapChan5       |  |
| 184H | 4  | LONGCARD | CapChan6       |  |
| 188H | 4  | LONGCARD | CapChan7       |  |
| 18CH | 4  | LONGCARD | CapChan8       |  |
| 190H | 4  | LONGCARD | ResChan1       | Resistencia de contacto (kΩ)             |
| 194H | 4  | LONGCARD | ResChan2       | "  |
| 198H | 4  | LONGCARD | ResChan3       | "  |
| 19CH | 4  | LONGCARD | ResChan4       | "  |
| 1A0H | 4  | LONGCARD | ResChan5       | "  |
| 1A4H | 4  | LONGCARD | ResChan6       | "  |
| 1A8H | 4  | LONGCARD | ResChan7       | "  |
| 1ACH | 4  | LONGCARD | ResChan8       | "  |
| 1B0H | 16 |          | Reserved5      |  |
| 1C0H | 8  | STRING   | RotChan1       | Rotación del sensor desde el norte       |
| 1C8H | 8  | STRING   | RotChan2       | "  |
| 1    | 8  | STRING   | RotChan3       | "  |

|     |     |          |                 |                                       |
|-----|-----|----------|-----------------|---------------------------------------|
| 1   | 8   | STRING   | RotChan4        | "                                     |
| 1   | 8   | STRING   | RotChan5        | "                                     |
| 1   | 8   | STRING   | RotChan6        | "                                     |
| 1   | 8   | STRING   | RotChan7        | "                                     |
| 1   | 8   | STRING   | RotChan8        | "                                     |
| 200 | 256 | STRING   | UserText        | "                                     |
| 300 | 4   | LONGCARD | RecordsBd1      | Número de registros de la banda 1     |
| 304 | 4   | LONGCARD | AdrBd1          | Dirección del primer registro banda 1 |
| 308 | 2   | CARDINAL | FreqIndex       | Para CSAMT (01...36)                  |
| 30  | 6   | STRING   | Method          | (MT,CSAMT,CSMAP)                      |
| 310 | 16  | STRING   | StartTimeBd1    |                                       |
| 320 | 16  | STRING   | StartTimeBd1    |                                       |
| 330 | 16  | STRING   | StartTimeBd2    |                                       |
| 340 | 16  | STRING   | StartTimeBd3    |                                       |
| 350 | 16  | STRING   | StartTimeBd4    |                                       |
| 360 | 16  | STRING   | StartTimeBd5    |                                       |
| 370 | 2   | CARDINAL | EventsBd1       | Número de eventos                     |
| 372 | 2   | CARDINAL | EventsBd2       | "                                     |
| 374 | 2   | CARDINAL | EventsBd3       | "                                     |
| 376 | 2   | CARDINAL | EventsBd4       | "                                     |
| 378 | 2   | CARDINAL | EventsBd5       | "                                     |
| 37  |     |          | Reserved6       |                                       |
| 37  | 4   | REAL     | Frequency       |                                       |
| 380 | 4   | REAL     | Notch1Freq      | Frecuencia central del filtro Notch   |
| 384 | 4   | REAL     | Notch2Freq      | "                                     |
| 388 | 4   | REAL     | Notch3Freq      | "                                     |
| 38  | 4   | REAL     | Notch4Freq      | "                                     |
| 390 | 2   |          | Reserved7       | "                                     |
| 392 | 2   | STRING   | PostGainChan1   |                                       |
| 394 | 2   | STRING   | PostGainChan2   |                                       |
| 396 | 2   | STRING   | PostGainChan3   |                                       |
| 398 | 2   | STRING   | PostGainChan4   |                                       |
| 39  | 2   | STRING   | PostGainChan5   |                                       |
| 39  | 2   | STRING   | PostGainChan6   |                                       |
| 39  | 2   | STRING   | PostGainChan7   |                                       |
| 3   | 2   | STRING   | PostGainChan8   |                                       |
| 3   | 8   |          | Reserved8       |                                       |
| 3   | 2   | STRING   | DipoleLabel     | xy o yx                               |
| 3   | 2   | CARDINAL | DipoleDistance  | Distancia del dipolo transmisor       |
| 3   | 2   | INTEGER  | DipoleAngle     | Angulo del dipolo TX desde el norte   |
| 3   | 16  | STRING   | DipoleLongitude |                                       |
| 3   | 16  | STRING   | DipoleLatitude  |                                       |
| 3   | 48  |          | Reserved9       |                                       |
| 400 | 256 |          | Reserved        |                                       |