

INVESTIGACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE FORMACIONES ACUÍFERAS PROFUNDAS. APLICACIÓN A LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.07 (EL MAESTRAZGO). DESARROLLO METODOLÓGICO.

HIPROMA

INFORME DE LAS ACTIVIDADES GEOFÍSICAS EFECTUADAS

Autores informes IGME:

Juan L. Plata, Área de Geofísica del IGME. La Calera 1, 28760 Tres Cantos (Madrid), España. jl.plata@igme.es

Manuel Riveira, Geólogo. Ex-becario de formación del IGME (periodo 2005-2006)

Irene Jiménez, Lcda. C. Físicas. Ex-becaria de formación del IGME (2004)

Pedro Ibarra, Área de Geofísica del IGME.

Marcos Maneiro, Geólogo. Realización de Prácticas Profesionales de la UCM en el IGME (2005)

Asistencias Técnicas y Convenios:

Borelog: Antonio Díez Pascua y Francisco Romero Miranda

GESSAL: Juan Klimowitz, Enrique Hernández y G. Ruiz

Universidad de Barcelona. Dpto. Geodinámica y Geofísica: A. Marcuello, J. Ledo, C. Arango, P. Queralt, O. Rossell y A. Martí.

**Área de Geofísica del IGME
Tres Cantos
Noviembre 2007**

INDICE

NOTA: El presente Informe es una guía-resumen donde se recogen las actividades llevadas a cabo por el Grupo de Geofísica del IGME dentro del proyecto HIPROMA. Cada actividad ha dado lugar a un Informe específico, editado por separado, excepto para las actividades de los capítulos 2, 3, 5 y 6 cuyo informe completo se recoge aquí, bien en el correspondiente capítulo, bien como Anexo.

- 1 Recopilación y análisis de la información geofísica (a)**
- 2 Estado del Arte del uso de la Geofísica en investigación de acuíferos profundos**
- 3 Planificación de las actividades a desarrollar**
- 4 Interpretación de la Gravimetría (b)**
- 5 Análisis de los SEV para obtención de resistividades tipo en el área**
- 6 Estudio previo de las testificaciones de los sondeos profundos**
- 7 Testificación del sondeo San Juan (Cabanés) (c)**
- 8 Reinterpretación de diagrfías y secciones de sísmica de reflexión (d)**
- 9 Campañas de prospección magnetotelúrica (e)**

Anexo I: *Informe del Estado del arte sobre el uso de las técnicas geofísicas en investigación de acuíferos profundos.*

Anexo II: Informe de Sedelan sobre el sondeo San Juan (Cabanés)

Anexo III: Tabla de ficheros generados en la digitalización de testificaciones

Anexo IV: Contenido del Anexo Informático (CD adjunto)

Informes editados de forma independiente:

- (a) *Informe de la recopilación y análisis de la información geofísica previa en el Maestrazgo para el Proyecto HIPROMA. IGME*
- (b) *Informe de los trabajos de Gravimetría en el Maestrazgo para el Proyecto HIPROMA. IGME*
- (c) *Testificación geofísica del pozo San Juan, Cabanés (Castellón). Borelog*
- (d) *Interpretación de perfiles sísmicos y sondeos profundos de hidrocarburos. GESSAL*
- (e) *Campañas de AMT (AudioMagnetoTelúrico) en el Maestrazgo para el proyecto HIPROMA. U.B.*

1 Recopilación y análisis de la información geofísica

El objetivo de esta actividad es buscar y recopilar la información sobre trabajos geofísicos existentes y disponibles dentro de los límites del acuífero Jurásico del Maestrazgo, comprendido casi totalmente dentro de la hoja del MTN 1/200.000 n° 48 VINAROS, y que incluye las hojas 1/50000 n° 544, 545, 546, 569, 570, 571, 593, 594 y 616. Esta información será analizada para decidir su interés en el Proyecto HIPROMA.

La actividad ha sido llevada a cabo por Juan L. Plata, con la colaboración de Irene Jiménez (becaria del IGME durante 2004), habiendo dando lugar al Informe **RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN GEOFÍSICA PREVIA EN EL MAESTRAZGO**, donde se detalla el tipo de documentos disponibles o elaborados para este Proyecto, así como su interés.

La consulta de la información existente se ha realizado sobre la base de datos en Knosys del Área de Geofísica del IGME, que contiene todos los trabajos de Geofísica realizados por o para el IGME a través de dicha Área, completándose con la información existente en el Centro de Información Documental central del IGME y del Archivo Técnico de Hidrocarburos del MINECO.

Toda la información recogida y generada se ha posicionado sobre el mapa geológico a escala 1/200.000, en coordenadas UTM en huso 30, y se sintetiza en el mapa de posición de la Figura 1.

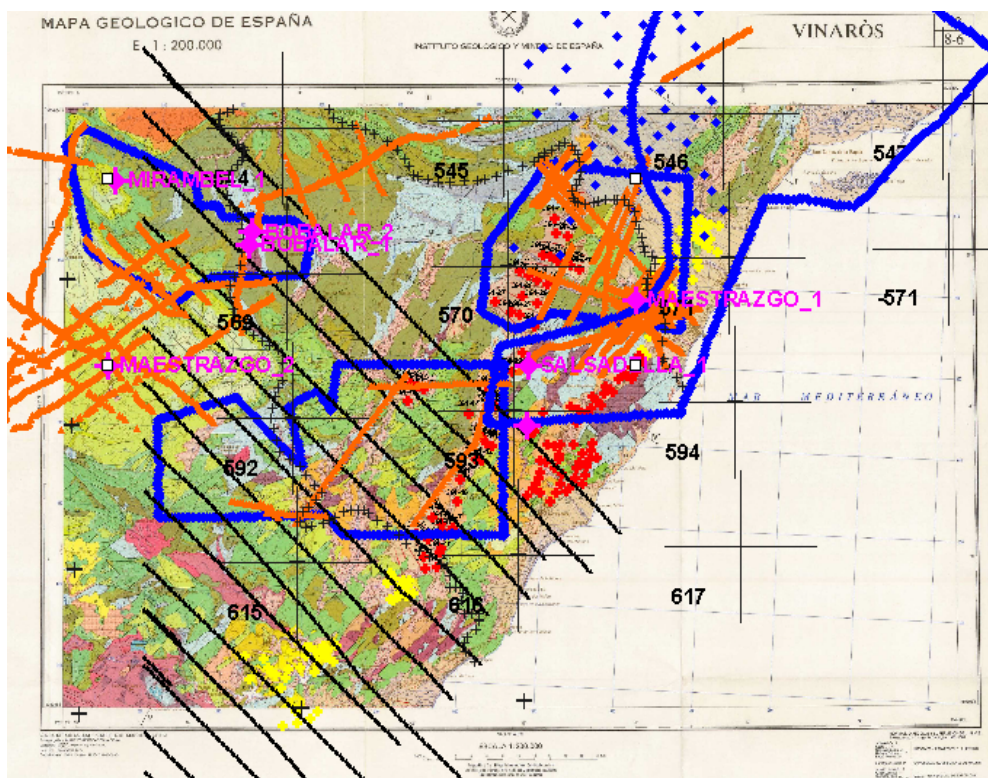


Fig. 1 Posición general de la información geofísica encontrada. SEV: puntos rojos (amarillos para campañas fuera del área del acuífero). Gravimetría: puntos y límites de coberturas en azul. Aeromagnético: líneas de vuelo en negro. Sísmica de reflexión: líneas en naranja. Testificación de sondeos: en morado.

La información geofísica de esta zona es bastante amplia, obedeciendo a los siguientes orígenes:

- Trabajos de prospección eléctrica (Sondeos Eléctricos Verticales, SEV), realizados en gran parte por el IGME entre 1984 y 1993 en el área oriental, sobre el Terciario y Cuaternario, con objetivos hidrogeológicos.
- Trabajos de prospección Gravimétrica, realizados entre 1963 y 1979 para prospección de hidrocarburos, que cubren parte del acuífero en el área oriental.
- La magnetometría aérea, efectuada en 1971 para prospección de hidrocarburos, cubre gran parte del sector meridional del área.
- Existen varias campañas de Sísmica de reflexión, efectuadas entre 1973 a 1979, también para hidrocarburos, siendo de interés las líneas que se sitúan dentro de los límites del área de estudio, en su parte nororiental.
- Se han localizado algunas testificaciones de sondeos profundos, efectuados junto a las líneas sísmicas, así como otros de menor profundidad realizados para prospección de lignito.

La mayor parte de la información proporcionada por los estudios originales efectuados para prospección de Hidrocarburos, ha sido utilizada posteriormente para dos grandes Proyectos de Geología del Subsuelo:

- El efectuado en el plan REA de ENDESA, desde 1987 a 1989, parte del cual fue posteriormente (1990) recogido en el trabajo de recopilación llevado a cabo por el IGME sobre Geología del Subsuelo.
- El llevado a cabo por el IGME para ENAGAS, “Consideraciones exploratorias sobre la investigación de formaciones y estructuras geológicas de interés para almacenamiento de gas en la hoja 48 Vinaroz (sector oriental del Maestrazgo)”, de 1995.

En estos trabajos se llega a elaborar documentos cartográficos sobre determinados pisos geológicos, pero debido a sus objetivos, estos resultados ofrecen un interés limitado para el Proyecto hidrogeológico que nos ocupa, ya que se centran fundamentalmente en formaciones del Triásico Medio y Superior (Keuper o Muschelkalk). Sobre los resultados elaborados de los trabajos originales de hidrocarburos no hay prácticamente ninguno disponible, por lo que sólo son utilizables los documentos brutos (líneas sísmicas, digrafías, mapas de gravimetría y magnetometría).

La información recogida en el Informe **RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN GEOFÍSICA PREVIA EN EL MAESTRAZGO**, se presenta ordenada por métodos geofísicos, haciendo referencia a los Informes originales mediante el número asignado en el Archivo del Área de Geofísica. De cada Informe seleccionado y consultado se ha efectuado una descripción del objetivo del trabajo, metodología aplicada y datos disponibles

En esta primera fase, los documentos (planos de posición, resultados de la prospección, interpretaciones, etc.) que se han seleccionado como de posible interés para el Proyecto HIPROMA, han sido reproducidos mediante scanner.

Así mismo, cuando se dispone de información en forma digital (datos de campo), se han recuperado los correspondientes ficheros a través de la aplicación SIGEOF (Sistema de

Información Geofísica del IGME). En cada documento se indican todos los ficheros digitales preparados, bien de imágenes escaneadas, bien de datos numéricos. Otros datos han sido objeto de especial obtención para este Proyecto, según se describe en el Informe de esta actividad.

Se han preparado igualmente ficheros de posición de esta información, en ocasiones mediante cálculo sobre mapa de las coordenadas correspondientes a los límites que abarca cada trabajo, procediendo a su conversión a coordenadas UTM en los husos 30 y 31.

Sobre la **información geoelectrica** se dispone de toda la documentación, tanto de datos de campo como de la interpretación efectuada, reproduciéndose en el Informe las secciones geoelectricas, con la descripción de las interpretaciones en términos geológicos.

La **información gravimétrica**, mapas de anomalía de Bouguer, ha sido recuperada de la recopilación de datos gravimétricos efectuada por el IGME en 1987, así como de la participación del Área de Geofísica en un proyecto para ENAGAS de almacenamiento subterráneo de gas. Todos estos mapas proceden del archivo de REPSOL, y se encuentran exclusivamente en formato de papel, reproducidos en el Informe, sin que exista ninguna interpretación de los mismos.

La **información aeromagnética** está disponible en forma de mapas (formato papel), parcialmente interpretados, y un listado de 11594 estaciones (en líneas de vuelo), que han sido pasadas a formato digital, construyendo un nuevo mapa que cubre gran parte del acuífero.

La **información sísmica y de sondeos profundos de hidrocarburos** se ha recogido en mapas de posición, secciones escaneadas (parcialmente interpretadas), junto a interesantes documentos de correlación de sondeos y mapas de una formación próxima al techo del Keuper, base del acuífero. De la testificación de sondeos profundos se han recuperado parte de los logs originales en formato de papel, que han sido escaneados.

Los informes consultados ofrecen además una interesante **descripción de la geología del subsuelo** de la zona, con numerosas correlaciones, que ha sido sintetizada en el Informe.

En total, se han consultado 16 informes de Geofísica, dando lugar a la creación de más de 100 ficheros informáticos, de los cuales la mitad corresponden a imágenes escaneadas para su utilización en el proyecto HIPROMA.

En el Anexo del presente Informe (CD) se recoge el texto del **Informe de la recopilación y análisis de la información geofísica previa en el Maestrazgo para el Proyecto HIPROMA. IGME**, en formato pdf, y el fichero **resumen ficheros.xls**, guía de toda la información recuperada.

2 Estado del Arte del uso de la Geofísica en investigación de acuíferos profundos

Con este trabajo se trata de reflejar el resultado de una búsqueda bibliográfica acerca de casos históricos reales de aplicación de métodos geofísicos en investigaciones hidrogeológicas, en el estudio de acuíferos profundos. Ha sido efectuado por Irene Jiménez (Becaria del IGME durante 2004), con la participación de Juan L. Plata, y el Informe completo **ESTADO DEL ARTE DEL USO DE LAS TÉCNICAS GEOFÍSICAS EN INVESTIGACIÓN DE ACUÍFEROS PROFUNDOS** se incluye como Anexo al presente Informe General. En dicho informe especial se hace una clasificación por métodos, señalando las aplicaciones para las que han sido empleado cada uno de ellos, así como una descripción más detallada de cada uno de los artículos estudiados, ilustrado con figuras representativas en cada caso.

La búsqueda de la información se ha llevado a cabo fundamentalmente en las revistas especializadas disponibles en la biblioteca del Área Geofísica y Teledetección del IGME, seleccionando los trabajos correspondientes a los últimos 20 años. Dichas revistas son: Geoexploration, Geophysics, First Break, Journal of Applied Geophysics y Geophysical Prospecting. También se han consultado libros de la Biblioteca del IGME y los Extended Abstracts de los Congresos de la European Association of Exploration Geophysicists (EAEG) y de la Environmental and Engineering Geophysical Society (EEGS). Por último se completó la búsqueda en Internet con la ayuda del buscador científico SCIRIUS.

A la vista de los resultados se puede concluir (Figura 2) que los métodos geoelectrónicos convencionales (SEV y Electromagnético) son los más utilizados (30% de los casos), tanto los de corriente continua como los de alterna. Los métodos magnetotéluricos se han utilizado en un 19% de las investigaciones consultadas y la Polarización Inducida en un 3%. Los métodos sísmicos se han utilizado en un 19% de los casos, fundamentalmente la sísmica de reflexión. En cuanto a los métodos de campos potenciales se observa que han sido usados en un 26% de las publicaciones, siendo más empleada la gravimetría (16%) que la magnetometría (10%). El restante 3 % corresponde a otros métodos tales como Potencial Espontáneo. Cabe señalar que en la mayoría de los casos el estudio se realiza combinando varios métodos.



Fig. 2 Estadística general de la utilización de métodos geofísicos en prospección de acuíferos profundos.

3 Planificación de las actividades a desarrollar

Una vez finalizado el trabajo de recopilación y primer análisis de la información geofísica disponible, durante el cual ya se ha llevado a cabo cierta labor de preparación de la información en la forma más adecuada para su posterior utilización, se ha realizado el siguiente plan de trabajo [marzo, 2005], encaminado a convertir esta información básica en información de interés y utilidad para los objetivos del Proyecto HIPROMA:

Respecto de la información suministrada por los SEV

Todos los SEV (Sondeos Eléctricos Verticales) están realizados en zonas de recubrimiento cuaternario. Puede ser de utilidad recuperar de su interpretación la potencia de materiales detríticos hasta las calizas cretácicas o jurásicas, dando la morfología detallada del basamento calizo en las zonas cubiertas por estas campañas geofísicas. Por otra parte, se contempla obtener una tabla de rangos de variación de las resistividades de los materiales investigados en estas prospecciones, como orientación a la planificación de campañas de prospección geoelectrica de mayor poder penetrativo, como son los Sondeos Electromagnéticos en el Dominio del Tiempo (SEDT) y método Magneto Telúrico (MT)

Para ello hay que obtener conclusiones generalizadas de los Informes recopilados, realizando un corte geoelectrico tipo o columna electro-estratigráfica y electro-litológica, con codificación de resistividades uniforme, apoyándose en la mayor información de sondeos mecánicos disponibles actualmente, parte de los cuales son posteriores a estas campañas geofísicas.

Respecto de la información suministrada por la Gravimetría

La información gravimétrica cubre una buena porción de la parte oriental del acuífero Jurásico. Las anomalías de Bouguer contienen información sobre las estructuras del subsuelo. Es bastante probable que exista un contraste de densidad entre los materiales triásicos y calizos; menos seguro es que pueda diferenciarse la densidad de las rocas pertenecientes al Jurásico de las del Cretácico. Por lo tanto puede intentarse utilizar la gravimetría para confeccionar modelos que permitan una cartografía, en rasgos regionales, el muro o base del Jurásico, así como de los grandes accidentes del zócalo. Estos modelos pueden partir de la interpretación dada a las secciones sísmicas con las que se ha obtenido el mapa de isobatas del horizonte próximo al techo del Keuper en el informe 507.

Puesto que toda la información gravimétrica disponible sobre el área del acuífero Jurásico del Maestrazgo está solamente en forma de mapas en papel, es preciso proceder a su digitalización, para convertirla en información utilizable en aplicaciones informáticas. Los mapas proceden de diversas campañas, siendo necesaria su homogeneización.

Previamente, a la modelación hay que llevar a cabo una campaña de recogida de muestras en campo para análisis de densidad en laboratorio.

Respecto de la información suministrada por la Magnetometría

La magnetometría cubre toda la hoja 1/200.000 n° 48. Los mapas interpretados por CGG en el documento 523 se refieren sólo al sector sur occidental, e incorporan la profundidad del basamento, que no puede ser otro que el Paleozoico, salvo algunas anomalías intrasedimentarias que pueden provenir de las ofitas del Triás. La detección de fallas en el basamento Paleozoico tiene además interés por su posible traslación a la tectónica que afecta al Jurásico. Este documento puede servir de base para la preparación de modelos a interpretar con gravimetría, planteando una posible inversión conjunta de datos gravimétricos y magnéticos.

Para ello habría que proceder a digitalizar el mapa de isobatas del documento 523, de muy mala calidad, por lo que en principio parece poco aconsejable. Por otra parte, sólo se dispone de los valores medidos en un listado del campo magnético según algunas líneas de vuelo (que cubren el sector occidental del acuífero), por lo que es preciso convertir este listado en un fichero digital mediante su introducción en teclado (12000 estaciones). La recuperación mediante digitalización del resto del mapa de anomalías podría ser de menor interés, al corresponder a una zona volada a altura distinta y presentar graves problemas su unión con la zona occidental.

Las mismas muestras que se tomen para gravimetría podrían analizarse de susceptibilidad magnética, recogiendo además en campo muestras de los afloramientos del Paleozoico.

Respecto de la información suministrada por la Sísmica

La cobertura sísmica existente es escasa dentro del área de interés, y la interpretación existente fue realizada con objetivos dentro de las formaciones del Triásico. La información proveniente de las líneas sísmicas que resulta de utilidad para el proyecto HIPROMA es el mapa de isobatas del horizonte próximo al techo del Keuper, del que sólo se dispone en formato de papel. Es posible que de las líneas sísmicas pudiera extraerse además la información referente al techo del Jurásico, pudiendo así calcular su potencia como formación acuífera. La identificación de otros pisos dependerá de la calidad de las secciones sísmicas. De todas formas, esto sólo cubriría una pequeña porción de área de estudio; para extender esta información al resto, habría que utilizar la gravimetría, con apoyo de nuevos estudios por métodos eléctricos (SEDT, MT) en las áreas no cubiertas por datos gravimétricos.

Se necesita obtener en formato digital las isolíneas del horizonte próximo al techo del Keuper, del mapa Plano 3 del informe de GESSAL para ENAGAS. También se contempla el solicitar al servicio de Hidrocarburos líneas sísmicas complementarias para ver si su calidad permitiría trazar el techo del Jurásico, en cuyo caso sería posible proceder a su reinterpretación. La verificación de las líneas sísmicas pedidas puede valer además para decidir sobre la conveniencia de plantearse la ejecución de nueva sísmica.

Respecto de la información suministrada por la Testificación

Los sondeos de Gavia (Informe 471) quizá puedan ser de utilidad para obtener algún valor de interés para la densidad, ya que disponen de información gamma-gamma, pero de muy poca profundidad.

De las testificaciones de los sondeos de hidrocarburos, quizá pueda obtenerse alguna información sobre permeabilidad del Jurásico, de forma indirecta a través del registro de neutrón.

Puede contemplarse la conveniencia de efectuar nuevas testificaciones en sondeos seleccionados adecuadamente, especificando antes sus objetivos, al ser la testificación un dato puntual de posible escaso valor en un proyecto de cobertura regional.

EN SÍNTESIS: con la información geofísica disponible puede intentarse:

Los SEV se sitúan sobre los afloramientos cuaternarios de la franja costera, y aportan la potencia de materiales detríticos hasta las calizas cretácicas o jurásicas, dando la morfología detallada del basamento calizo. Con esta información se puede:

- obtener resistividades de apoyo a la ejecución de SEDT y MT
- cartografiar el techo del Jurásico en los modelos para interpretación gravimétrica

La GRAVIMETRÍA cubre casi toda la parte sur oriental, y puede permitir obtener modelos del subsuelo. Puede utilizarse como apoyo la interpretación dada a las secciones sísmicas próximas a los sondeos Maestrazgo y Salsadella, así como con los datos de aeromagnético (base del paleozoico) y SEV. Se puede por lo tanto intentar:

- cartografiar el techo de las formaciones Cretácico-Jurásico
- cartografiar el muro del Jurásico y los grandes accidentes del zócalo.

La MAGNETOMETRÍA, según los mapas interpretados por CGG en el documento 523 incorpora la profundidad del basamento, que no puede ser otro que el Paleozoico. Puede utilizarse por lo tanto para:

- cartografiar la profundidad del basamento Paleozoico, detectando sus grandes fallas o estructuras, lo que puede servir de ayuda en la preparación de modelos e interpretación de las estructuras del Jurásico con gravimetría.

La SISMICA, es posible que de las líneas existentes pudiera extraerse información referente al techo del Jurásico, permitiendo así calcular su potencia como formación acuífera. La identificación de otros pisos dependerá de la calidad de las secciones sísmicas. El documento disponible más fiable de utilidad para el proyecto HIPROMA es el mapa de isobatas del horizonte próximo al techo del Keuper. De todas formas, estos documentos sólo cubren una pequeña porción de área de estudio; para extender esta información al resto, habría que utilizar la gravimetría, con apoyo de nuevos estudios por métodos eléctricos (SEDT, MT).

- Solicitar las líneas sísmicas existentes para analizar su calidad
- Preparar los modelos para trazar el mapa de isopacas e isobatas del Jurásico

La TESTIFICACION de los sondeos de Gavia (471) quizá pueda proporcionar algún valor de interés para la densidad. De las testificaciones de los sondeos de hidrocarburos, puede obtenerse alguna información sobre permeabilidad del Jurásico, de forma indirecta a través del registro de neutrón.

El trabajo complementario de nuevas campañas de campo a efectuar, se situaría preferentemente sobre las áreas desprovistas de información. Tendría el mismo objetivo de cartografía del Jurásico (o unidades carbonatadas en general), al que puede añadirse el obtener una información indirecta de las características hidráulicas, siempre que éstas se vean reflejadas en las variaciones de resistividad. Según la profundidad que sea necesario alcanzar en cada área, se utilizará el método de SEDT (Sondeos Electromagnéticos en el dominio del tiempo) o el MT (Magnetotelúrico). Los perfiles eléctricos pueden apoyarse además en los afloramientos Jurásicos existentes. Las secciones geoelectricas también pueden ser utilizadas para apoyo de la modelización de gravimetría y su interpretación.

Según se vaya avanzando en la realización del análisis final de la información se podrá especificar la forma más conveniente de llevar a cabo el Plan mencionado. En una primera instancia, es posible que se efectúen con los medios propios del Área de Geofísica del IGME las tareas correspondientes a los métodos de SEV, Gavimetría y Magnetometría. Será con toda probabilidad necesario preparar Asistencias Técnicas para los complementos de tratamiento de la información Sísmica y testificación de sondeos profundos. La ejecución de campañas geoelectricas por SEDT y MT tiene que llevarse a cabo mediante contratación, al no disponer el IGME de los medios necesarios para su realización.

4 Interpretación de la Gravimetría

De acuerdo con el plan previsto, se ha llevado a cabo por el Área de Geofísica y Teledetección del IGME la interpretación de los datos gravimétricos disponibles, en los términos más adecuados para los objetivos del proyecto HIPROMA.

Esta actividad ha sido efectuada por Juan L. Plata y Manuel Riveira Medina (Becario del IGME durante 2005 y 2006), habiendo dado lugar al informe especial ***INFORME DE LOS TRABAJOS DE GRAVIMETRÍA EN EL MAESTRAZGO PARA EL PROYECTO HIPROMA.***

Normalmente, para la interpretación de datos de gravimetría se dispone de los valores de la anomalía de Bouguer en las estaciones medidas con el gravímetro sobre el terreno, así como de las coordenadas X,Y,Z de cada estación y los valores de la corrección topográfica efectuada, lo que hace posible el cálculo de la anomalía en la densidad de reducción más adecuada a cada caso, así como la modelación de las anomalías.

Sin embargo, en esta investigación sobre el acuífero del Maestrazgo se parte de mapas de isolíneas de anomalía de Bouguer (AB), sin conocer la posición de las estaciones de medición. La AB está calculada con una densidad de reducción de 2.4 g/cm^3 , que era la habitualmente utilizada en las prospecciones regionales de los años sesenta del pasado siglo. Esto impone ciertas limitaciones a las posibilidades interpretativas de tipo cuantitativo, siendo además necesario diseñar una metodología específica, que se resume en las siguientes etapas:

1- Para disponer de valores numéricos de la AB hay que digitalizar los planos, lo que supone admitir como válido el trazado de isolíneas. Se obtendrán así una serie de valores X,Y (Lambert),AB que se aproximarán lo más posible a los mapas de partida.

2- Las coordenadas originales están en el sistema Lambert, siendo necesaria su traslación a coordenadas en el sistema UTM.

3- Se parte de diversos mapas, sin que se conozca si están todos ellos referidos al mismo sistema de referencia gravimétrica. Por lo tanto, es necesario proceder a la comprobación de su coherencia, formando un mapa único que permita la utilización de los valores indistintamente del mapa de procedencia.

4- Para realizar una primera interpretación cualitativa del mapa total de AB, se necesita conocer los contrastes de densidad de las rocas involucradas. Para ello se tomarán muestras de rocas en campo y se efectuará la determinación de su densidad en laboratorio.

5- Se llevará a cabo un análisis general del mapa de anomalías, determinando el efecto regional y la manera de llevar a cabo su eliminación, a fin de obtener los valores residuales.

6- En función de los problemas hidrogeológicos planteados y de la cobertura disponible de valores de gravimetría, se seleccionarán los perfiles más adecuados para proceder a una interpretación cuantitativa que permita obtener un modelo de las estructuras geológicas del subsuelo.

7- Para cada uno de los puntos que formen los perfiles seleccionados hay que obtener los valores de las coordenadas, cota y anomalía (X,Y,Z,AB). Los valores de X,Y y de anomalía

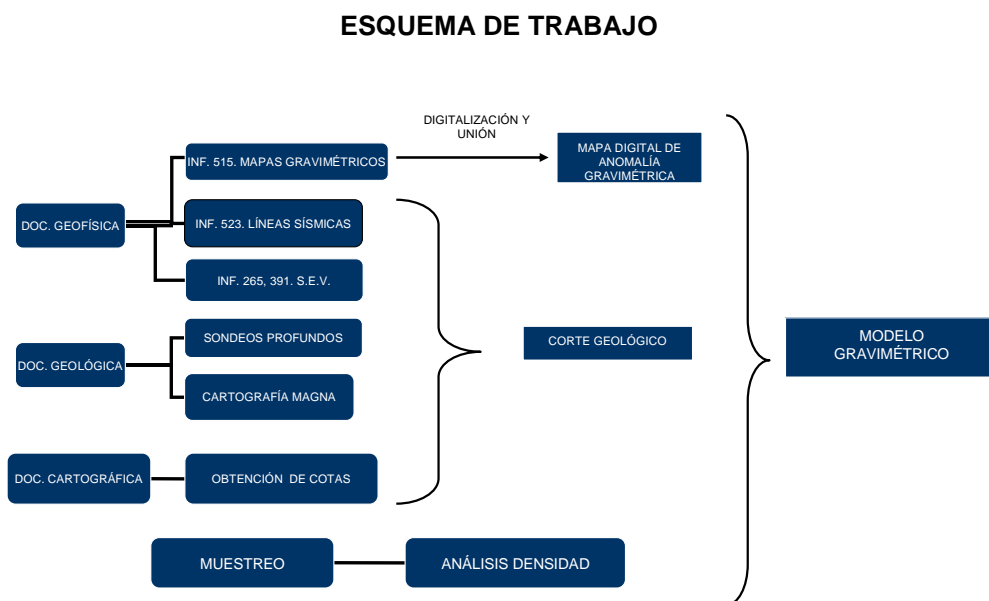
de Bouguer se obtendrán por interpolación de los digitalizados, pasando así a disponer de una serie de puntos equidistanciados con los valores X,Y,AB siguiendo los perfiles seleccionados. Para cada uno de estos nuevos puntos X,Y será preciso proceder a la determinación por digitalización sobre mapas topográficos del valor de la cota Z.

8- Para las alineaciones seleccionadas se levantará un perfil geológico inicial, apoyado en los datos geofísicos y geológicos disponibles, que sirva como primera hipótesis de la interpretación gravimétrica. Admitiendo un carácter bidimensional de las estructuras geológicas (al menos de 2D), será necesario convertir los cortes geológicos en una serie de polígonos determinados por las coordenadas X,Y,Z de cada uno de sus vértices, atribuyendo a cada polígono un valor de densidad.

9- La AB será separada en sus componentes regional y residual para cada uno de lo perfiles.

10- Se procederá a la modelación gravimétrica, a fin de obtener el modelo geológico del subsuelo más compatible con los valores de gravedad residuales.

El siguiente esquema sintetiza este proceso:



PROCESO DE MODELIZACIÓN GRAVIMÉTRICA



En el **INFORME DE LOS TRABAJOS DE GRAVIMETRÍA EN EL MAESTRAZGO PARA EL PROYECTO HIPROMA** se detallan cada una de estas etapas, que han dado lugar a la creación de modelos del subsuelo a lo largo de cinco perfiles seleccionados por su especial interés hidrogeológico, y cuya situación está representada en la Figura 3.

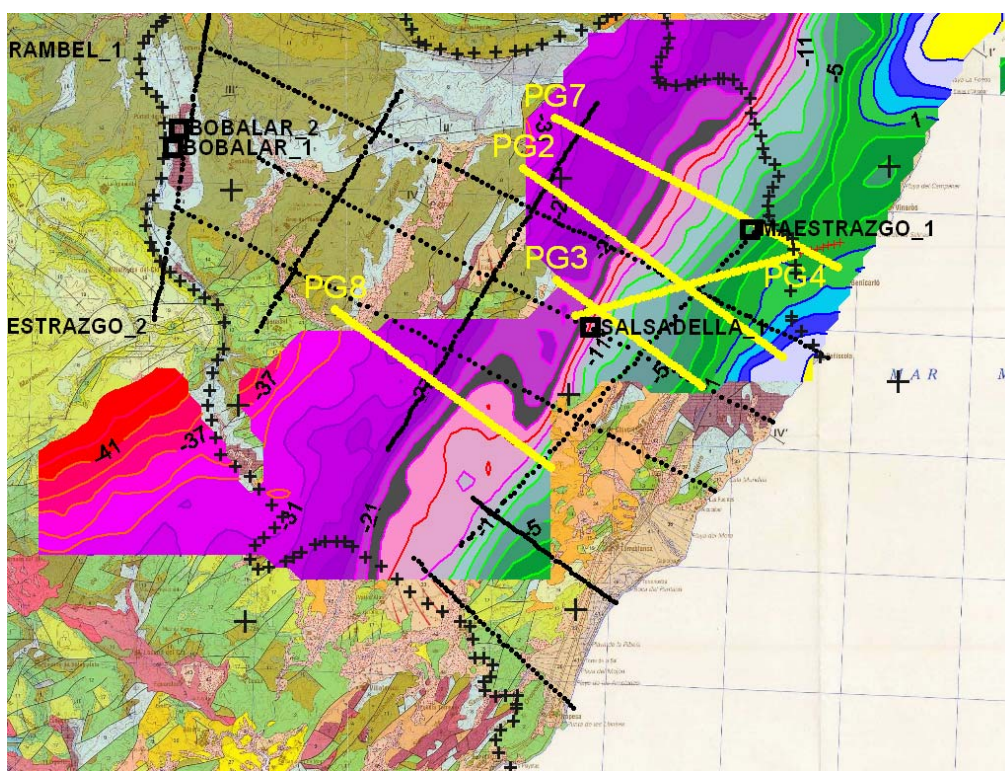


Fig. 3 Situación de los perfiles interpretados de gravimetría (en amarillo), sobre el mapa total construido de anomalías de Bouguer y la cartografía geológica a escala 1/200000

Como Anexo al mencionado Informe de Gravimetría, se encuentran los análisis de Laboratorio efectuados para determinación de la densidad y de la susceptibilidad magnética de las muestras de roca recogidas, así como todos los ficheros informáticos generados en el proceso.

La preparación de los cortes geológicos iniciales se ha efectuado con apoyo de las líneas sísmicas disponibles, sondeos mecánicos profundos y campañas geoeléctricas por SEV, habiendo supuesto su elaboración una aportación de singular importancia para el Proyecto. El resultado de la modelación o proceso de modificación de los cortes geológicos iniciales hasta conseguir un modelo cuya anomalía de gravedad se vea suficientemente reflejada en las deducidas de los mapas que han sido recuperados, se sintetiza en los cortes presentados en el Informe de Gravimetría.

5 Análisis de los SEV para obtención de resistividades tipo en el área

Según el plan de trabajo diseñado, se ha llevado a cabo un ensayo de correlación geoelectrica, teniendo en cuenta los nuevos sondeos mecánicos, que no existían cuando se realizaron las campañas de Sondeos Eléctricos Verticales recuperados en la fase de adquisición de la información geofísica. Este trabajo ha sido elaborado por Pedro Ibarra, del Área de Geofísica y Teledetección del IGME, en septiembre de 2005.

5.1 Introducción y objetivos

El propósito de este estudio es revisar los datos e interpretaciones previas de trabajos geofísicos por SEV anteriores, a la luz de nuevos datos que pueden aportar los últimos sondeos mecánicos realizados en los últimos años dentro de los límites del acuífero profundo del Maestrazgo. Dicha revisión debe permitir establecer un conjunto de columnas geoelectricas y órdenes de resistividades tipo correlacionándolas con litologías y, en la medida de lo posible, con las formaciones litoestratigráficas existentes. Otra finalidad de esta revisión es validar la interpretación efectuada respecto de la disposición, profundidad y geometría de los niveles cretácicos y/o jurásicos bajo los recubrimientos detríticos de las fosas.

Para esta revisión, se han utilizado las columnas litoestratigráficas, y cuando es posible, las columnas cronoestratigráficas de los nuevos sondeos mecánicos realizados, así como de los sondeos mecánicos anteriores. Asimismo, se han empleado los datos originales de las mediciones en campo y de las interpretaciones de los SEV realizados, efectuando algunas reinterpretaciones a la luz de los nuevos datos existentes.

En la Figura 4 se muestra la situación de las campañas de SEV recopiladas, que no cubre todo el acuífero. Esta área se ha dividido de acuerdo a las 2 principales campañas de SEVs realizadas, las cuales corresponden aproximadamente a otras tantas fosas o depresiones con rellenos cuaternarios. Las fosas son:

1. Fosa o depresión de San Mateo-Cuevas de Vinromá-Cabanes (inicialmente referenciada como sector o zona 391 en el Informe de Recopilación). En este grupo se incluye la fosa de Albocácer (de menor superficie y ubicada más al oeste, e independiente de la anterior).
2. Fosa o depresión de Cáliz-Santa Magdalena de Pulpís-Alcalá de Chivert-Torreblanca (inicialmente referenciada como sector o zona 265 en el Informe de Recopilación, en la cual se realizaron 2 bloques de SEVs, denominados respectivamente 265_7, al norte y prácticamente fuera de los límites del acuífero profundo, cubriendo la zona de la fosa en Cáliz, y 265_8, zona situada más al sur entre, en las sierras de Valdeneha e Irta, cubriendo la fosa en la zona de San Magdalena-Alcalá de Chivert-Torreblanca y claramente dentro de los límites del acuífero).

Ambas campañas fueron situadas en zonas de fosas con rellenos detríticos y no cubren más que parcialmente el área del acuífero profundo del Maestrazgo, de forma que los datos aquí obtenidos pueden ser de alguna forma extrapolables a otras zonas no cubiertas. Igualmente se

pretende que las conclusiones que de aquí puedan extraerse, resulten de aplicación a futuras prospecciones geológicas y/o geofísicas por métodos eléctricos.

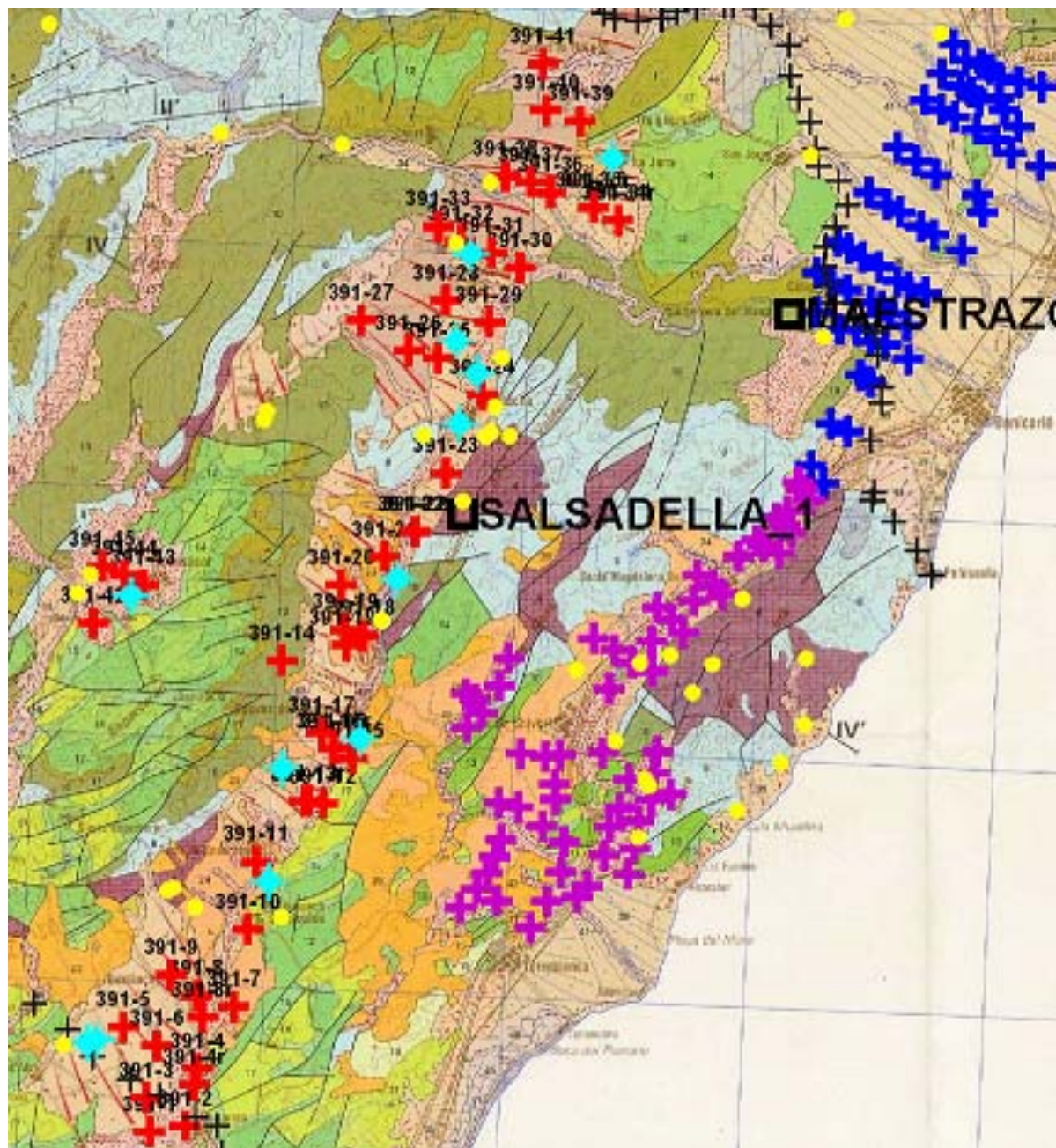


Figura 4: Emplazamiento de SEVs y sondeos mecánicos efectuados dentro de los límites del acuífero profundo del Maestrazgo sobre base geológica 1/200000, según el siguiente código: en rojo los SEVs de la fosa de San Mateo-Cuevas de Vinromá –Cabanes y “subfosa” de Albocácer (391). En color morado, los SEVs de la fosa de Santa Magdalena-Alcalá de Chivert-Torreblanca (265). En color azul marino, los SEVs de la fosa anterior en Cáliz, mayoritariamente realizados fuera de los límites del acuífero profundo del Maestrazgo (el cual se delimita con cruces negras). Los sondeos petrolíferos se indican con cuadrado negro. Los sondeos mecánicos de la fosa San Mateo-Cuevas-Cabanes, realizados anteriormente se indican en azul claro, y los sondeos mecánicos para extracción de agua, perforados más recientemente en toda la región, se emplazan en color amarillo.

5.2 Zona de San Mateo-Cuevas de Vinromá-Cabanes (bloque 391)

Corresponde a los 45 SEVs realizados entre 1989 y 1992 en dos fosas o depresiones con rellenos cuaternarios y pliocuaternarios, que descansan sobre bloques cretácicos y jurásicos: la de San Mateo de Pulpis-Cuevas de Vinromá-Villanueva de Alcolea-Cabanes y la fosa de Albocácer (4 SEVs), en las cuales se han perforado más recientemente numerosos sondeos, principalmente para extracción de agua a poblaciones. Algunos de ellos han sido realizados en posiciones relativamente próximas a los SEVs de ese bloque, lo que puede permitir una cierta correlación, al menos en lo referente a órdenes de magnitud de resistividades frente a grupos de litologías.

A la vista de las columnas litológicas extraídas de los nuevos sondeos mecánicos (de precisión y calidad muy dispares) se ha efectuado la reinterpretación de algunos SEVs próximos a los diferentes sondeos (en la medida de lo posible), como son: 391-10, 391-22, 391-23, 391-24, 391-42, 391-45 (los 2 últimos corresponden a la fosa de Albocácer). La reinterpretación, se ha realizado utilizando horizontes de cambio litológico significativo situados a profundidades conocidas (fijación de parámetros), que permiten asignar órdenes de resistividad más ajustados. También ha de tenerse en cuenta que la penetración de los SEVs es relativamente limitada respecto a los sondeos mecánicos, pues se trata de sondeos de ala AB/2 inferior a 1000 metros. Además, la parametrización a realizar es dudosa dadas las elevadas distancias existentes entre los SEVs y los sondeos mecánicos cuya columna está disponible. Es por ello, que en este bloque se ha revisado un número escaso de sondeos, aquellos cuyas distancias a la información geoelectrica son inferiores a 2 km, distancia que consideramos demasiado elevada para realizar algún tipo de correlación con total fiabilidad, por lo estos datos deben ser considerados con reservas.

Los resultados obtenidos en la reinterpretación de estos SEV no difieren significativamente de interpretaciones anteriores (recogidos en las Figuras 8 a 11 del *Informe de Recopilación y análisis de la información geofísica previa en el Maestrazgo*), las cuales utilizaban como referencia el grupo de sondeos mecánicos 391 (12 sondeos referenciados como “sm_391”). Además ambos tratamientos de los datos han sido similares. No obstante, resulta de interés realizar una parametrización, aunque aproximada, a fin de obtener una serie de rangos de resistividad aparente para los distintos grupos de materiales presentes en el área del bloque 391, que pueden ser estimados a partir de los distintos SEVs. Estos rangos de valores pueden ser extrapolados a otras mediciones o en otras zonas limítrofes dentro del acuífero y además pueden permitir realizar un mapa de líneas de ciertos horizontes. Para la parametrización se utilizan valores conocidos de profundidades de horizontes que se estima pueden tener un contraste de resistividad, a partir de sondeos mecánicos de columna conocida, de forma que se pueden fijar algunas variables de los juegos espesor-resistividad.

5. 2.1 Correlaciones en el Bloque 391

Los sondeos mecánicos (SM) y SEV muestreados (reinterpretados) son los siguientes:

- **SM 3023-8-0006 con SEV 391-10:** sondeo perforado sobre niveles cuaternarios y terciarios hasta llegar a niveles cretácicos próximos. Presenta un cambio desde terrenos terrígenos a calizas y margas cretácicas sobre los 40-50 m de profundidad, y posteriormente da paso a calizas micríticas y bioclásticas, quizá de tipo más masivo (a

unos 105 m). Puede correlacionar aceptablemente con el SEV que presenta un cambio a mayor resistividad sobre los 90-100 m de profundidad. Hasta ese punto coexisten valores bajos de resistividad (de mayor contenido arcilloso) con otros rangos de tipo medio, quizá atribuibles a niveles de margas.

- **SM 3122-5-0008 con SEVs 391-22 y 391-23:** sondeo de prospección petrolífera SALSADILLA, emplazado sobre terrenos jurásicos (kimmeridgiense superior). Presenta niveles de calizas y margas en el tramo superior hasta el tránsito Dogger-Malm (150-160 m) en el que se pasa a niveles más competentes de calizas y dolomías. Este nivel se podría constituir como nivel de referencia, entre los rangos de resistividad elevada (calizas y dolomías competentes del Dogger) y media (margas-margocalizas).
- **SM 3122-5-0010 con SEV 391-24:** sondeo perforado sobre terrenos cuaternarios, muy próximos al Jurásico de la sierra de Valdeneha, que es cortado a 50 m de profundidad en el sondeo, lo que parece implicar la existencia de una falla que controla lateralmente la fosa de San Mateo-Salsadella-Cuevas de Vinromá. Similarmente al sondeo Salsadella, se trata de materiales calizos con pasadas de arcillas, hasta interceptar un nivel claramente calizo a 120 m. La concordancia con el SEV es aceptable, aunque ha de tenerse en cuenta la considerable distancia del SEV respecto del sondeo, quedando aquél claramente dentro de terrenos de recubrimiento terciario-cuaternario. Fijando el nivel paramétrico de tránsito a calizas más competentes se obtiene una resistividad baja hasta unos 50 m, lo que correspondería aproximadamente al recubrimiento, pasando posteriormente a niveles más competentes de caliza con intercalaciones de arcilla que corresponderían al jurásico superior (Malm), con resistividades medias hasta el citado nivel calizo más competente.
- **SM 3022-6-0003 con SEV 391-42:** sondeo ubicado en el borde oeste de la fosa de Albocácer, probablemente en terrenos cartografiados como jurásicos superiores y próximos a otros cretácicos. En todo caso, la continuidad geoelectrica de ambos los haría indiferenciables en el SEV correspondiente, situado más al este, ya dentro de la fosa (a cerca de 1,4 km). Esto hace que la parametrización no sea muy adecuada pues la columna no tendrá en cuenta el recubrimiento terciario-cuaternario y el SEV tendría un aspecto distinto al esperable de la columna, lo que así viene a ocurrir. En cualquier caso, el SEV presenta un nivel de resistividades bajas de gran continuidad en profundidad (hasta 200 m), que pudieran corresponderse con el nivel de recubrimiento. Por debajo, aparecen resistividades medias, que podrían atribuirse a niveles de margas y calizas, supuestamente cretácicas y/o jurásicas superiores. Esto podría reforzar la existencia de una falla que encaja y controla la fosa de Albocácer por el oeste, lo que concordaría con la cartografía geológica.
- **SM 3022-6-0014 con SEV 391-45:** sondeo ubicado en terrenos probablemente jurásicos, aunque próximo a la falla del borde oeste de la fosa de Albocácer. Según la estratigrafía, los niveles son predominantemente calizos, aunque el SEV se sitúa a unos 600 m, en la fosa. De nuevo, la parametrización no parece adecuada pues el aspecto y los resultados son distintos. Aparentemente, del SEV resulta un nivel resistivo poco profundo para pasar a un potente nivel bastante conductivo en

profundidad, hasta 300 m, a los que aparece un basamento más resistivo, que pudiera tratarse del Dogger. Así, los niveles superiores, no quedan claros. Supuestamente cabría pensar en un recubrimiento de poco espesor para continuar en niveles de margocalizas cretácicas, aunque no se aprecia el tránsito entre recubrimiento y margas, pues los valores de éstas están en sus niveles menores.

5.2.2 Rangos de resistividad en el Bloque 391

Los rangos de resistividades aparentes obtenidos en este bloque son los siguientes:

1a. Calizas y dolomías compactas: 750-2800 ohm m. Estas litologías se corresponden con niveles jurásicos, principalmente Lías y Dogger. No obstante, en concordancia con diversas columnas litoestratigráficas el techo de estos niveles jurásicos compactos podría corresponder aproximadamente al tránsito Dogger-Malm. Incluso, si se dispusiera de un número suficiente de datos, este nivel podría ser seguido en la cuenca, e incluso, permitiría realizar un mapa de isolíneas de este horizonte.

1b. Calizas micríticas, bioclásticas y esparíticas: 300-1500 ohm.m. Corresponderían a niveles cronoestratigráficos similares a los anteriores, aunque pudieran existir niveles suficientemente compactos en fases posteriores, cretácicas. Parecen, en general, de menores resistividades que las calizas-dolomías compactas, quizá debido a la presencia de margas y arcillas, provenientes de descalcificaciones y recristalizaciones.

1c. Calizas con intercalaciones de margas, margocalizas y margas: 70-350 ohm.m. Los límites inferiores de resistividad aparente son dudosos. Este grupo de litologías se presenta con mucha variabilidad tanto en espesores y potencias como en composición relativa caliza-arcilla de forma que los rangos de resistividad obtenibles pueden ser muy variables y en ciertos casos podrían pasar confundidos como tramos de otros niveles. De acuerdo a la columna litoestratigráfica de la zona, corresponden a niveles que van desde el Malm hasta el final del cretácico, en el ámbito de estudio.

1d. Arcillas, limos, conglomerados arcillosos (con algunas pasadas de calizas y margas): 3-75 ohm.m. Usualmente, estos valores se corresponden con niveles cuaternarios y pliocenos, aunque eventualmente pueden encontrarse niveles de alguna entidad en el cretácico (Albense, etc). En general, estos valores permitirían identificar el contacto entre los rellenos pliocuaternarios de las fosas y los tramos infrayacentes, cretácicos-jurásicos, pues son en general de baja resistividad relativa.

Desde el punto de vista geofísico, la diferenciación entre muchas de las formaciones presentes no es posible, dado el solape de valores de resistividad con que se manifiestan (claramente, entre muchos materiales jurásicos y cretácicos hay continuidad geoelectrica). Sin embargo, sería posible distinguir unos niveles, digamos geoelectricos, que pueden formarse a partir de los valores anteriores, pudiendo establecer, con ciertas reservas, tres bloques cronoestratigráficos controlables. De forma muy simplificada, estos bloques podrían ser los siguientes:

- a) Calizas jurásicas hasta el Dogger (materiales 1a y 1b)
- b) Alternancias de margas, margocalizas y calizas desde el jurásico superior (Malm) hasta el cretácico e incluso inicio de terciario (materiales 1c)
- c) Niveles de arcilla, limos y conglomerados, terciarios y cuaternarios (materiales 1d).

Sobre la anterior división en grupos de resistividad, cabe añadir que las columnas litológicas disponibles en sondeos mecánicos realizados en la zona, incluyen niveles de calizas con pasadas de margas hasta la serie Malm; por debajo de este nivel se hallarían paquetes compactos de calizas y dolomías probablemente más resistivas, con bajo o muy bajo contenido en arcillas. Contrariamente, en la columna litoestratigráfica general del MAGNA, se indica como nivel de transición desde facies marinas más profundas (calizas) a más someras (aparición de arcillas en diverso grado, alternadas y mezcladas con las calizas), el tránsito entre las unidades Valanginiense y Hauteriviense, del cretácico,

5.3 Zona de Cáliz-Santa Magdalena de Pulpis-Alcalá de Chivert-Torreblanca (Bloque 265)

De la misma forma, trataremos de establecer algún tipo de correlación entre sondeos mecánicos y SEVs en el bloque 265, con las reservas que supone enlazar datos distantes entre sí. Este bloque se corresponde con el grupo de SEVs realizados en 1984 en depresiones costeras (planas litorales) o anteriores a las sierras costeras (Sierra de Irta). Principalmente se realizaron sobre terrenos cuaternarios y pliocuaternarios de la depresión de Santa Magdalena de Pulpis-Alcalá de Chivert-Torreblanca (bloque 265_8), e incluso parcialmente fuera del límite del acuífero del Maestrazgo (subbloque 265_7). Los SEVs están realizados de forma que, de acuerdo a grupos de dos a cuatro sondeos, se presentan perfiles transversales al eje mayor de la depresión.

5.3.1 Correlaciones en el Bloque 265

En este bloque se realiza una posible correlación SEV-sondeo mecánico con tantas dificultades como en el bloque anterior, pues la distancia entre puntos es apreciable, así como los cambios litológicos entre los mismos. En todo caso, se han muestreado varios sondeos frente a SEV, siempre a menos de 1 km de distancia entre ambos. Los sondeos mecánicos (SM) y los SEV muestreados (con SEV reinterpretados) son los siguientes:

- **SM 3123-2-0101 con SEV 265_8-9-9:** el sondeo fue perforado en terrenos jurásicos, en el Kimmeridgiense inferior, alcanzando el triás sobre los 250 m, lo cual quizá se aprecia levemente en el SEV correspondiente. No obstante, éste presenta resistividades relativamente bajas en los tramos superiores (hasta 60 m), atribuibles a la presencia de niveles margosos y karstificaciones, que podrían atribuirse a la serie Malm. Por debajo de ese punto, podría delimitarse el Dogger, (que podría estar situado a unos 100 m en la columna), pues se trata de un nivel con fuerte presencia de calizas y dolomías masivas, bastante resistivo

- **SM 3123-2-0100 con SEV 265_8-1-2 y SEV 265_8-2-1:** sondeo perforado íntegramente en el cretácico inferior, datado como Portlandiense a Barremiense, disponiéndose de al menos 450 m de columna litoestratigráfica del tramo. De nuevo se muestran niveles de resistividades medias, correspondientes a niveles más margosos, especialmente en los tramos superiores de ambos SEVs, alcanzando tramos más resistivos, claramente asociados a niveles más competentes de calizas. En ambos casos, se estima una profundidad de unos 120 m, para estos niveles de calizas, que podrían atribuirse al tránsito del Valanginiense al Hauteriviense (dentro del cretácico inferior), descritos en otros sondeos. Bajo este bloque resistivo, se describen nuevos niveles margocalizos, posiblemente portlandienses, que no se visualizan en los SEVs.
- **SM 3122-6-0004 con SEV 265_8-13-2:** sondeo perforado en jurásico, comenzando en Kimmeridgiense superior. En general, la columna estratigráfica incluye calizas en todos sus tramos, sin describir presencia de margas en niveles superiores (cosa que sí se aprecia en las columnas de otros sondeos). No obstante, el SEV se encuentra a unos 900 m al oeste, ya en el interior de la fosa Santa Magdalena-Alcalá de Chivert, presentando valores de resistividad medios, lo que permitiría suponer que se trata de tramos de margas, margocalizas y calizas con pasadas margosas y/ arcillosas; de ello se podría deducir que el SEV se realiza en tramos cretácicos-jurásicos superiores. A partir de unos 100 m, se aprecia un incremento notable de resistividad, que podría atribuirse al tránsito al Dogger, con presencia de calizas masivas y poco alteradas. Este horizonte podría servir como nivel de referencia.
- **SM 3123-2-0100 con SEV 265_8-11-3:** sondeo perforado íntegramente en el jurásico, presenta, como todos los del bloque 265_8, niveles margosos y karstificados que reducen la resistividad aparente, probablemente situados en el jurásico superior (Malm). A 105 m de profundidad se aprecia un incremento de la resistividad aparente, hasta unos valores superiores a 400 Ohm.m, lo que podría constituir el tránsito a niveles de calizas masivas atribuible a la serie Dogger. No obstante, los valores de resistividad no parecen excesivamente elevados como para admitir este tránsito de forma categórica.
- **SM 3122-3-0027 con SEVs 265_7-8-2 y 265_7-8-3:** se trata de 2 SEV pertenecientes al bloque 265_7, el cual se emplaza casi en su totalidad fuera del acuífero profundo. Estos sondeos se sitúan en su límite norte. El sondeo mecánico fue perforado sobre cretácico, corta series margosas y de calizas en toda su profundidad, y esto se refleja en los SEV con los que se correlaciona con alguna aproximación, aunque éstos detectan niveles aparentemente más resistivos (debe tratarse de niveles de calizas con menor contenido de arcillas) y escasa presencia de conductores superficiales (del tipo de cuaternarios arcillosos, esperable en el SEV 265_7-3).

5.3.2 Rangos de resistividad en el Bloque 265

De forma estimativa y similarmente al bloque anterior, podrían establecerse unos rangos de resistividades estimadas de acuerdo a los diferentes materiales y grados de saturación en agua, presentes en este bloque:

- 2a. Calizas y dolomías compactas, con presencia esporádica de margas: 400-5000 ohm.m.

2b. Calizas micríticas, esparíticas y bioclásticas: 400-1000 ohm.m.

2c. Margas, margocalizas y calizas con intercalaciones de margas: 30-500 ohm.m.

2d. Arcillas, limos, conglomerados arcillosos, gravas con arcillas (con algunas pasadas de calizas y margas): 8-250 ohm.m.

De forma general, resulta algo más complicado establecer correlaciones medianamente fiables, dado que los rangos de los valores de resistividad obtenidos son mayores. De forma similar al bloque anterior, aunque con menor grado de confianza, con los materiales anteriores podrían establecerse correspondencias entre bloques geoeléctricos y niveles cronoestratigráficos: los grupos 2a y 2b corresponderían a calizas jurásicas (hasta el tránsito Dogger-Malm); el bloque 2c correspondería con niveles jurásicos (Malm) y cretácicos y el 2d al materiales terciario-cuaternarios.

5.4 Consideraciones acerca de las correlaciones

A la vista de los análisis anteriores, pueden apuntarse algunas consideraciones sobre la posibilidad de establecer correlaciones, así como rangos de resistividades estimados. De forma general:

- Las potencias de los niveles jurásicos y cretácicos son considerables, de forma que existe amplia variabilidad en las litologías dentro de cada sistema, serie o piso. Cuando se describen “calizas y margas” pueden aparecer niveles alternados de unas y otras, niveles calizos o niveles sólo margosos de muchas decenas de metros dentro del mismo nivel. Estos niveles pueden ser eventualmente atribuidos a unos pisos u otros, existiendo dudas sobre la ubicación estratigráfica exacta de ciertos horizontes.
- Existen diferentes graduaciones de margas, margocalizas o calizas con pasadas de margas y/o arcillas, cuya respuesta en resistividad aparente es similar entre sí. A la inversa, estos materiales presentan una resistividad aparente muy variable, en función de su contenido en arcillas, con rangos elevados que se solapan claramente con otros materiales más definidos.
- Las correlaciones a efectuar entre sondeos mecánicos y SEVs son a menudo inciertas. Las distancias entre unos y otros son considerables. Se han tomado parejas cuya distancia es inferior a 2 km por no disponerse de datos más cercanos. Frecuentemente, existen variaciones apreciables entre las formaciones cortadas en un sondeo mecánico y su SEV más próximo. Este hecho se produce incluso en parejas muy próximas entre sí (algunos cientos de metros), dado que, con carácter general, los SEVs se realizaron en el interior de las fosas, casi siempre sobre terrenos terciarios-cuaternarios y los sondeos mecánicos fueron perforados en sus márgenes o en terrenos cretácicos-jurásicos. Además, estas fosas suelen estar controladas por juegos de fallas, de forma que se pueden apreciar contrastes laterales apreciables, incluso entre puntos próximos.

- Los órdenes de magnitud de los datos disponibles son dispares: los SEVs fueron realizados para mejorar el conocimiento de los recubrimientos de las fosas, de forma que su apertura de alas, y consecuentemente la profundidad alcanzada, es relativamente pequeña para los requerimientos de este estudio. Los sondeos mecánicos alcanzan en general mayor profundidad, de modo que éstos cortan series más completas.
- La calidad de los datos contenidos en las columnas de los sondeos mecánicos no es muy buena, especialmente las de los realizados para abastecimiento de aguas, que suelen ser los más recientes. A menudo son testificaciones litológicas poco o muy poco detalladas y sin referencia cronológica. En algunos casos, su utilidad es dudosa.
- Tras inspección de las columnas litoestratigráficas disponibles, existe una mala correlación entre ellas. Es poco probable identificar un nivel (o niveles) representativos que se repitan con frecuencia en la cuenca en estudio (refiriéndonos a niveles cretácicos-jurásicos).
- A partir de las citadas columnas, parece apreciarse que el Dogger es siempre predominantemente calizo, con bajo contenido en materiales conductores y por tanto, fuertemente resistivo. Aunque su techo no está claramente contrastado con el Malm, éste nivel puede ser tomado como de referencia geoelectrica para identificar los paquetes jurásicos. Su muro, aunque de forma más difusa, también puede ser seguido con cierta continuidad. Así se ha hecho en las interpretaciones y comentarios anteriores.
- La reinterpretación de los SEVs, a la luz de los datos aportados por los nuevos sondeos permiten realizar algunas parametrizaciones y puede ser más ajustada, pero no aporta diferencias significativas con las interpretaciones anteriormente efectuadas, especialmente en el bloque 391, para el que ya se utilizó un grupo de sondeos entonces existentes para su interpretación. Por su parte, en el bloque 265 hay diferencias algo mayores.
- Asimismo, debe resaltarse que estas correlaciones genéricas son sólo válidas para los bloques en estudio, 391 y 265, extensibles a áreas próximas. Fuera de estas zonas o sus circundantes, en las que no se dispone de datos geofísicos, los rangos de resistividades pueden variar. No obstante, estos datos pueden ser de utilidad para plantear la ubicación y parametrización de otros métodos geofísicos, especialmente el magnetotelúrico.

5.5 Conclusiones

Pueden establecerse algunas conclusiones finales, a modo de resumen:

1. Con carácter general y simplificado, pueden diferenciarse 3 bloques cronoestratigráficos, caracterizados por conjuntos de litologías, a los que pueden atribuirse rangos de resistividades específicos; de mayores a menores: calizas-dolomías-masivas (resistividades 400-5000 Ohm.m); margas-margocalizas-calizas con margas (30-500 Ohm.m); arcillas-conglomerados-limos (8-250 Ohm.m). En detalle se adjunta la tabla siguiente:

	Rangos de resistividades aparentes (<i>en Ohm.m</i>)	Nivel cronoestratigráfico
Calizas y dolomías masivas, con escasa presencia de margas y/o arcillas	400-5000	<i>Serie Dogger y otros subniveles poco diferenciables</i>
Margas, margocalizas y calizas con pasadas margosas y/o arcillosas	30-500	<i>Desde jurásico superior a cretácico y paleógeno; eventualmente también jurásico inferior</i>
Arcillas, limos, arenas y conglomerados	8-250	<i>Series terciarias y cuaternarias y, en algún caso, triásico</i>

2. Podría indicarse con alguna aproximación, un nivel de transición (Dogger-Malm), cuyo contraste de resistividad concordaría con un nivel cronoestratigráfico y litológico identificable con cierta continuidad en la cuenca en estudio. En todo caso, el nivel no es nítido, ni en las columnas litológicas ni como nivel geoelectrónico.
3. Las correlaciones entre sondeos mecánicos y SEVs han de tomarse con reservas. Su aportación al conocimiento del área no es excesivamente relevante, por la diferencia de magnitud entre el alcance de los SEVs y la potencia de las formaciones. En todo caso, los SEVs aportan información complementaria de alto interés sobre el tipo de materiales en toda la región.
4. La reinterpretación de los SEVs, a la luz de los datos aportados por los nuevos sondeos permiten realizar algunas parametrizaciones y puede ser más ajustada, pero no aporta diferencias significativas con las interpretaciones anteriormente efectuadas, por lo que pueden darse por aceptables las potencias de sedimentos hasta las series calizas recogidas en su interpretación.

Las nuevas interpretaciones efectuadas de estos SEV se encuentran recogidas (datos digitales-ficheros resultados del proceso) en el Anexo Digital de este Informe.

6 Estudio previo de las testificaciones de los sondeos profundos

Este trabajo ha sido efectuado por Marcos Maneiro Rodríguez, estudiante de Geología de la U.C.M. en Prácticas de Residencia en el IGME durante junio y julio de 2005, con la dirección de Juan L. Plata.

Su objetivo es efectuar un estudio general sobre las testificaciones recuperadas, en especial de los sondeos profundos Salsadella-1 y Bobalar-2, a fin de obtener criterios que permitan caracterizar las formaciones atravesadas desde un punto hidrogeológico, y que puedan apoyar a los diferentes trabajos geofísicos llevados a cabo en el Proyecto HIPROMA.

Primeramente se va a describir la forma en que puede obtenerse información sobre la porosidad a través de los diferentes tipos de diagráfias disponibles. Posteriormente, se realizará la interpretación de los registros para tratar de definir el comportamiento de la porosidad de las capas atravesadas.

En el *Informe sobre Recopilación y análisis de Información Geofísica previa en el Maestrazgo*, se recogen (capítulo 7) las diagráfias localizadas:

- Sondeo Bobalar2: gamma natural y neutrón desde la superficie hasta los 1100 m (el Keuper comienza a los 1000 m); desde 1100 a 1750 (dentro del Muschelkalk) valores de Potencial Espontáneo y resistividad (Laterolog); y de 1750 m al final (2591.6 m) sin testificar. Documento escaneado en el fichero **523_M02**
- Sondeo Salsadella 1: registros sónico y de gamma natural hasta el final (1073.2 m) También se registró de calibre (diámetro del sondeo) a partir de 555 m. Documento escaneado en el fichero **523_M03**

6.1 Utilización de las testificaciones para caracterización de la porosidad

Para la siguiente descripción de las técnicas de testificación geofísica aplicadas en los sondeos recopilados para este estudio (gamma natural, neutrón, sónico, calibre, potencial espontáneo y resistividad), se seguirá fundamentalmente a *James K. Hallenbur, 1984, Geophysical logging for mineral and engineering applications* y a *W. Scott Keys, 1997, A practical guide to borehole geophysics in environmental investigations*.

6.1.1 Registro de Gamma Natural

El registro de gamma natural o *gamma ray* es una técnica que se basa en la medida de la presencia de isótopos radioactivos naturales en las rocas. Mide la radiación espontánea gamma mediante un cristal de yoduro de sodio acoplado a un fotomultiplicador, que recibe la radiación gamma y actúa como detector.

La radiación gamma natural refleja el contenido en elementos radioactivos del material estudiado:

- El contenido en arcilla
- La presencia y cantidad de materiales con emisiones anómalas de gamma natural

El uso más común de las medidas de los rayos gamma naturales es la correlación estratigráfica y la identificación litológica. Las unidades estandarizadas para medir las radiaciones gamma natural son las API, utilizados en la industria del petróleo, pero también se pueden dar los valores en cuentas por segundo (cps). Los isótopos que se miden con la sonda gamma natural son los de Potasio, en concreto el Potasio 40, y los resultantes de la desintegración tanto del Uranio como del Thorio. La serie del Uranio representa un 47 % del total de intensidad gamma, el Thorio un 34% y el Potasio un 19%.

La utilidad del registro de gamma natural para discernir entre arenas y arcillas viene dada porque el Potasio es abundante en algunos feldespatos y micas que componen las arcillas, y además el Uranio y el Thorio están concentrados en las arcillas por procesos de adsorción e intercambio iónico. Así, por regla general, podríamos decir que si el gamma natural es alto, en caso de tener una roca sedimentaria, ésta es rica en arcilla, mientras que si los valores son bajos, el porcentaje en arcillas es bajo y tendrá un alto contenido en arenas. Existen numerosas excepciones, por lo que las rocas no se pueden caracterizar únicamente en función de las intensidades de los rayos gamma que emiten, sino que se necesita tener un conocimiento de la geología local.

En función del registro de gamma natural se puede deducir:

1. Las rocas ricas en arcilla tienen valores altos, mientras que las arenas los tienen más bajos.
2. Las calizas, dolomías y carbón tienen valores más bajos que las arenas.
3. Las rocas ígneas básicas tienen valores de gamma natural menos elevados que las ácidas.
4. La presencia de materia orgánica hace que aumenten estos valores de radiación.

6.1.2 Registro de Neutrón

El registro de neutrones se utiliza fundamentalmente para determinar la cantidad de agua existente en el terreno. Si éste se encuentra saturado, los registros de neutrones proporcionan una medida directa de su porosidad.

Se utiliza un emisor o fuente de neutrones de alta energía (también denominados neutrones rápidos, con energía superior a 100 eV) que colisionan con los núcleos de los átomos que se encuentran en el terreno adyacente al sondeo. El choque con estos átomos se produce de forma elástica, perdiendo energía los neutrones y transformándose en neutrones térmicos de baja energía. Esta pérdida de energía es proporcional al número de choques que se producen con átomos de masa similar al neutrón, los de hidrógeno. Es obvio que un mayor contenido en humedad en las rocas producirá una mayor absorción de neutrones y una disminución del número de cuentas por segundo registrados en la sonda. Cuando el terreno está saturado, el porcentaje de humedad representa cualitativamente la porosidad del material.

Como fuente radioactiva se suele utilizar la de tipo “alfa” compuesto de Americio 241 y Berilio. El Americio emite de forma natural partículas alfa, que al incidir sobre el Berilio, lo descompone en Carbono 12 y neutrones. El detector es del tipo rayos gamma y consiste en una sustancia que absorbe los neutrones térmicos y emite rayos gamma que son transformados en impulsos eléctricos.

Este registro se utiliza además para correlacionar sondeos.

6.1.3 Registro Sónico

Esta técnica, también llamada registro de la velocidad acústica o tiempo de tránsito, mide la velocidad a la que se transmite la energía acústica (ondas mecánicas o sísmicas) a través de las rocas, que depende de la litología y de la porosidad de las rocas.

La sonda de velocidad acústica utiliza transductores magnetoresistivos o piezoeléctricos que convierten la energía acústica u onda sísmica en una corriente eléctrica. Los transductores normalmente dan de 2 a 10 pulsos por segundo y la energía acústica emitida está entorno a los 20–35 kHz. Las sondas sónicas tienen acoplado un receptor separado cierta distancia del emisor de ondas mecánicas; algunas sondas tienen pares de receptores con distintos espaciados que se pueden seleccionar desde la superficie. La energía acústica transmitida por el sondeo y las rocas adyacentes se divide en componentes, una onda de compresión normal P y otra onda de cizalla transversal S. Las ondas P tienen una mayor velocidad y menor amplitud que las S, y tienen la particularidad de que las partículas se mueven en la dirección de la onda de propagación, mientras que en las S lo hacen en la perpendicular a la dirección de propagación.

La velocidad acústica depende de varios parámetros litológicos como son el tipo de matriz y su densidad; el tamaño, distribución y tipo de granos, y de los espacios porosos. El tiempo que tarda la onda en recorrer un pie de formación, indica por lo tanto si la roca es poco o muy porosa; así, si tarda poco la roca es muy compacta, sin embargo en el caso de tardar mucho existe una porosidad importante.

En ocasiones es importante estudiar esta diagráfia junto con la del neutrón, ya que en los casos en que las dos líneas se crucen, indica la existencia de porosidad secundaria o fracturas. La porosidad secundaria es la más importante en rocas sedimentarias no detríticas, como los carbonatos, y en las rocas ígneas y metamórficas.

6.1.4 Registro del Calibre

La sonda *caliper* o calibre permite obtener un registro continuo de las variaciones en el diámetro del sondeo, debido tanto a cavidades y grietas del terreno que atraviesa, como a desmoronamientos y ensanchamientos por las características de los materiales de las capas litológicas.

Su funcionamiento se basa en dos brazos retractiles situados en la parte inferior de la sonda. Descendida al fondo del sondeo, los brazos se despliegan mediante un resorte, hasta apoyarse en las paredes del mismo. Los brazos actúan con un dispositivo electromecánico que transmite al equipo en superficie las variaciones que se originan en cada momento. Con este registro se puede obtener un gráfico de la rugosidad de las paredes del sondeo, que permite identificar huecos, zonas fracturadas y grietas importantes, así como zonas erosionadas o disueltas. Las distintas formaciones pueden ser:

- Solubles en el fluido de perforación.
- Erosionables o formar huecos en el sondeo, como es el caso por ejemplo de arenas, gravas y limos.
- De baja compacidad o expansivas pudiendo fluir e incluso cerrar el sondeo.
- Consolidadas siendo, en este caso, las dimensiones del sondeo más próximas a las perforaciones.

Esta sonda también da una idea de la textura y estructura de los materiales de la formación, que dependen de la porosidad y permeabilidad del material.

6.1.5 Registro de Potencial Espontáneo

Esta herramienta mide la diferencia de potencial existente entre las distintas litologías atravesadas por el sondeo, que se produce al estar perforando con un lodo que tiene una concentración de sales distinta a la de la roca que forma el pozo. El mayor potencial se produce entre arenas y arcillas, por lo que este registro puede utilizarse para calcular el porcentaje de arenas de las formaciones. Su aplicación dentro de rocas carbonatadas es menos evidente.

6.1.6 Registro de resistividad

Mide la resistencia de una roca a dejar pasar una corriente eléctrica. La penetración de la corriente en la roca puede incrementarse separando los electrodos por donde se introduce dicha corriente. En la actualidad, tanto el potencial espontáneo como la resistividad se miden conjuntamente, con una sonda que dispone de dos electrodos de inyección de corriente (A y B) y de dos para medir la diferencia de potencial (M y N). Cuando se inyecta corriente a través del dipolo A-B se medirán resistividades aparentes en el dipolo M-N, y en el caso de que no exista inyección, se lee el potencial espontáneo en torno a M-N. El registro de ambas diferencias de potencial se realiza mientras la sonda se desplaza a lo largo del sondeo, obteniéndose un registro continuo de ambos valores. En la práctica, la sonda eléctrica dispone de varios electrodos de potencial separados ciertas distancias, con lo cual se permite registrar diferentes resistividades aparentes que, según el mayor o menor espaciado de los electrodos, ofrece una valiosa información de la resistividad a mayor o menor distancia del eje del sondeo.

Mediante esta diagrfía, fundamentalmente junto con la de gamma natural, se puede interpretar cualitativamente la secuencia litológica, correlacionar estratigráficamente los sondeos y detectar corrientes de fluidos bajo la presencia de un gradiente hidráulico a través de un medio poroso.

6.2 Caracterización de los sondeos BOBALAR 2 y SALSADELLA 1

Teniendo en cuenta las diagrfías disponible de los sondeos de Bobalar 2 y Salsadella 1 y los conceptos anteriormente sintetizados, se va a realizar una caracterización tratando de indicar (según el registro disponible) la porosidad, contenido en arcillas, permeabilidad, etc., de los diferentes tramos de los sondeos.

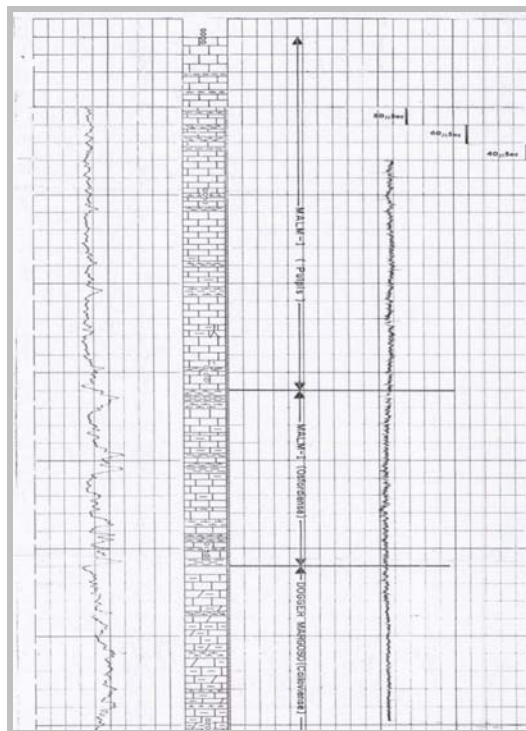
6.2.1 Sondeo SALSADELLA 1

Hasta los 1073 m (final del sondeo) se dispone de registros de gamma natural y sónico, que indican el contenido en arcillas y la porosidad respectivamente. A partir de los 555 m existe además el registro del calibre del pozo. Los registros completos pueden consultarse en el fichero **523_M03.jpeg**, referenciado en el Informe de recopilación de datos geofísicos.

Del análisis del conjunto del sondeo, se deduce que los valores del registro de gamma natural cercanos a los 100 API y superiores indican presencia elevada de arcillas, y los inferiores a 50 indican una escasa proporción de arcilla en la roca. Para su estudio, el sondeo se ha dividido en distintos tramos, de longitud variable, según los datos geofísicos que los caracterizan. El

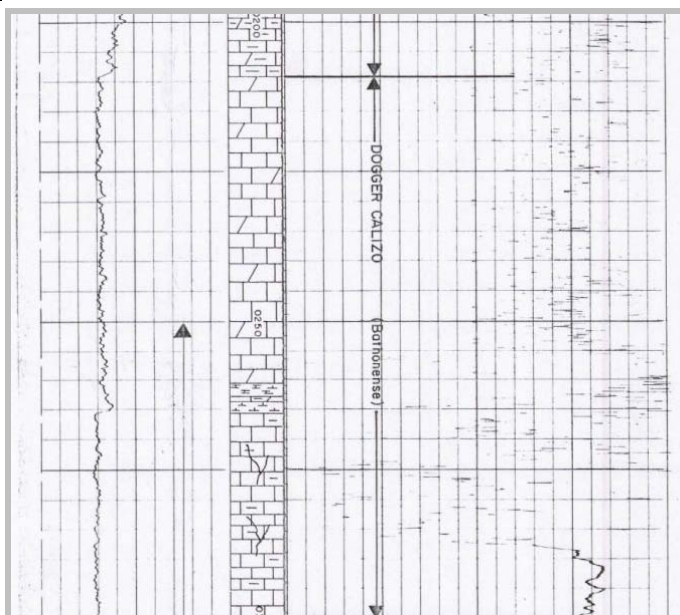
registro gamma (y calibre cuando existe) se localiza en el lado izquierdo [aumentando los valores hacia la derecha] de los gráficos, y el sónico en el derecho [aumentando los valores hacia la izquierda].

Tramo 1 0-200 m.



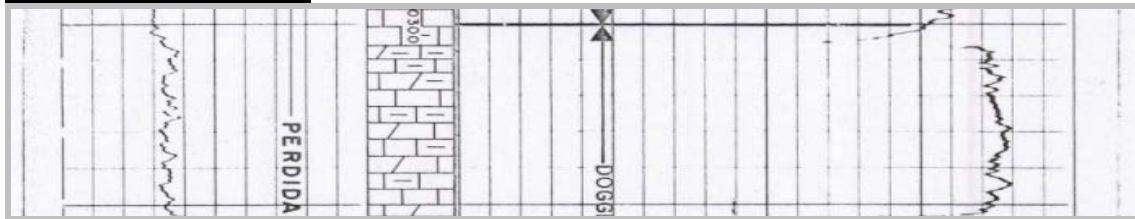
Tramo compuesto por calizas. Los valores de gamma natural entre 85–90 API indican presencia de arcillas en una proporción bastante elevada en general, acusándose claramente las mayores intercalaciones. Existen tramos margosos entre los calizos y los dolomíticos. La arcilla disminuye la permeabilidad. Los valores del sónico (85–90 $\mu\text{s}/\text{pie}$) son intermedios, lo que puede interpretarse como porosidad intermedia.

Tramo 2 200 – 300 m



Este tramo está compuesto por calizas y dolomías. Los valores del gamma natural, en torno a los 45 API indican un menor contenido en arcilla que el tramo anterior, y una mayor permeabilidad. Los valores del sónico son muy variables, desde los 40 hasta los 140 $\mu\text{s}/\text{pie}$, lo que indica alternancia de roca porosas, por existencia de fracturas dentro de las calizas, con otras más compactas, siendo la porosidad secundaria en general bastante elevada.

Tramo 3 300 – 325 m.



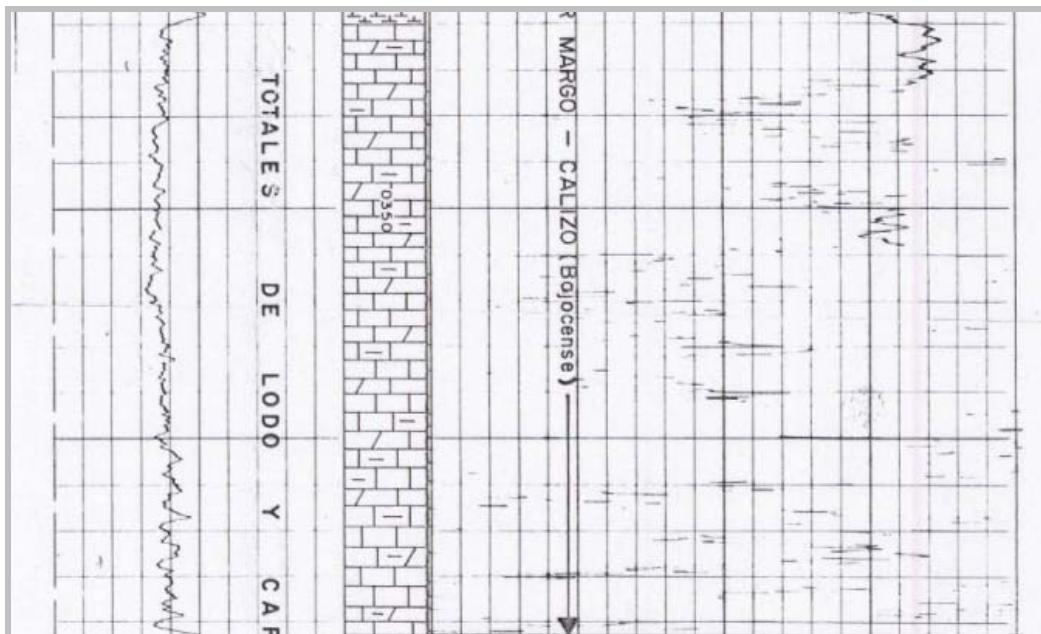
El valor del gamma natural, 75 API, indica un contenido elevado en arcillas. El sónico en torno a los 65 $\mu\text{s}/\text{pie}$ indica que la porosidad es baja.

Tramo 4 325 – 330 m.



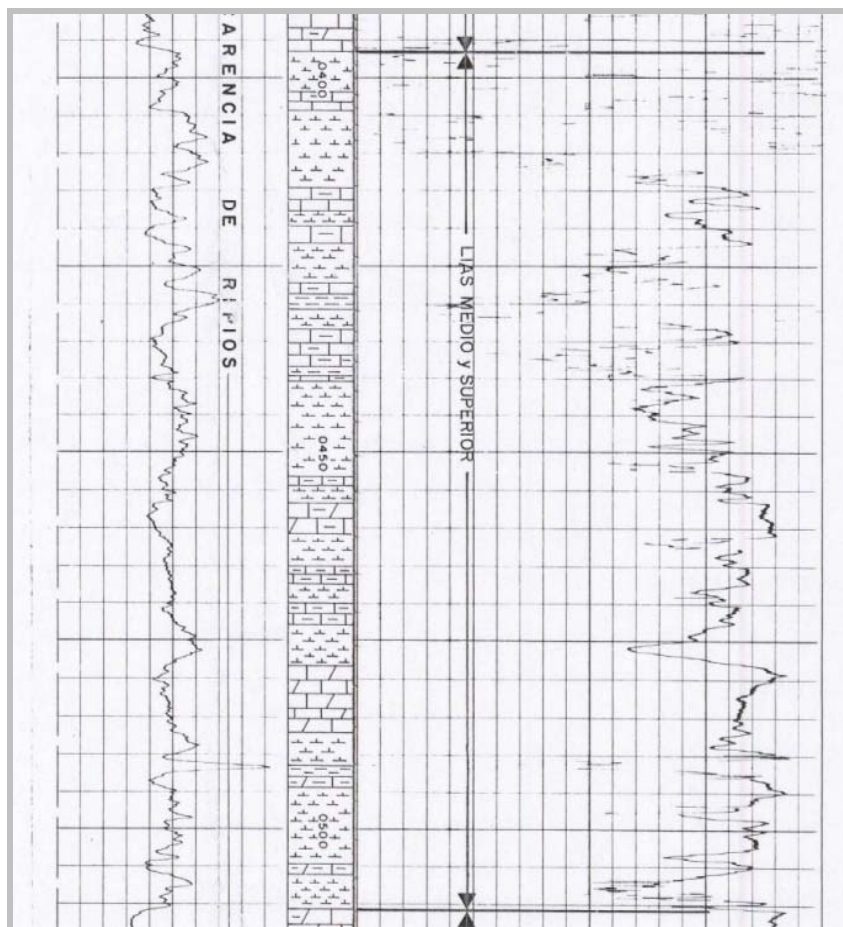
La presencia de un paquete de arcillas queda perfectamente definida por el aumento de la gamma natural y la disminución de la velocidad (aumento del tiempo de tránsito).

Tramo 5 330 – 395 m.



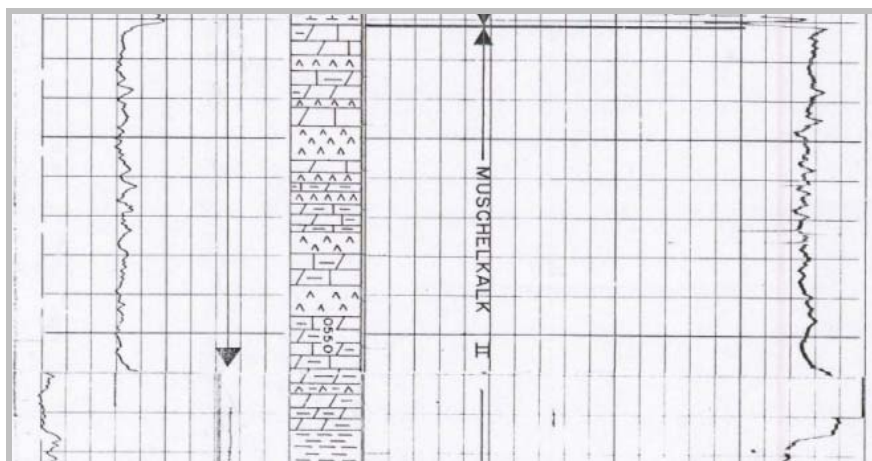
El valor del gamma natural, 60 API, indica que el contenido en arcillas es bajo. En cuanto al sónico, en un primer subtramo de los 330 a los 335 metros es poco poroso, valores de 55 $\mu\text{s}/\text{pie}$, aumentando la porosidad de los 335 m a los 350 m, y bajando de nuevo de 350 a 355 m. Existe un tramo con porosidad elevada entre los 355 y los 370 m, bajando ésta a valores mínimos de los 370 a los 380 m. Entre los 380 y los 395 metros resulta difícil diferenciar los valores del sónico, aparentemente varían entre los más altos y los más bajos.

Tramo 6 395 – 510 m.



El valor del gamma natural es bastante variable, pero podríamos situar la media en torno a los 75 API, que indica un contenido importante de arcillas. En la diagráfia se observan las variaciones producidas por las margas entre las calizas y las dolomías. Así, en los tramos más calcáreos los valores bajan a 60, mientras que en los más arcillosos, estos valores están en torno a los 105 API y en los margosos 90 API. Al igual que ocurría en el tramo anterior, existe un subtramo donde resulta muy difícil diferenciar los valores del sónico, entre los 395 y los 410 metros. Entre los 410 y los 420 m, son de 60 $\mu\text{s}/\text{pié}$, lo que da idea de la existencia de porosidad media-baja; sin embargo entre los 420 y los 440 m la porosidad es un poco mayor, y vuelve a bajar hasta los 510 m. Existen capas margosas dentro del tramo, cuyos valores del sónico son mucho mayores, que presentan una porosidad mayor.

Tramo 7 510 – 555 m.



El valor del gamma natural indica una escasa presencia de arcillas. La presencia de yesos hace que los valores, tanto del gamma natural como del sónico, sean menores. El sónico tiene valores de en torno a los 50 $\mu\text{s}/\text{pié}$, que indica una baja porosidad.

Entre los tramos 7 y 8 se observa que aparecen los valores del calibre, y que cambia la escala de la diagrafía del gamma natural, siendo ahora el valor mínimo de 60 API. Debido a este cambio falta el tramo que va desde los 555 a los 560 m en el sónico.

Tramo 8 560 – 575 m.



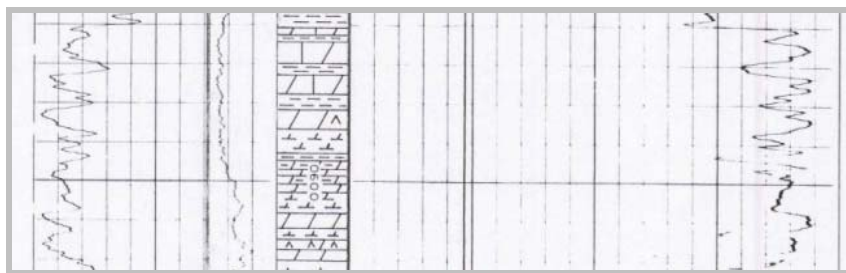
El valor del gamma natural es de 65 API, que indica presencia de arcillas, aunque no muy elevada. El sónico tiene como media un valor en torno a los 60 $\mu\text{s}/\text{pié}$, pero los valores son mayores en las capas con arcillas y menores en las que presentan yesos. Las diagrafías no confirman la totalidad del potente tramo de arcilla indicado en la columna litológica.

Tramo 9 575 – 580 m.



La variación de la gamma natural indica alternancia de arcilla y yeso, reflejado por los valores inferiores de este parámetro y por el aumento de velocidad.

Tramo 10 580 – 610 m.



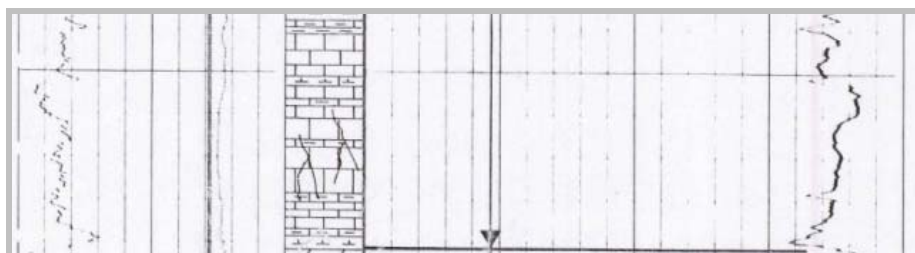
Los valores de gamma natural están alrededor de los 75 API, lo que indica una presencia media de arcillas; los valores varían entre los 65 API en los tramos más dolomíticos, y los 90 API en los más margosos. El valor del sónico, en torno a 52 $\mu\text{s}/\text{pié}$, indica una porosidad más bien baja. En cuanto al calibre, se observa que al avanzar el sondeo aumenta el diámetro, lo que indica que las margas se desmoronan al ser poco cohesivas.

Tramo 11 610 – 620 m.



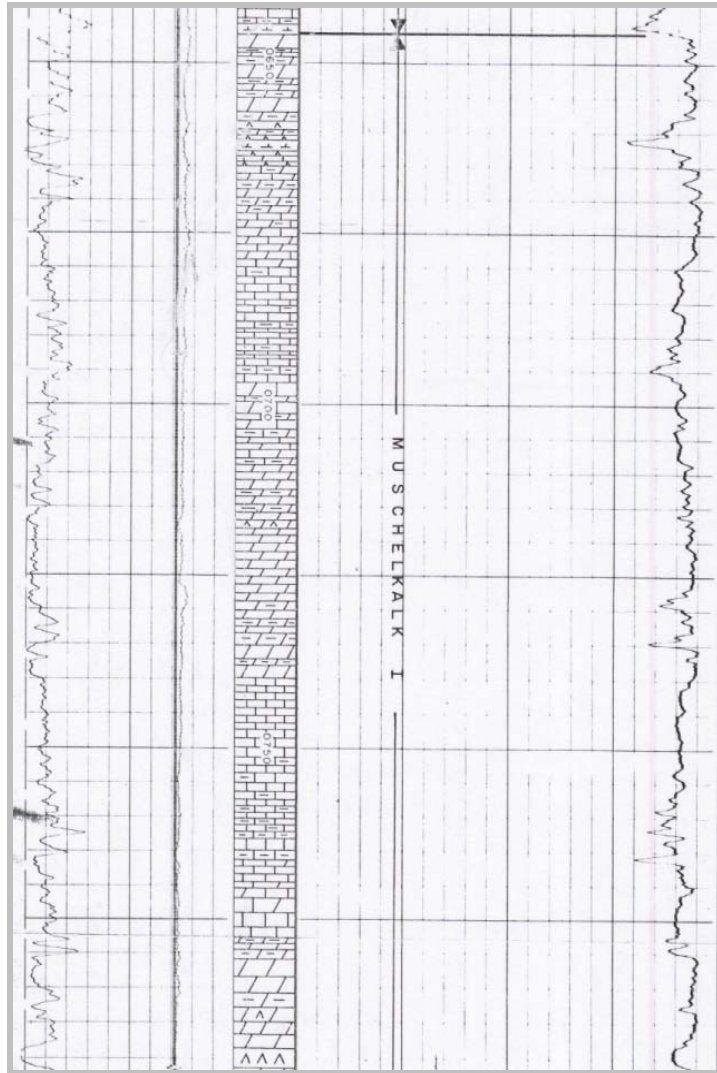
El valor del gamma natural (100 API) indica una presencia elevada de arcillas en todo el tramo, sin existir muchas variaciones. El valor del sónico tiene como media unos 57 $\mu\text{s}/\text{pié}$, valor bajo que indica una porosidad también baja. En cuanto al calibre, éste es mayor en la parte superior, lo que indica que la roca es más cohesiva en la parte superior que en la inferior de este tramo.

Tramo 12 620 – 645 m.



Tramo con poco contenido en arcillas y de porosidad bastante pequeña (52.5 $\mu\text{s}/\text{pié}$). En cuanto al calibre, permanece constante sin que se produzcan alteraciones en el diámetro del sondeo.

Tramo 13 645 – 795 m.



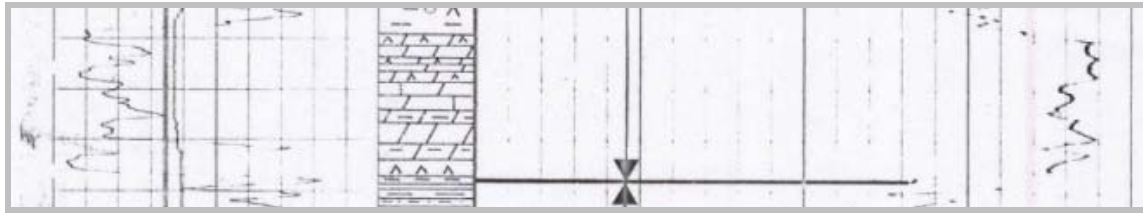
Los valores de gamma natural en este tramo varían mucho, aunque como media podemos decir que es de unos 85 API. Estas variaciones se producen por el elevado contenido en capas de arcillas. El valor de 45 $\mu\text{s}/\text{pie}$ del sónico da una idea de la escasa porosidad existente en el tramo, aunque existen zonas dentro del mismo con valores más elevados. El calibre permanece prácticamente constante en los 12.5 pies.

Tramo 14 795 – 805 m.



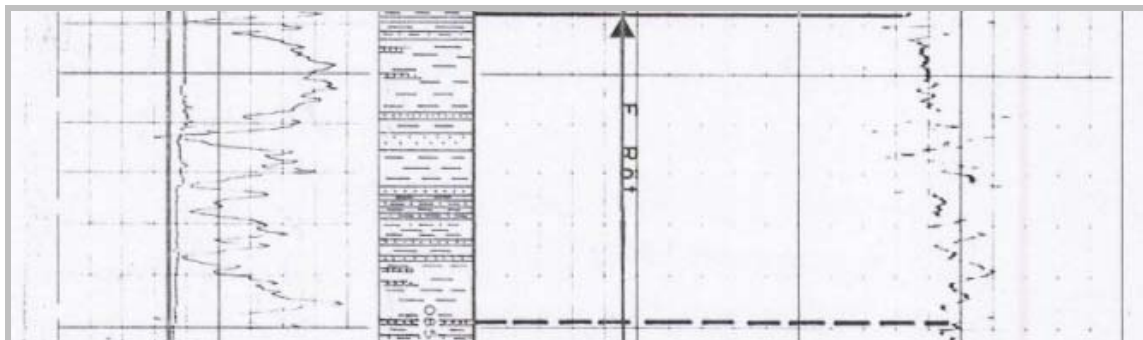
El valor tan elevado del gamma natural (150 API) indica que es una capa formada por arcillas, así el valor del sónico da una porosidad baja. Antes de comenzar este tramo se cambia el calibre del sondeo.

Tramo 15 805 – 820 m.



La radiación gamma natural tiene un valor de 90 API, elevada presencia de arcillas, y baja porosidad indicada por los valores del sónico entorno a los 47.5 $\mu\text{s}/\text{pié}$. El valor del calibre permanece constante.

Tramo 16 820 – 850 m.



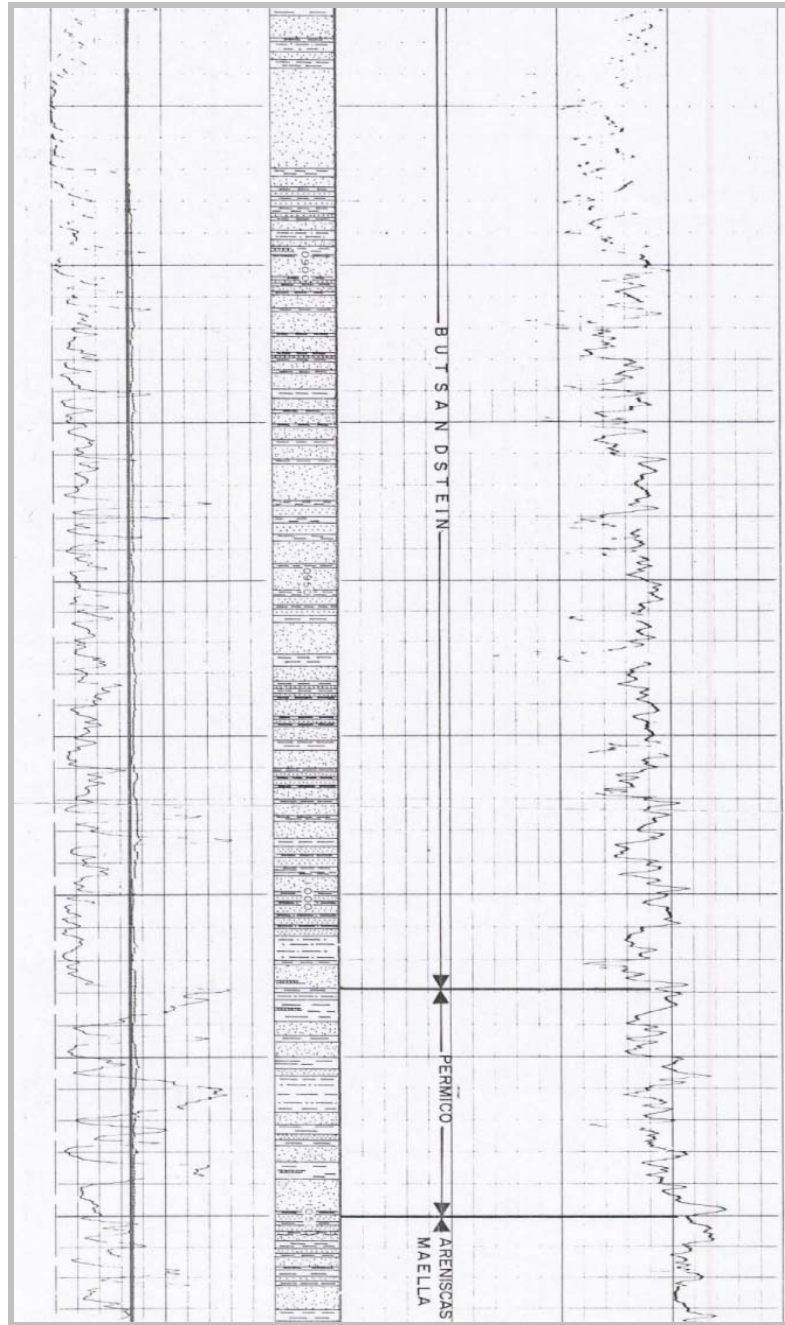
Este tramo está compuesto en su totalidad, a excepción de algunas capas de arenas, por arcillas y de ahí su elevado valor de gamma natural de 165 API. El sónico tiene un valor medio de unos 65–70 $\mu\text{s}/\text{pié}$, lo que indica una porosidad media. El calibre no varía a lo largo del tramo quedando en un valor de unos 9 pies.

Tramo 17 850 – 860 m.



El valor del gamma natural desciende mucho con respecto al tramo anterior, pero aun así indica una importante cantidad de arcillas. El sónico está en torno a los 67.5 $\mu\text{s}/\text{pié}$, una porosidad media. El valor del calibre permanece constante en el tramo en torno a los 8.5 pies.

Tramo 18 860 – 1070 m.



En este tramo el registro de gamma natural tiene como media un valor de 65–75 API, que indica una presencia de arcillas más bien baja, aunque existen subtramos compuestos básicamente por arcillas como son 960–970 m, 1015–1020 m, 1030–1035 m, 1040–1045 m. Esto indica la existencia de intercalaciones de capas de arcillas entre las capas de arenas. En cuanto al sónico, sus valores tienden a disminuir (menor porosidad) a medida que aumenta la profundidad, variando entre los 60 y los 95 $\mu\text{s}/\text{pie}$. El calibre del pozo apenas varía en todo el tramo.

6.2.2 Sondeo BOBALAR- 2

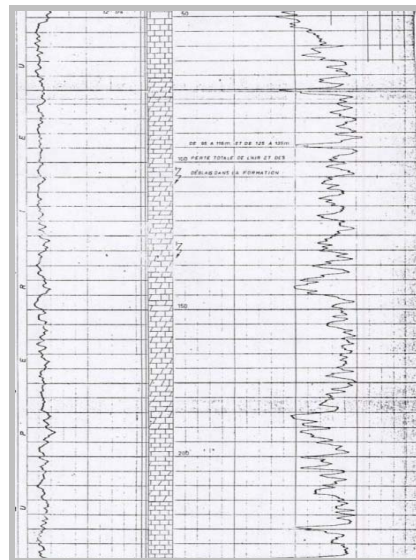
En este sondeo se han empleado las sondas de gamma natural y neutrón hasta una profundidad de 1095 m (entrada en el Keuper), y a partir de ahí hasta los 1750 m existen sólo los registros de resistividad y del potencial espontáneo (tramos del Muschelkalk). La diagrafiá completa puede consultarse en el documento **523_M02.jpeg** del Informe de recopilación geofísica. Los registros de gamma natural y potencial espontáneo se localizan a la izquierda; los de neutrón y resistividad, a la derecha de la columna litológica.

Tramo 1 0 – 50 m.



El valor del gamma natural es de 2 lo que indica la existencia de poca arcilla. En cuanto al neutrón se dividen dos subtramos, uno primero que va desde los 0 m hasta los 40 m que tiene un valor de 690 (pozo entubado); de los 40 hasta los 50 m el valor del neutrón es de 945.

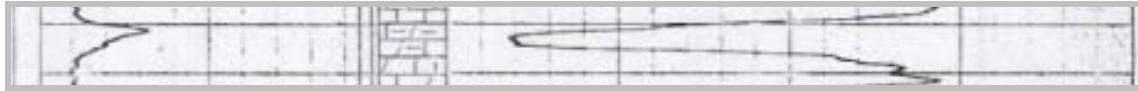
Tramo 2 50 – 235 m.



El valor del gamma natural es un poco menor al anterior, lo que indica un contenido aún menor en arcillas; en cuanto al valor del neutrón se pueden definir 6 subtramos, todos ellos con valores altos, que indica escasa presencia de agua. De los 50 a 60 metros el valor es de

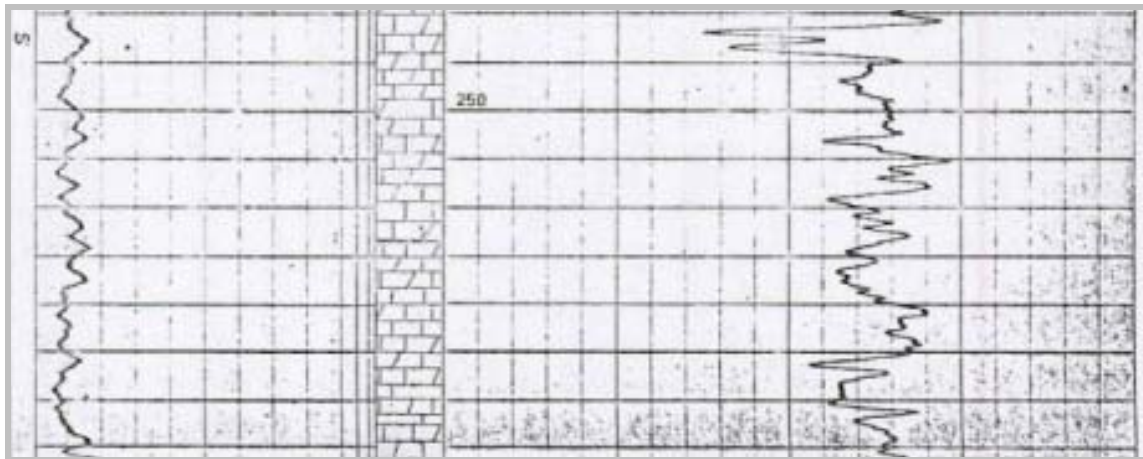
945, de 60 a 140 m el valor es de 1045, de 140 a 145 m es 945, de los 145 a los 185 m el valor es de 1005, de los 185 m a los 190 el valor es de 930 y de 190 m a los 235 de 990. Con los datos de las dos sondas se puede apreciar que el valor del neutrón es inversamente proporcional al valor del gamma natural, ya que cuando este es muy alto, o lo que es lo mismo, el contenido en arcillas es elevado, el valor del neutrón disminuye ya que el contenido en agua de las arcillas es alto, al estar esta presente en su composición.

Tramo 3 235 – 240 m



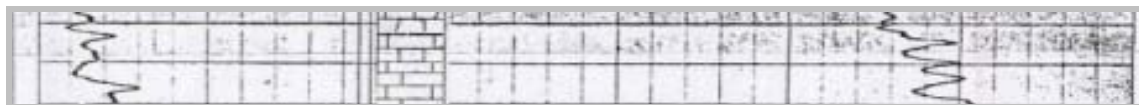
El valor del gamma natural aumenta con respecto al anterior, lo cual indica un mayor contenido en arcillas, que de hecho están representadas en la columna estratigráfica del sondeo. Con respecto al valor del neutrón también es menor que en el tramo anterior, teniendo ahora un valor de 750, que indica un mayor contenido en agua. Además, tienen mayor porosidad, siendo esta de carácter no efectivo. Se puede decir que este tramo es una pequeña pasada de arcillas entre tramos de calizas y dolomías, que hace que varíen los valores de gamma natural y neutrón, pero que en una columna menos detallada no la tendríamos en cuenta.

Tramo 4 240 – 285 m.



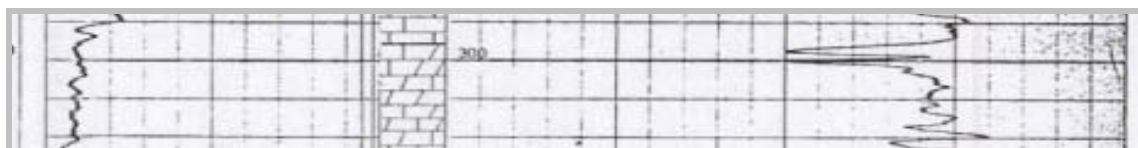
El valor del gamma natural descende con respecto al tramo anterior, esto indica que la proporción de arcillas ha descendido, siendo muy baja. En cuanto al neutrón, adquiere las mismas características que el tramo 2, que indica una carencia de agua en la roca.

Tramo 5 285 – 295 m.



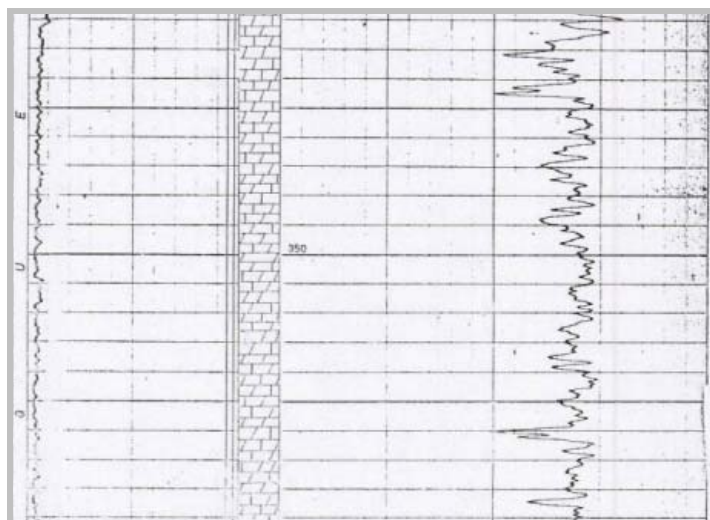
El valor del gamma natural aumenta al mismo tiempo que el del neutrón, todo ello función del mayor contenido en arcillas con respecto al tramo anterior. El gamma tiene un valor de 2, presencia de arcillas pero escasa, mientras que el neutrón presenta un valor de 1030, que indica un menor contenido en agua y menor porosidad efectiva que el tramo anterior.

Tramo 6 295 – 310 m.



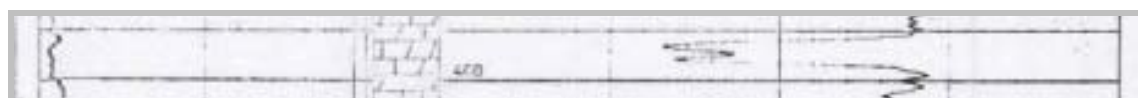
El valor del gamma natural disminuye, a la vez que también lo hace el neutrón. La presencia de arcillas es escasa en el tramo, un valor de emisión gamma de 1, mientras que el contenido en agua es escaso como indica el valor del neutrón.

Tramo 7 310 – 395 m.



El contenido en arcillas nulo, con radiación gamma de 0.75. En cuanto a la presencia de agua, es igual que en el tramo 6, un valor alto del neutrón, que refleja una escasa presencia de agua.

Tramo 8 395 - 400 m.



Se observa una ausencia de arcillas. El valor del neutrón presenta un pico de descenso, indicando un tramo de mayor porosidad efectiva que en el tramo anterior, y mayor contenido en agua.

Tramo 9 400 – 415 m.



El valor del gamma natural aumenta con respecto al tramo anterior pero en pequeña proporción, hasta un 0.75; esto da una idea de un ligero aumento en el contenido en arcillas. Los datos obtenidos por la sonda neutrón, en torno a los 1020 en este tramo son representativos de una nula presencia de agua.

Tramo 10 415 – 455 m.



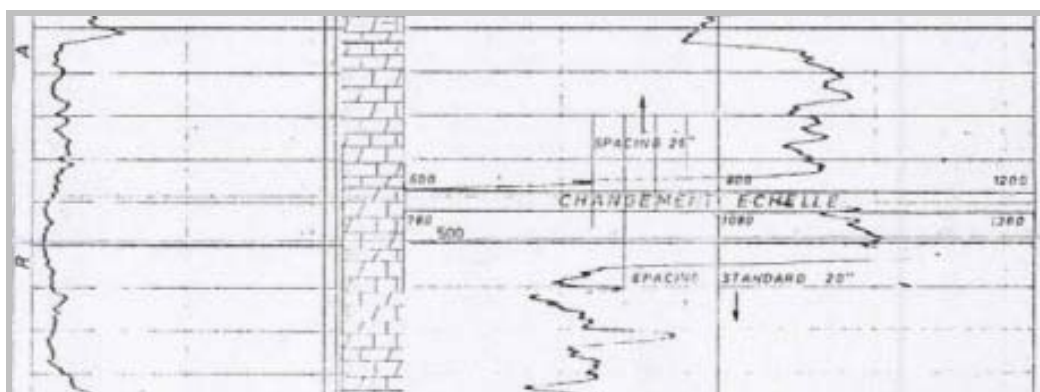
El valor del gamma natural aumenta mientras que el del neutrón permanece constante, esto indica que aumenta un poco el contenido en arcillas, no afectando significativamente a la porosidad efectiva y al contenido en agua, salvo pequeños picos puntuales.

Tramo 11 455 – 475 m.



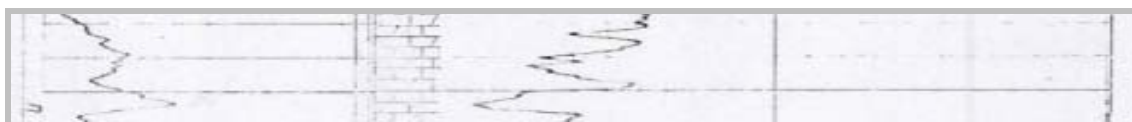
Se produce un aumento importante en el contenido en arcillas, siendo este representado en la columna estratigráfica, y un descenso en el valor del neutrón, en torno a los 945, indica un aumento en la cantidad de agua presente en este tramo con respecto al anterior, siendo esta correspondiente a la presencia de arcillas.

Tramo 12 475 – 515 m.



En este tramo descende el contenido en arcillas, quedando el valor de gamma natural en 1. En cuanto al valor de la sonda neutrón, entre los 990 y los 960, es un poco mayor que en el tramo anterior lo cual indica una menor proporción de agua. A partir de este tramo en la diagrafía se produce un cambio de escala que afecta a los resultados de la sonda neutrón.

Tramo 13 515 – 530 m.



Aumento en la proporción de arcillas y aumento de la proporción de agua en el tramo.

Tramo 14 530 – 535 m.



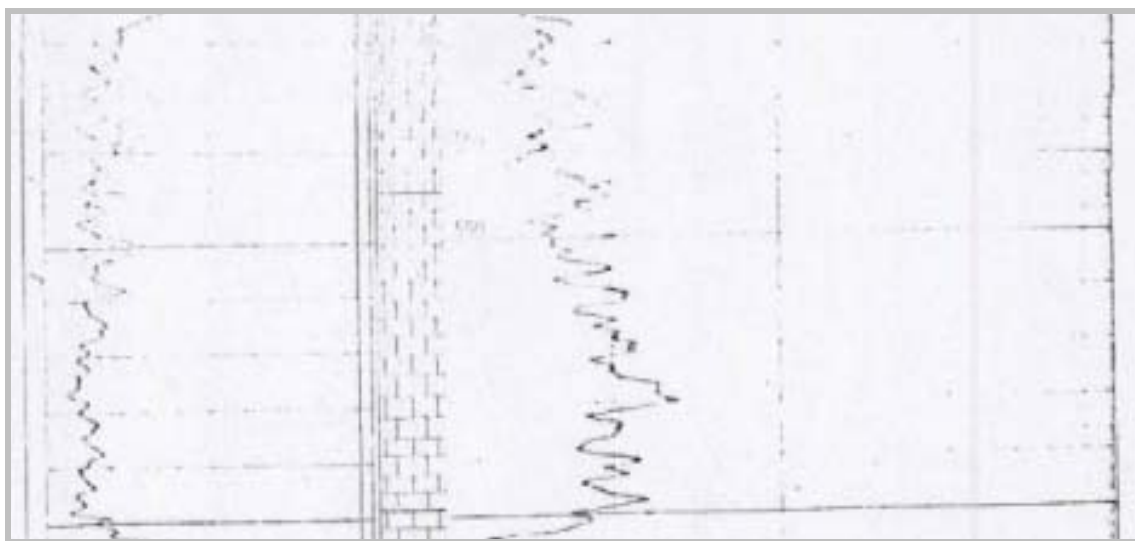
El valor de la radiación gamma, 1.2, es menor que la anterior, indicando una baja proporción de arcillas, mientras que la presencia de agua es menor ya que el valor de neutrón, en torno a los 960, es menor que en el tramo 13.

Tramo 15 535 – 540 m.



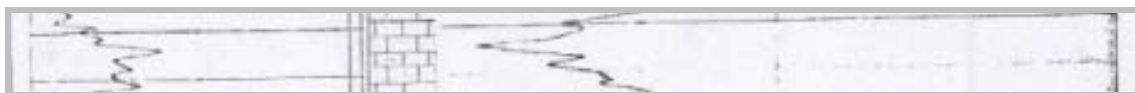
En este pequeño tramo hay un aumento en la cantidad de arcillas, reflejado en la columna estratigráfica, el valor del gamma natural aumenta hasta 2.5. En cuanto al valor del neutrón descendiendo al ser menor la porosidad efectiva y mayor el contenido en agua en estos 5 metros por efecto de las arcillas.

Tramo 16 540 – 575 m.



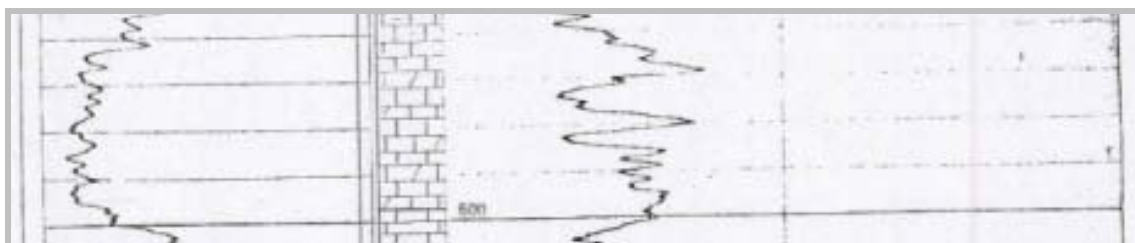
El porcentaje de arcillas vuelve a descender de nuevo hasta valores de radiación gamma de 1.5, mientras que en el neutrón los valores varían entre los 870 y los 915, lo que indica un contenido variable en agua según la proporción de arcillas, ya que ambas diagráfías sufren fluctuaciones. Las rocas que componen este tramo tienen un escaso contenido en agua, pero ya en menor medida que los primeros tramos, que poseían unos valores del neutrón mayores con lo que ello conlleva, un menor contenido en agua

Tramo 17 575 – 580 m.



En este tramo, pese a su pequeño espesor, se observa muy bien un aumento de la proporción de arcillas, con lo que ello supone en los valores del neutrón. Así, los valores del gamma natural alcanzan un valor de 3, muy superior a los que le preceden, y el neutrón un valor de 860, muy inferior a los anteriores, debido al aumento de la proporción de arcillas en este tramo con respecto a los otros, el contenido en agua de la roca ha aumentado, siendo esta agua de tipo constitucional.

Tramo 18 580 – 600 m.



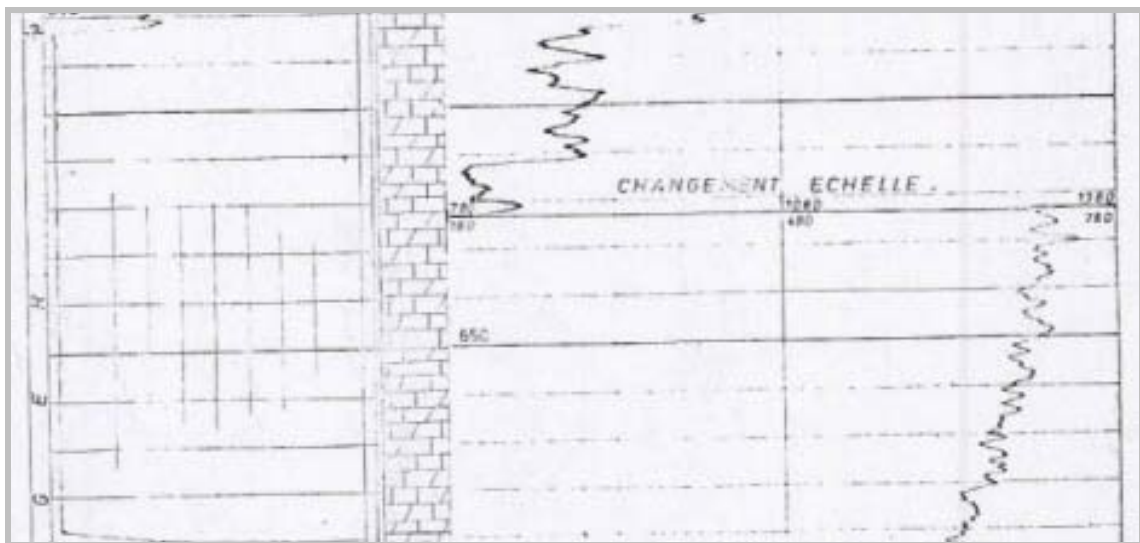
El descenso de la radiación gamma indica la desaparición de las arcillas, por lo que los picos de bajada de la diagráfía del neutrón pueden interpretarse como indicadores de presencia de agua en las calizas.

Tramo 19 600 – 615 m.



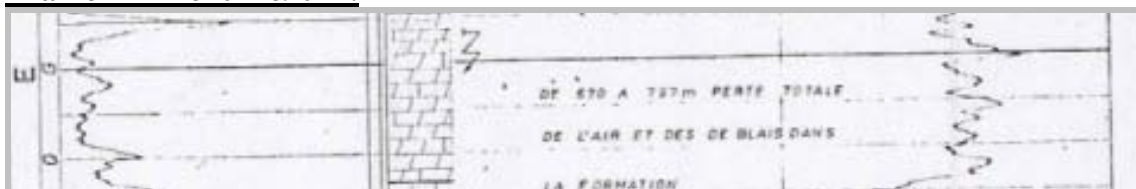
En este tramo aumenta de nuevo el contenido de arcillas siendo importante, ya que alcanza un valor de 3.5. En cuanto al valor del neutrón este varía entre los 930 en los primeros 10 metros, y 1050 en los 5 metros restantes, lo que indica un contenido en agua bajo, siendo este mayor en las zonas en las que la radiación gamma es mayor, resultado de la presencia de arcillas.

Tramo 20 615 – 670 m.



Este tramo presenta un valor sin fluctuaciones y muy próximo a cero, 0.5, de radiación gamma, lo cual indicaría la no presencia de arcillas en estas rocas. En cuanto al valor del neutrón, los primeros 15 metros tienen un valor alto en torno a los 915, que indica poca presencia de agua, en los metros posteriores el valor baja, hasta los 650, siendo mayor la porosidad y la presencia de agua. Este descenso del valor del neutrón es gradual. Además dentro de este tramo existe un cambio de escala en la diagrafía del neutrón.

Tramo 21 670 – 690 m.



En este tramo el valor del gamma natural aumenta un poco con respecto al anterior pero la presencia de arcillas es muy pequeña, excepto en el comienzo, donde se alcanza un valor de 5, que queda además representado en la columna estratigráfica. El valor de la sonda neutrón es

bastante menor que en los primeros tramos, esto quiere decir que según aumenta la profundidad la presencia de agua es mayor y la porosidad efectiva también.

Tramo 22 690 – 695 m.



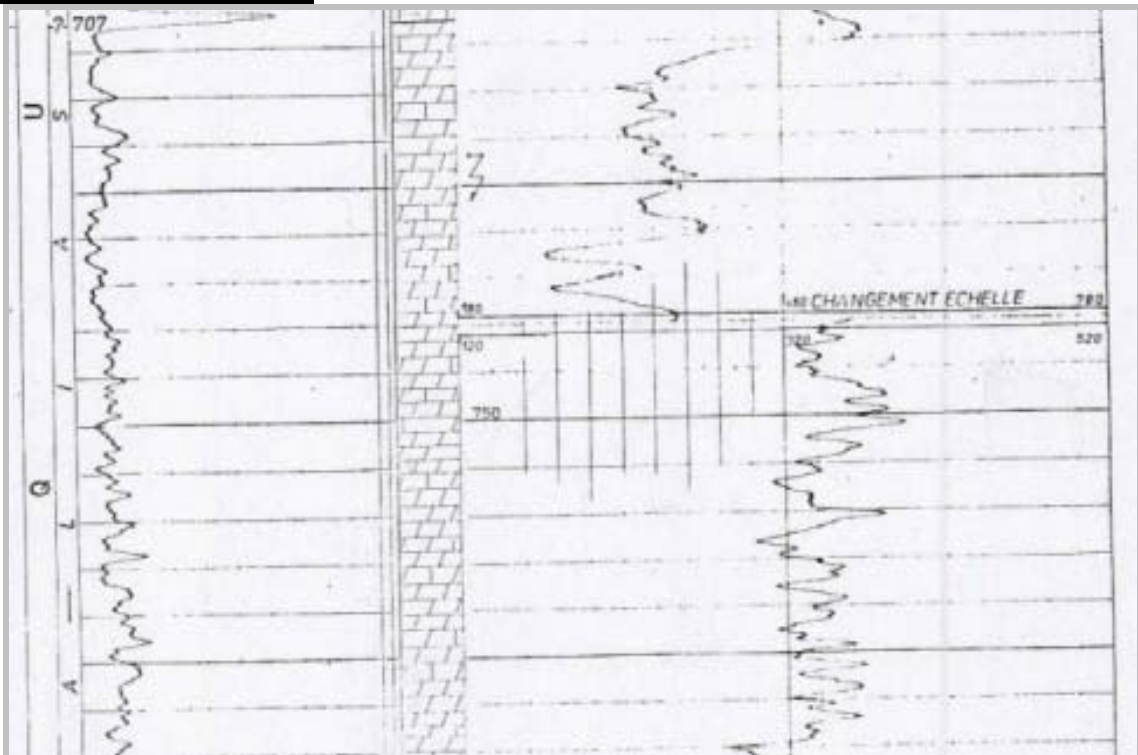
En este tramo el valor del gamma natural alcanza el valor de 5, en respuesta a una importante presencia de arcillas. En cuanto al neutrón sigue bajando, 600, lo que va a ocurrir hasta el final del sondeo. Esto indica la presencia de agua en estas capas más profundas.

Tramo 23 695 – 707.5 m.



El contenido en arcillas es importante pero mucho menor que en el tramo anterior. En cuanto al valor del neutrón, 540, sigue bajando con lo que ello conlleva.

Tramo 24 707 – 785 m.



En la diagrafía se observa un menor valor de la radiación gamma natural, lo que indica un descenso en el porcentaje de arcillas, mientras que la diagrafía del neutrón alcanza valores cada vez más pequeños, desde los 370 al comienzo del tramo, hasta los 315 al final del

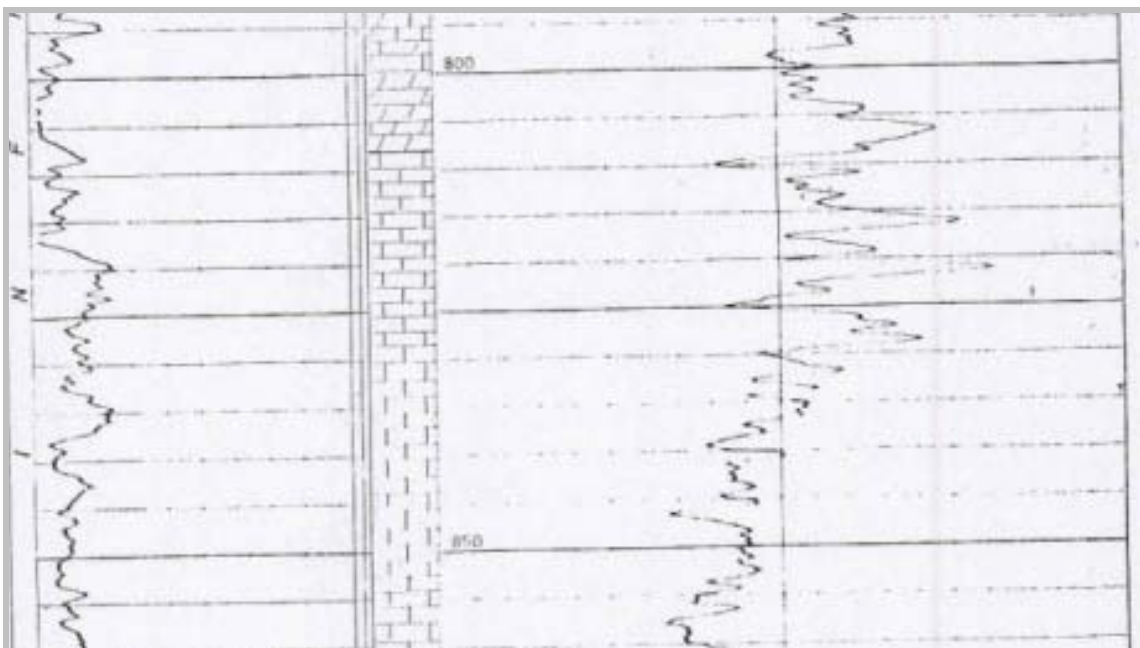
mismo, aumentando así la porosidad efectiva y el contenido en agua a medida que se profundiza. Existe un nuevo cambio de escala en la diagrafía del neutrón que cada vez descende a valores menores.

Tramo 25 785 – 795 m.



En este pequeño tramo se produce un aumento en el valor del gamma natural, efecto del aumento del porcentaje de arcillas, así como un descenso del valor del neutrón, provocado por el agua constitucional de estas.

Tramo 26 795 – 860 m.



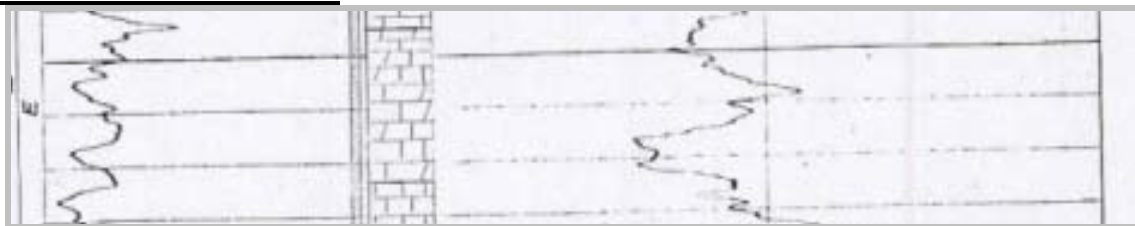
Los valores de la radiación gamma vuelven a estabilizarse tras la aparición de las arcillas en el tramo anterior, teniendo valores de 1.25. En cuanto a los valores del neutrón fluctúan bastante pero podríamos decir que de media están en los 360, en los primeros 40 metros, y en los 290 en los restantes.

Tramo 27 860 – 870 m.



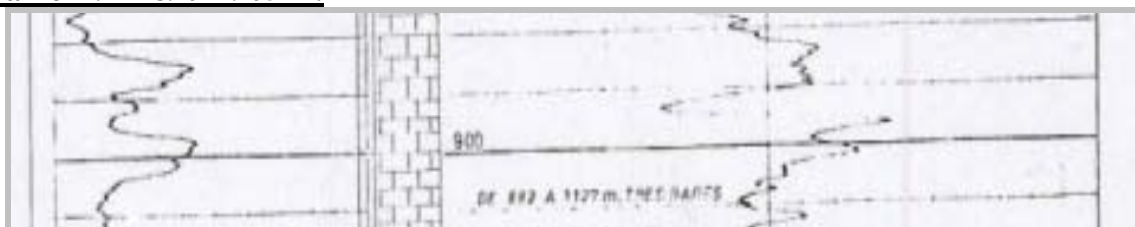
Presenta un valor del gamma natural muy bajo, de 0.75, luego no hay presencia de arcillas. En cuanto al neutrón sigue la tendencia de los últimos tramos, dando valores cada vez menores, en este caso de 270, lo cual indica la presencia de agua así como de porosidad efectiva.

Tramo 28 870 – 890 m.



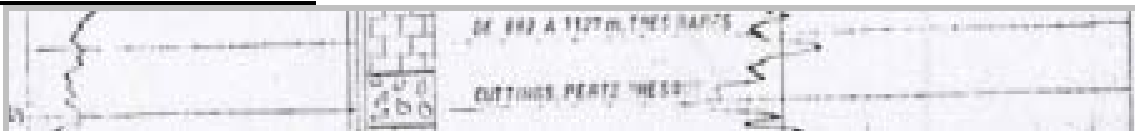
Aumento de la proporción de arcillas, valor del gamma natural 2. El neutrón sigue disminuyendo hasta los 270 en algunas zonas del tramo. Mayor presencia de agua, con aumento de la porosidad efectiva.

Tramo 29 890 – 905 m.



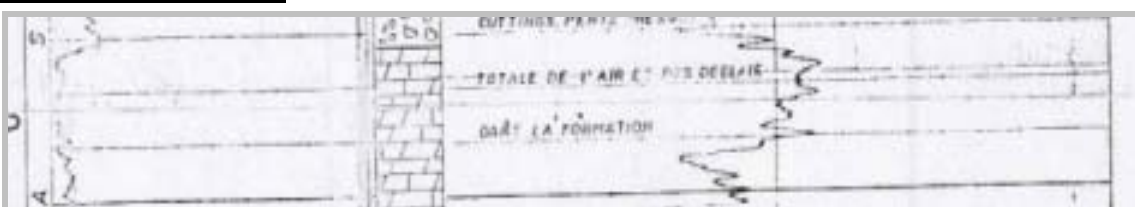
Contenido en arcillas medio, valor del gamma natural en torno a 3, en cuanto al neutrón es muy variable, desde 270 hasta 350, pero en cualquier caso es un valor bajo.

Tramo 30 905 – 910 m.



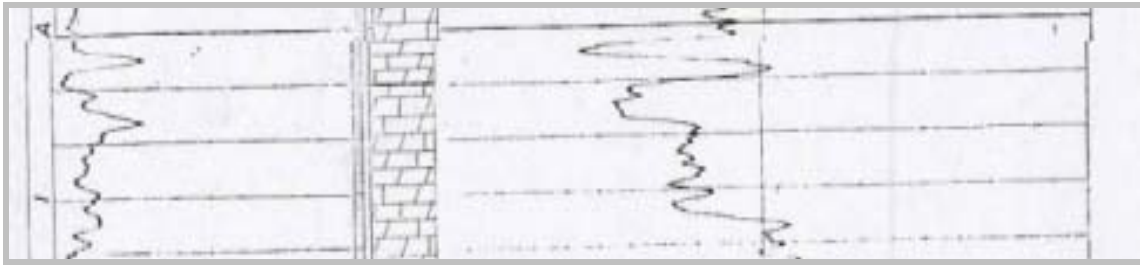
El valor de la radiación gamma indica la presencia de arcillas pero en una proporción muy pequeña. El valor del neutrón sigue siendo bajo, en torno a los 320, respuesta a una alta porosidad y presencia de agua.

Tramo 31 910-925 m



Escasa o nula presencia de arcillas como indica el valor de la radiación gamma, y elevada porosidad efectiva, valor de neutrón entre los 320 y los 280, presencia de agua.

Tramo 32 925 – 945 m



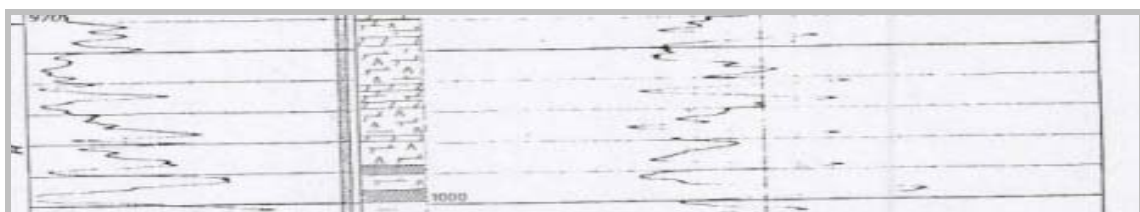
La presencia de arcillas es mayor que en el tramo anterior, pero la porosidad permanece constante, el valor del neutrón está en torno a los 280.

Tramo 33 945 – 970 m.



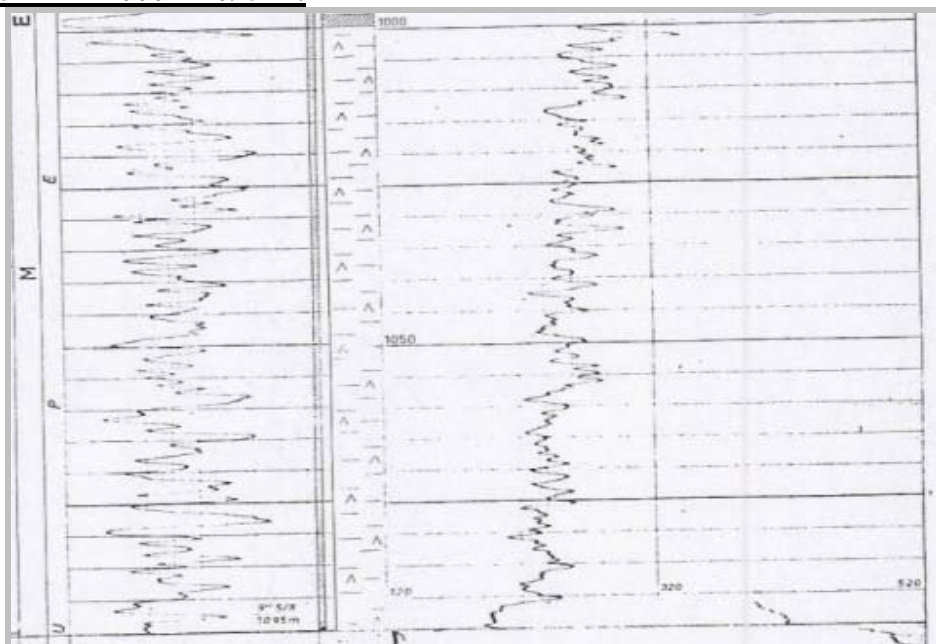
En este tramo no existen arcillas como indica el valor de la radiación gamma, 0.5, y la presencia de agua es elevada, ya que los valores de neutrón se sitúan en torno a los 330.

Tramo 34 970 – 1000 m.



El valor del gamma natural está en torno a 2.5 con tendencia a subir, al profundizar cada vez se encuentran más arcillas. El neutrón alcanza valores de 280 como media, e indica la presencia de agua.

Tramo 35 1000 – 1095 m.

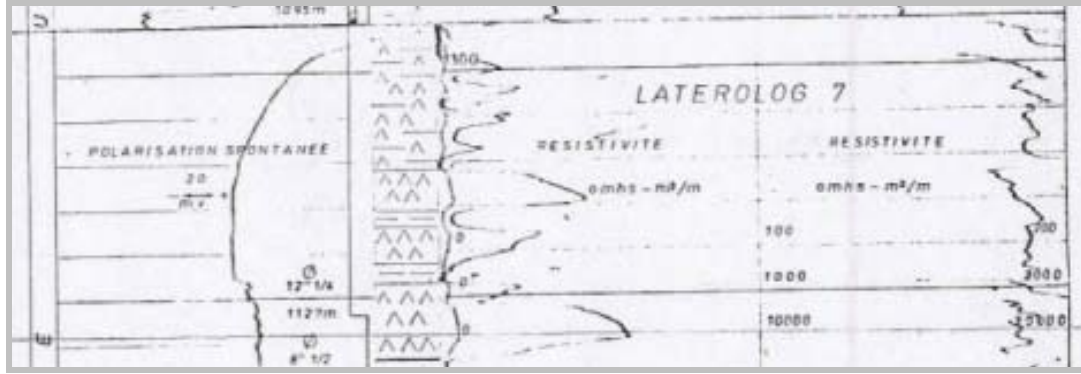


En este tramo los valores tanto del gamma natural como del neutrón son muy variables, al tratarse de arcillas con yesos. El gamma tiene como media un valor de 4.75, muy elevado, debido a la presencia de arcillas. El neutrón sigue siendo bajo, alcanzando sus valores menores en la diagrafía, en ocasiones inferiores a 200, lo que indica la presencia de agua en las arcillas, poco importante desde el punto de vista de un acuífero, ya que no presentan una porosidad efectiva, o lo que es lo mismo, no es posible extraer el agua, al no estar sus poros conectados.

A partir de los 1095 metros se dispone de las diagrafías del *laterolog 7* o de resistividad, y la del potencial espontáneo, que se realizan hasta 1752 metros. El tramo posterior de sondeo carece de diagrafía alguna. Las sondas del potencial espontáneo y de la resistividad dan una idea de si se trata de capas permeables o impermeables: si el potencial espontáneo es positivo las capas son impermeables, y si éste es negativo, permeables. El potencial espontáneo a lo largo de toda la diagrafía es positivo, variando en cuanto al valor pero no el signo, esto indica que todas las capas que van desde los 1095 m hasta los 1752 m son impermeables, lo que es lógico, ya que en su mayoría se trata de rocas evaporíticas o bien de rocas con un alto contenido en arcillas.

En cuanto a la resistividad, informa sobre la capacidad de tiene la roca para dejar pasar la electricidad, esto es, si se trata de una roca con muchos poros rellenos de agua la resistividad será baja, mientras que si la roca es muy compacta, la resistividad será alta. Esto también ocurre en los casos en los que la roca contiene petróleo o gas. Normalmente las sondas potencial espontáneo y resistividad se estudian conjuntamente, ya que suelen realizarse a la vez con la misma sonda.

Tramo 36 1095 – 1130 m.



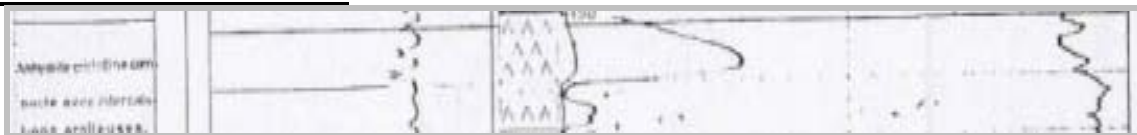
Este tramo está compuesto por unas intercalaciones de arcillas entre capas de yesos. Esto queda muy bien reflejado en la diagráfía de la resistividad, donde se puede observar que las capas compuestas por yesos dan unas resistividades muy altas, mayores de 500 ohm.m, mientras que las zonas más arcillosas dan valores mucho menores, en torno a los 50 ohm.m. Esto indica que las rocas evaporíticas, como el yeso, no son porosas mientras que las arcillas si lo son, aunque impermeables.

Tramo 37 1130 – 1150 m.



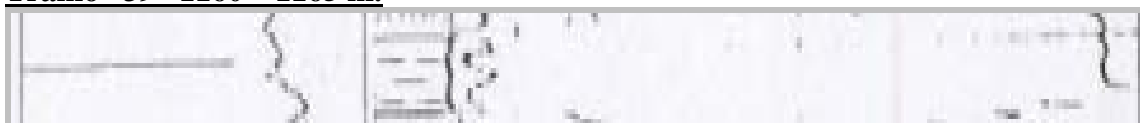
En este tramo se observa que las dos líneas de resistividad de mayor escala se superponen, y la de menor escala se acerca mucho al cero; esto indica que la resistividad es muy baja, menor a 10 ohm.m. Este resultado es menor del que cabría esperar, ya que se trata de un tramo arcilloso, pero con sal, que tiene resistividad alta. Esto se puede interpretar como que la proporción de sal es muy pequeña con respecto a las arcillas.

Tramo 38 1150 – 1160 m.



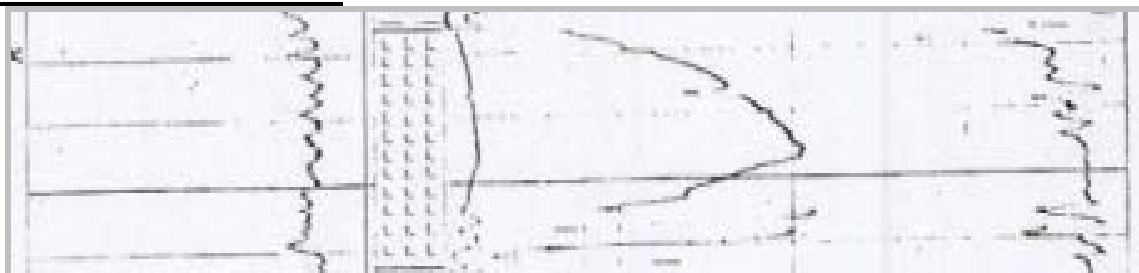
Este tramo esta compuesto mayoritariamente por yesos, que dan una resistividad muy alta, 600 ohm.m, al no poseer poros en su estructura. También está presente un tramo arcilloso, que se observa perfectamente en la diagráfía al tener una resistividad mucho menor, en torno a los 20 ohm.m, al ser una roca más conductora.

Tramo 39 1160 – 1165 m.



La resistividad en estos 5 metros es muy baja, en torno a los 10 ohm.m, lo que indica presencia de arcillas.

Tramo 40 1165 – 1180 m.



La resistividad en este tramo es muy elevada, llegando incluso a los 1000 ohm.m; este resultado indica una porosidad muy baja, lo que es lógico, ya que la roca que forma el tramo es sal.

Tramo 41 1180 – 1200 m.



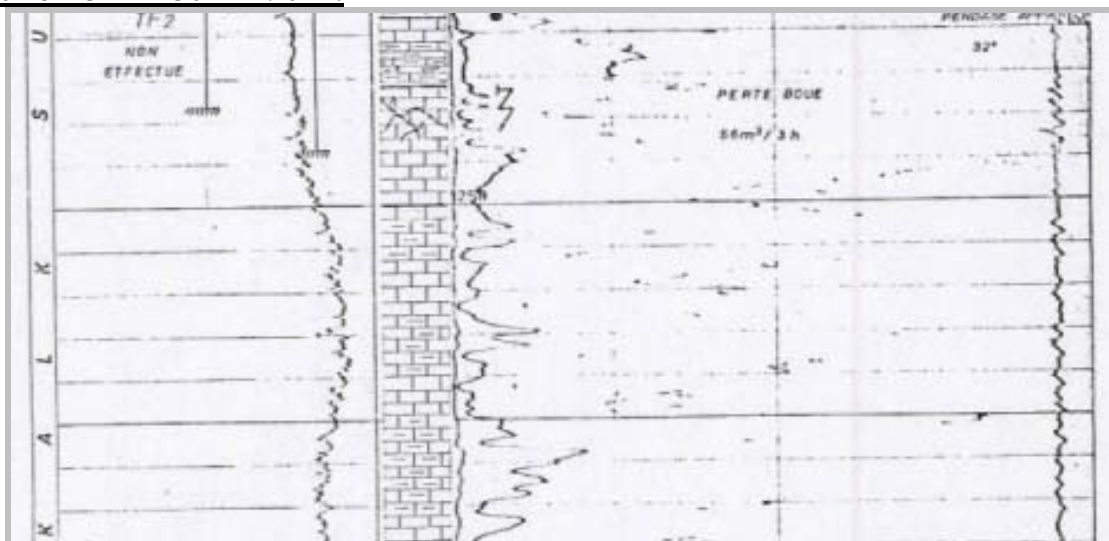
En este tramo se diferencian las tres escalas en las que está representada la resistividad. Ésta es muy baja, aunque diferenciándose las zonas más carbonatadas por dar una resistividad mayor, en torno a los 70 ohm.m, valor que indica una menor porosidad que los tramos arcillosos con sal.

Tramo 42 1200 – 1230 m.



La resistividad en este tramo fluctúa mucho, desde los 50 ohm.m hasta los 1200 ohm.m, que representa una falta de homogeneidad en las rocas, que en este caso son dolomías con arcillas; las medidas más altas de resistividad corresponderán a las zonas más carbonatadas, mientras que las de resistividad más baja corresponden a las arcillas.

Tramo 43 1230 – 1290 m.



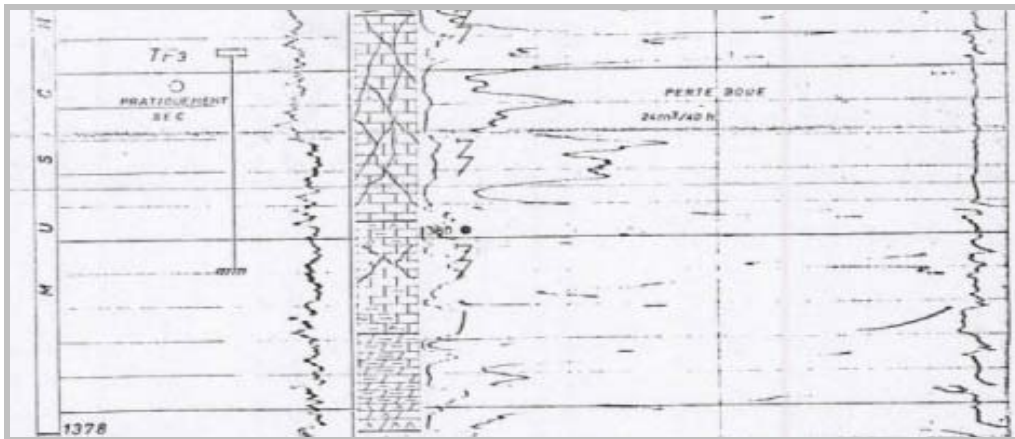
Las rocas que componen estos 60 metros se caracterizan por resistividades no muy altas en torno a los 75–100 ohm.m. La variación que se produce en el tramo con respecto a la resistividad es debido a la diferente proporción de arcillas, así como a la presencia de fracturas en los tramos carbonatados.

Tramo 44 1290 – 1315 m.



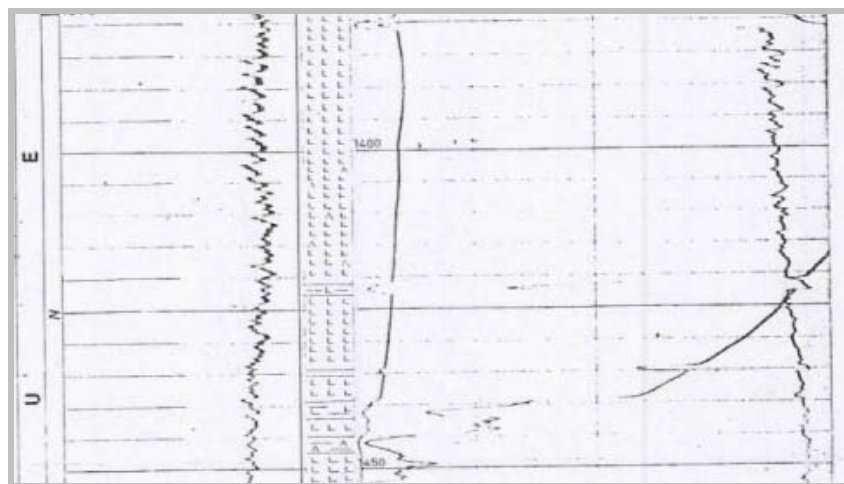
Los resultados de resistividad a lo largo del tramo son bastante uniformes, aunque se puede diferenciar la parte baja, donde la resistividad es menor al estar compuesto exclusivamente por margas, de la parte alta, donde la resistividad es un poco mayor al estar formada por calizas margosas.

Tramo 45 1315 – 1378 m.



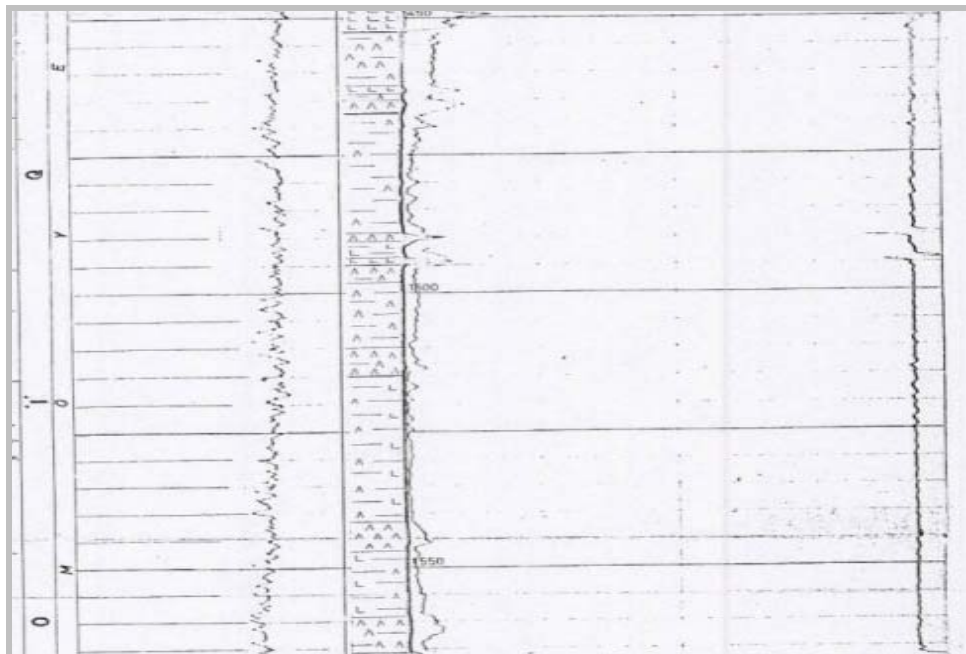
Este tramo presenta resistividades bastante altas. Está compuesto en su mayoría por calizas, en ocasiones fracturadas, que según el resultado de la diagráfia deben ser muy masivas. La resistividad a lo largo del tramo fluctúa bastante, variando entre los 100 ohm.m y los más de 2000 ohm.m de algunas zonas.

Tramo 46 1378 – 1455 m.



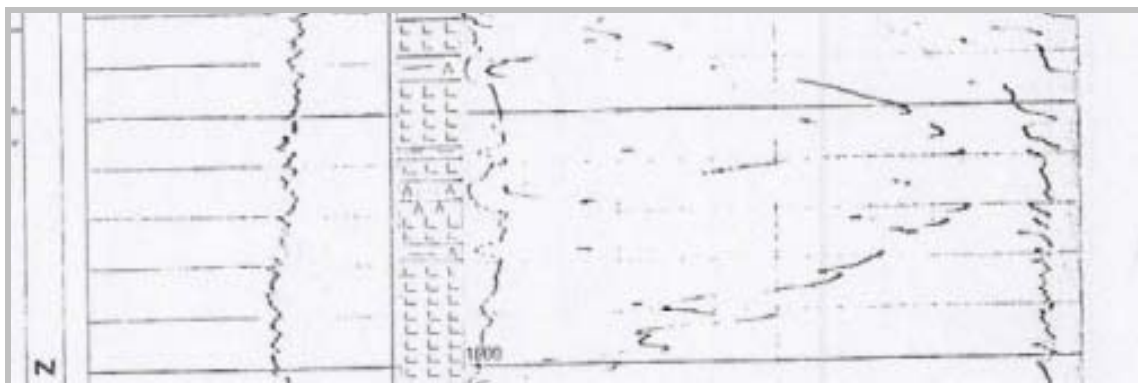
Este tramo está compuesto por sal. Resultado de esta composición es la diagráfia que representa resistividades muy elevadas, mayores de los 2000 ohm.m en gran parte del tramo. Existen zonas donde disminuye la resistividad y esto es debido a la presencia de zonas menos puras en las que existen arcillas con yeso y sal.

Tramo 47 1455 – 1565 m.



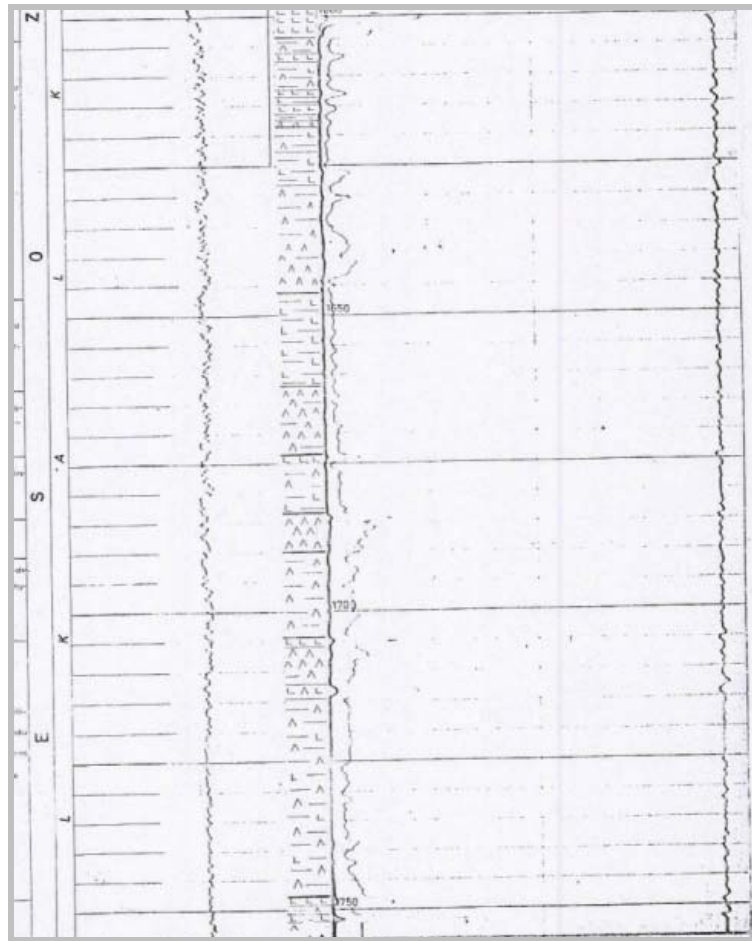
En este tramo las resistividades son muy bajas, la mayor parte en torno a 10 ohm.m. Existen pequeñas zonas donde aumenta un poco la resistividad, al existir yesos, mezclados con las arcillas, litología dominante a lo largo de estos 110 m.

Tramo 48 1565 – 1605 m.



La composición de esta parte del sondeo, basada en sal, da como resultado unos valores muy elevados de resistividad, en torno a los 1500 ohm.m; en las zonas de yesos la resistividad es menor. Esto indica que la roca que compone el tramo es muy compacta.

Tramo 49 1605 – 1752 m.



Este último tramo se caracteriza por tener resistividades bajas, en torno a los 10 ohm.m. Las características son muy similares a las del tramo 47. La presencia de arcillas mezcladas con yesos da estos resultados bajos de resistividad. En los tramos más salinos se produce un pequeño aumento en la resistividad.

A partir de los 1752 metros ya no existe registro de diagrfías.

6.2.3 Sondeo MIRAMBEL 1

De este sondeo se dispone del registro sísmico y gamma natural solamente en el tramo desde los 1320 m hasta los 2810 m, totalmente en el Triásico. El documento está recogido en el fichero **507_f3.jpeg** del Informe sobre recopilación de datos geofísicos. Desde el punto de vista de caracterizar la porosidad y permeabilidad de las rocas que forman parte del acuífero del Maestrazgo carece de interés, ya que sólo representa las formaciones de arcillas y rocas evaporíticas.

Los valores del gamma natural varían en función de las cantidades de arcillas presentes en cada tramo del sondeo: así en los tramos más arcillosos, los valores del gamma natural son mayores, y en los más arenosos o más salinos menores. En cuanto al registro de la sonda sísmica, varía en función de lo compacta que es la roca. Los valores más bajos de la diagráfia del sísmico se presentan en el tramo que va desde los 2399 m hasta los 2490 m, donde la litología corresponde a unas dolomías. Tanto los tramos arenosos, más comunes en la parte final del sondeo, como los evaporíticos, presentes a lo largo del sondeo caracterizado por las sondas gamma natural y sísmica, presentan un valor del sísmico muy parecido.

6.3 Calificación de la posible porosidad y permeabilidad de los sondeos SALSADELLA 1 Y BOBALAR 2

La caracterización realizada en el apartado anterior para estos dos sondeos se va a trasladar a las columnas simplificadas, definiendo así para cada tramo una posible porosidad y permeabilidad, en función de las características de los tramos definidos para el análisis de las diagráfias.

SALSADELLA 1

En la columna simplificada de este sondeo se han definido 10 tramos, de edades entre el *Pérmico* y el *Kimmeridgiense inferior* (Figura 5). Esta columna procede de la recopilación de sondeos de hidrocarburos referenciada en el informe 515 de la recopilación de datos. La simplificación de los resultados de la testificación se representa en la Figura 6.

El *Pérmico* se caracteriza por estar constituido por intercalaciones de arcillas con areniscas, donde los valores del gamma natural fluctúan obteniendo valores altos en las zonas arcillosas y bajos en las de arenas. En cuanto al valor del sísmico también varía, indicando una mayor porosidad en las zonas arenosas, aunque la porosidad es intermedia en todo el tramo.

El *Buntsandstein* se caracteriza por estar formado por arcilla, arenisca y limolitas, pero realmente la mayor proporción es de arcilla en el tramo superior, como indican los valores elevados de gamma natural, donde el sísmico también tiene valores relativamente bajos, lo que indican una cierta porosidad, eso sí, no efectiva ya que las arcillas son impermeables.

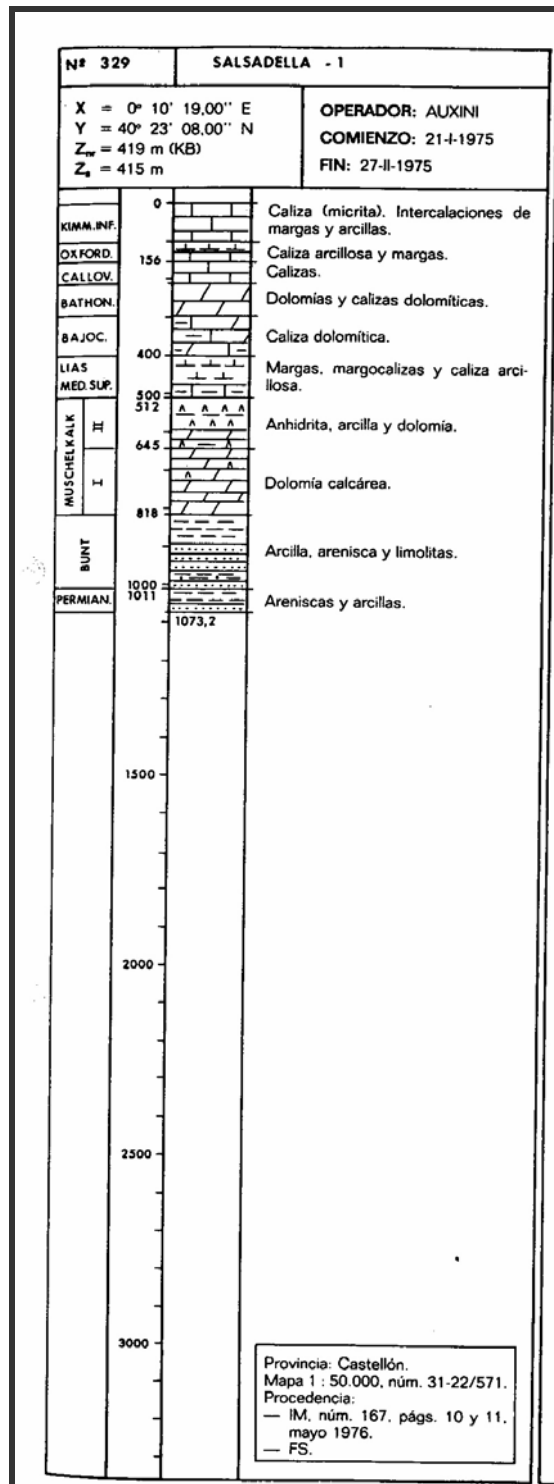
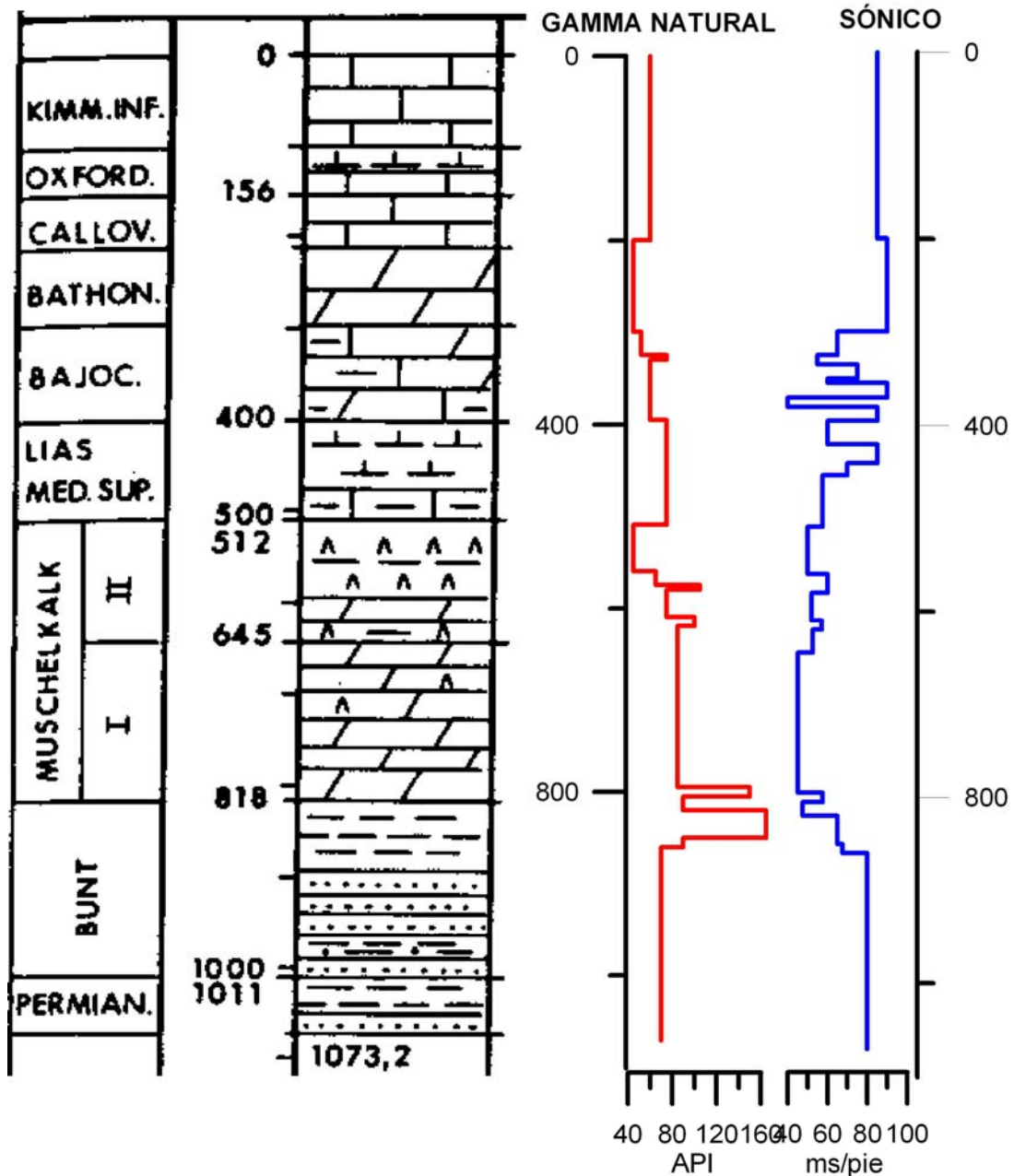


Fig. 5 Columna simplificada del Sondeo Salsadella-1 . Fichero 515_Salsadella1.jpeg



Sondeo Salsadella-1

Fig. 6 Esquema de las diagráfias gamma natural y sónico del Sondeo Salsadella-1

En el *Muschelkalk I* la litología predominante son las dolomías calcáreas, pero existen tramos más arcillosos y otros con yeso. En función de los parámetros del gamma natural y del sónico, podemos decir que este tramo es poco poroso y además tiene un importante porcentaje de arcillas, por ello se trata de un tramo impermeable.

En el *Muschelkalk II* las litologías predominantes son anhidrita, arcillas y dolomías. Teniendo en cuenta solo las litologías que forman el tramo podemos decir que la permeabilidad es baja, y la porosidad también. Esto lo ratifican las diagráfias que indican valores altos del gamma natural y bajos del sónico.

El *Lias medio-superior* está compuesto por margas, margocalizas y calizas arcillosas. Este tramo es muy rico en arcillas lo cual indica que es impermeable; en cuanto a la porosidad es variable, aunque es alta en subtramos muy concretos.

En el *Bajociense*, piso perteneciente al *Dogger*, la litología predominante es la caliza dolomítica. Ésta presenta una buena porosidad y permeabilidad, aunque esta última en ocasiones es baja por efecto de la existencia de tramos más arcillosos y margosos.

El *Bathonense*, piso del *Dogger*, está formado por dolomías y calizas dolomíticas que se caracterizan por tener una porosidad variable, aunque buena, y por ser permeables.

En el *Calloviense* las calizas presentan una porosidad media y una buena permeabilidad. Con respecto a los pisos suprayacentes no existen muchas diferencias en cuanto a sus características, es por ello que se han englobado dentro de un mismo tramo. Así, las características en cuanto a permeabilidad y porosidad del *Oxfordiense* y del *Kimmeridgiense*, ambos pisos del *Malm*, son muy similares teniendo una porosidad media y una permeabilidad buena; esto únicamente varía en los tramos más arcillosos, donde la permeabilidad es menor. Estos tramos más arcillosos y margosos se encuentran con más abundancia en el *Oxfordiense*.

Podemos terminar diciendo entonces, según las características de porosidad, que los tramos inferiores, del *Pérmico* al *Lias*, son más bien impermeables y que en ellos la existencia de un acuífero no es posible. En cuanto a los tramos superiores su porosidad y permeabilidad nos permiten suponer que forman parte del acuífero del Maestrazgo.

BOBALAR 2

En la columna simplificada de este sondeo se diferencia seis tramos cuyas edades van desde el *Muschelkalk* hasta el *Jurásico superior* (Figura 7). Esta columna procede de la recopilación de sondeos de hidrocarburos referenciada en el informe 515 de la recopilación de datos. Desde superficie hasta los 1095 m se tienen diagrfias de la sonda neutrón y gamma natural (Figura 8). Entre los 1095 metros y los 1752 se tienen datos de las sondas de potencial espontáneo y de la resistividad (Figura 9).

El *Muschelkalk medio* está formado por una alternancia de arcillas, anhidrita y sal masiva. A pesar de no tener registro de todo el sondeo, la porosidad y la permeabilidad de este tramo son muy escasas, como así lo demuestra el potencial espontáneo.

En el *Muschelkalk superior* la litología predominante son las dolomías y las calizas, que presentan una porosidad variable, y una permeabilidad también variable. En general se puede decir que tienen una porosidad media, y en cuanto a la permeabilidad, el potencial espontáneo indica que se trata de rocas impermeables.

El *Keuper* está formado por arcillas, anhidrita y sal. Tan solo con la litología ya podríamos decir que el tramo es impermeable, pero además lo ratifica el potencial espontáneo. En cuanto a la porosidad, ésta varía en función de la litología, así en las zonas del tramo en las que existen arcillas la porosidad es mayor, que en las zonas de anhidrita y sal, donde las resistividades aumentan notablemente, indicando que se trata de rocas muy masivas.

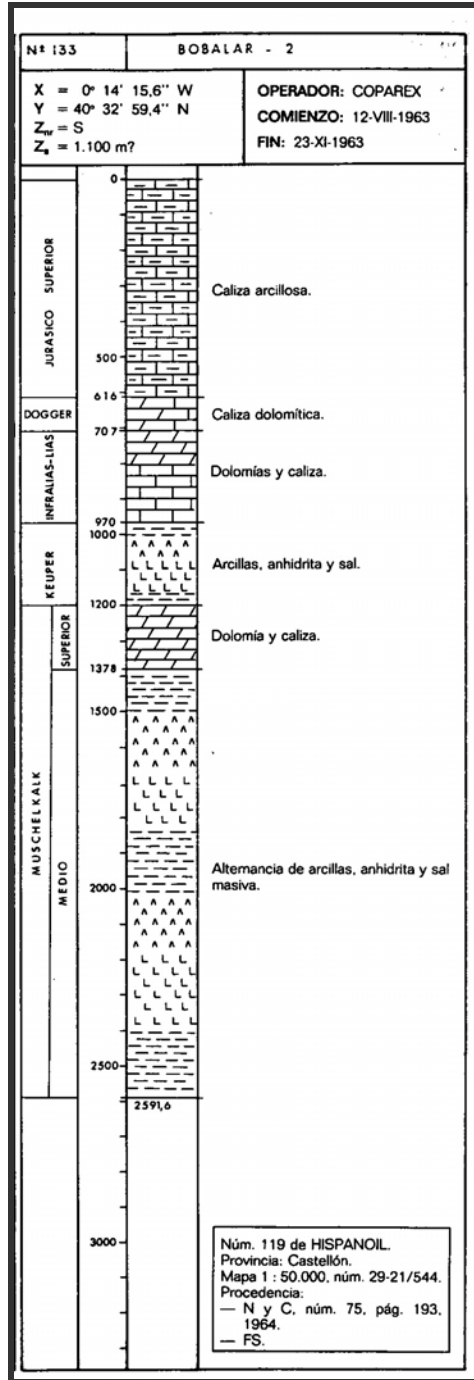
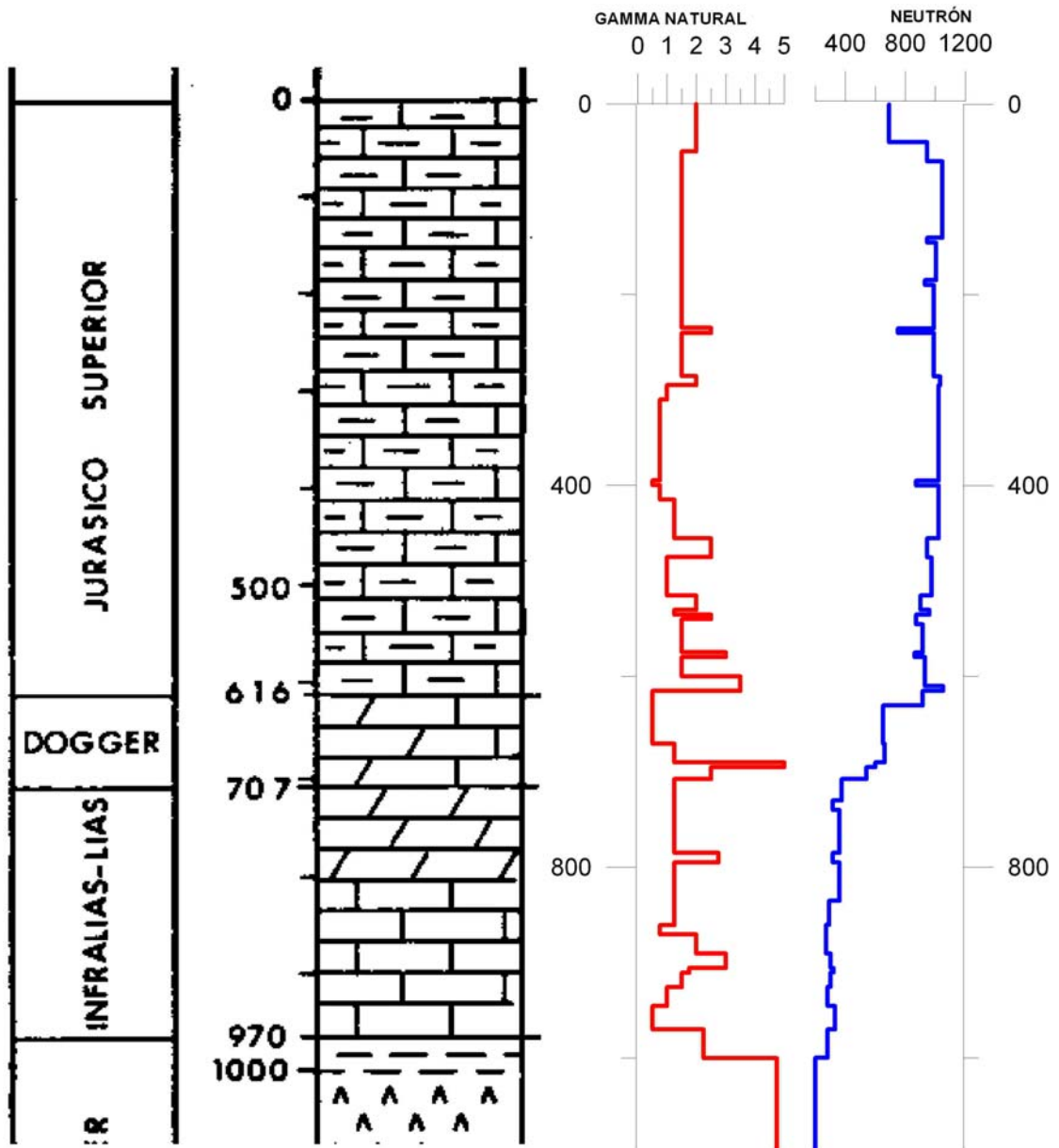


Fig. 7 Columna simplificada del Sondeo Bobalar-2 . Fichero 515_Bobalar2.jpeg



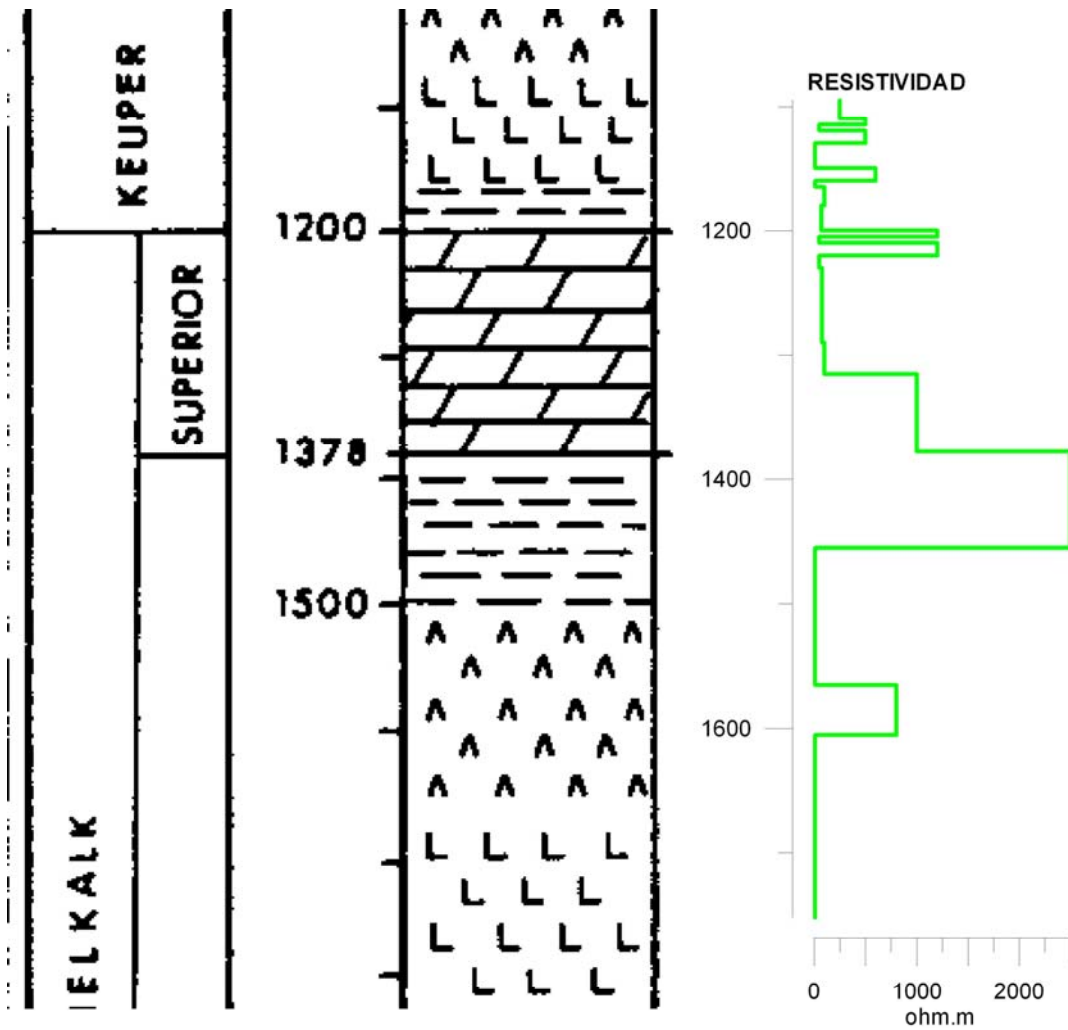
Sondeo Bobalar-2

Fig. 8 Esquema de las diagráfias gamma natural y neutrón del Sondeo Bobalar-2

En el *Infralias-Lias* la litología predominante son las dolomías y calizas. Este tramo, que presenta numerosas variaciones en cuanto a los valores del gamma natural y del neutrón, se caracteriza por una buena porosidad y la presencia de agua. Esto lo indican los bajos valores del neutrón. En cuanto a la permeabilidad es variable, ya que la proporción de arcillas también lo es, aunque su presencia a lo largo del tramo es bastante escasa.

El *Dogger* está compuesto por calizas dolomíticas. Este tramo, en general, presenta valores bastante bajos de gamma natural, lo que indica poca presencia de arcillas y una buena permeabilidad. En cuanto a los valores del neutrón indican presencia de agua y una buena porosidad en la parte inferior del tramo, aumentando ésta con la profundidad.

En el *Jurásico Superior* predominan las calizas arcillosas. En general este tramo se caracteriza por no tener presencia de agua, como indican los elevados valores del neutrón. En cuanto a la presencia de arcillas, es variable dentro del tramo pero podríamos decir que es media. Las variaciones en el neutrón están relacionadas con esta presencia de arcillas, siendo menores sus valores en las zonas más ricas en las mismas. En estas zonas la porosidad efectiva es mucho menor que en las zonas carbonatadas pobres en arcilla aunque los valores del neutrón indiquen presencia de agua, agua de constitución de las propias arcillas.



Sondeo Bobalar-2

Fig. 9 Esquema de la diagrafiya de resistividad del Sondeo Bobalar-2

En el anexo informático (CD) se incluyen los ficheros de datos simplificados y gráficos utilizados para las figuras de este apartado.

7 Testificación del sondeo San Juan (Cabanés)

En la fase de recuperación y análisis de la documentación geofísica existente sobre la zona de estudio del proyecto HIPROMA, realizada por el Área de Geofísica y Teledetección del IGME, se han localizado las testificaciones geofísicas de los sondeos profundos existentes, y que provienen de la investigación de hidrocarburos: sondeo Bobalar2 y sondeo Salsadella1. Los parámetros entonces medidos (años 1963 y 1975) fueron gamma natural y sónico en Salsadella1, y gamma natural, neutrón y resistividad en partes del Bobalar2, interesándose fundamentalmente en los tramos del Muschelkalk.

Para obtener información sobre la fracturación y permeabilidad de las formaciones calizas del Cretácico y Jurásico, que son las de interés en este Proyecto, se considera necesario, y así está contemplado en la metodología propuesta, la utilización de la testificación geofísica de parámetros más específicos para la resolución de estos temas, y que están disponibles actualmente, como son el televiwer sónico o eléctrico, el sónico de onda completa, y el eléctrico focalizado a varias penetraciones, acompañando a otros parámetros más clásicos y necesarios como son la gamma natural, temperatura y conductividad del fluido. Otros parámetros, como densidad por gamma-gamma, neutrón y resonancia magnética, ofrecen también un alto grado de interés, aunque no se dispone de los presupuestos necesarios. Se consideró así mismo conveniente la recogida selectiva de muestras de agua en varias profundidades.

Tras una revisión de los sondeos mecánicos existentes en la zona en los que poder realizar una testificación geofísica con los parámetros propuestos, se ha encontrado que no es posible disponer de sondeos sin entubar. Por esta razón, se ha considerado de interés el realizar estos ensayos de testificación en un sondeo recientemente (2003) efectuado, que ha sido puesto por FACSA (Fomento Agrícola Castellonense) a disposición del IGME. Se trata de un nuevo sondeo profundo, realizado con fines de investigación en el término municipal de Cabanés (Castellón), hoja 1/50.000 nº 593, en el límite sur del acuífero del Maestrazgo (Figura 10), y que ha atravesado las series carbonatadas cretácica y jurásica completas, llegando a los 1004 m. Este sondeo está de momento sólo entubado hasta los 308 m, por lo que reúne buenas características para proceder a su testificación geofísica inmediata. Sobre el mismo, FACSA ha facilitado el informe de descripción de los testigos mecánicos, así como el informe de la testificación ya realizada por SEDELAM, de gamma natural, conductividad y temperatura del fluido, y resistividad a varios espaciados (Figura 11), recogidos en el ANEXO II.

Esta actividad se ha realizado mediante contratación de la asistencia técnica necesaria, habiendo sido adjudicada a la empresa BORELOG, con un costo de 29.141,52 euros. Se ha testificado con imágenes por televiwer sónico (tramo 305-969 m), sónico de onda completa (266 a 969 m) y gamma natural (0 a 962.5 m). Así mismo, se han tomado cuatro muestras de agua, por la empresa Hydro Assistance, con un nuevo sistema que permite conservar la presión de origen (gases disueltos). Las profundidades del muestreo han sido los 335, 505, 715 y 940 m, seleccionadas en función de la información disponible de SEDELAM. Los trabajos se llevaron a cabo en octubre de 2005, habiéndose recibido el informe final en marzo de 2006: **“Testificación geofísica del pozo San Juan, Cabanés (Castellon), marzo 2006”**.

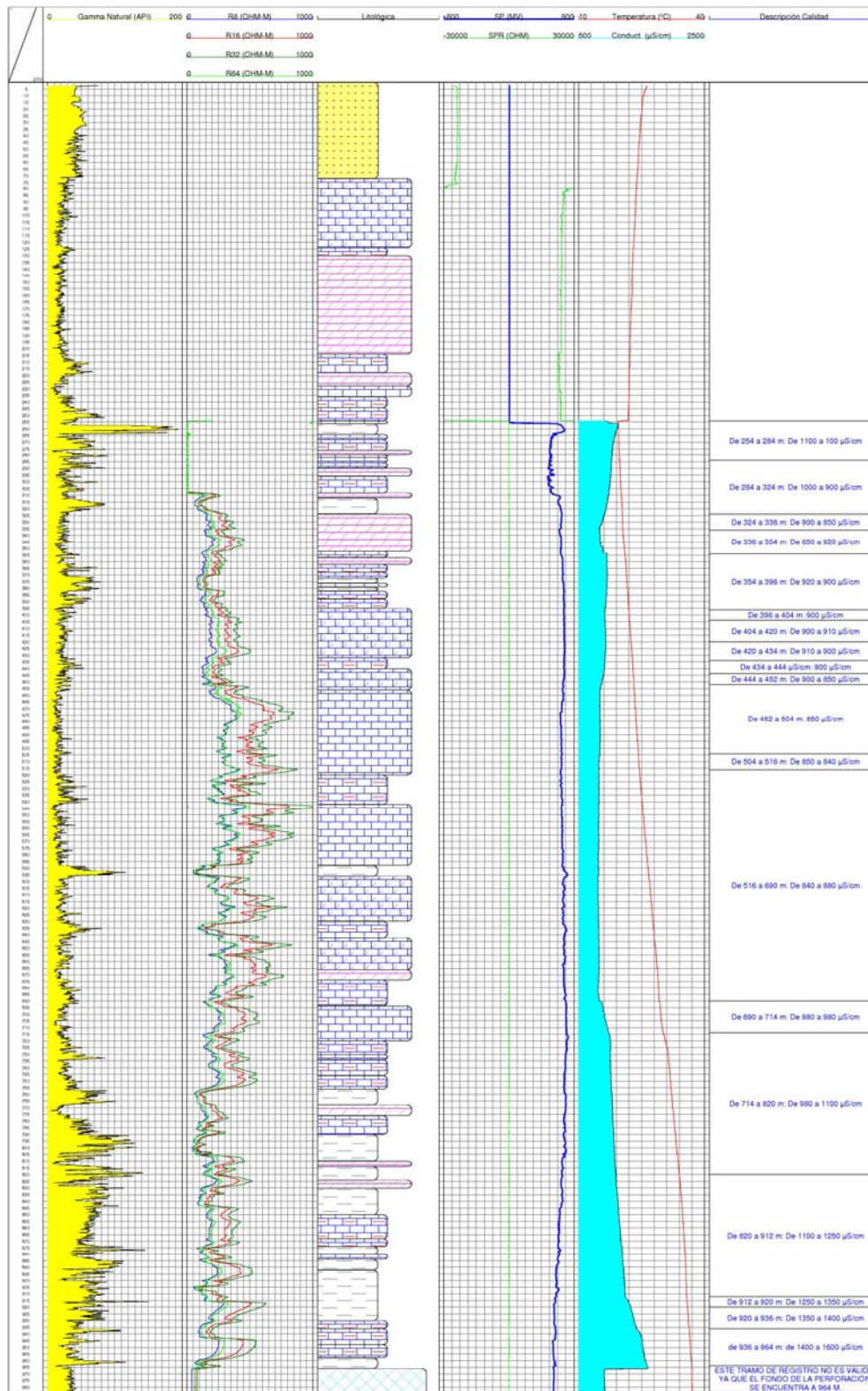


Fig. 11 Testificación gamma natural, resistividad a tres espaciados, conductividad y temperatura del fluido del sondeo San Juan (Cabanés, Castellón)

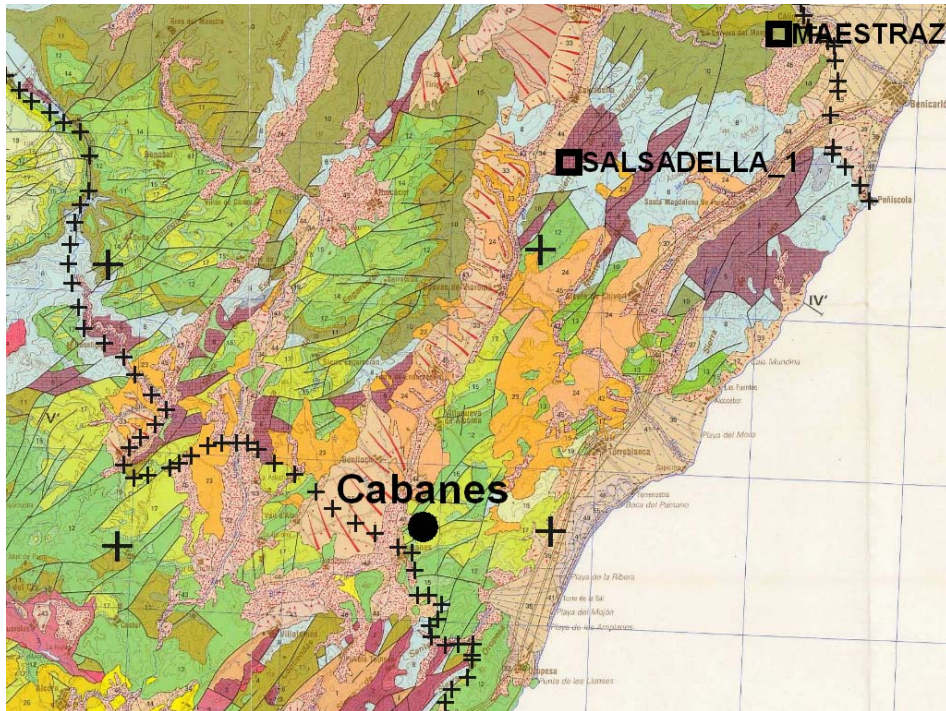
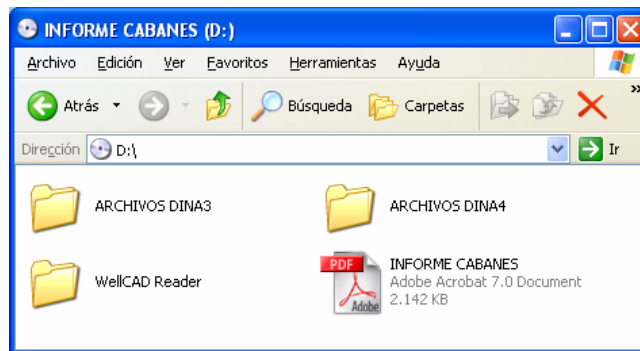
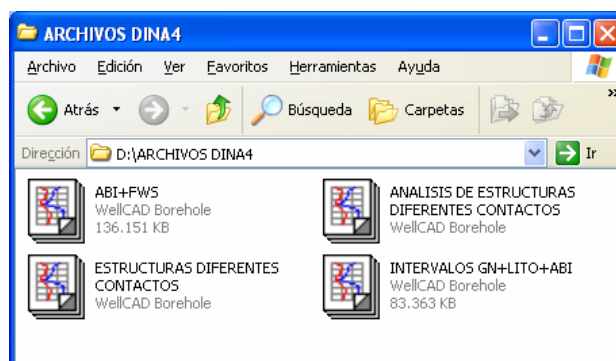


Fig. 10 Situación del Pozo San Juan o sondeo Cabanes

El informe de Borelog consta, además del texto correspondiente, de las representaciones interpretadas de las testificaciones, presentándose en dos escalas: DIN A4 y A3. Los ficheros informáticos correspondientes (DVD anexo al Informe) precisan ser leídos por la aplicación WellCAD, que también se facilita en el anexo al Informe:

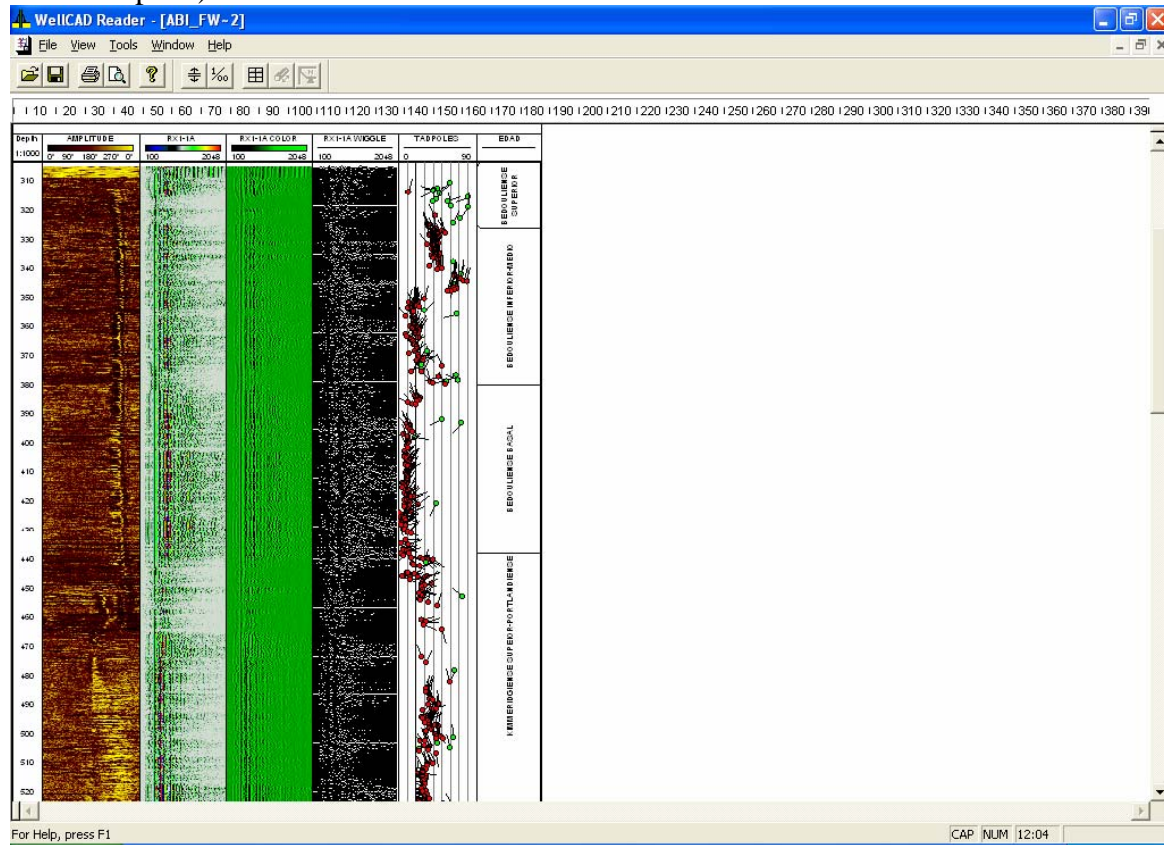


Los ficheros de resultados presentados en forma resumida (formato A4) son los siguientes:

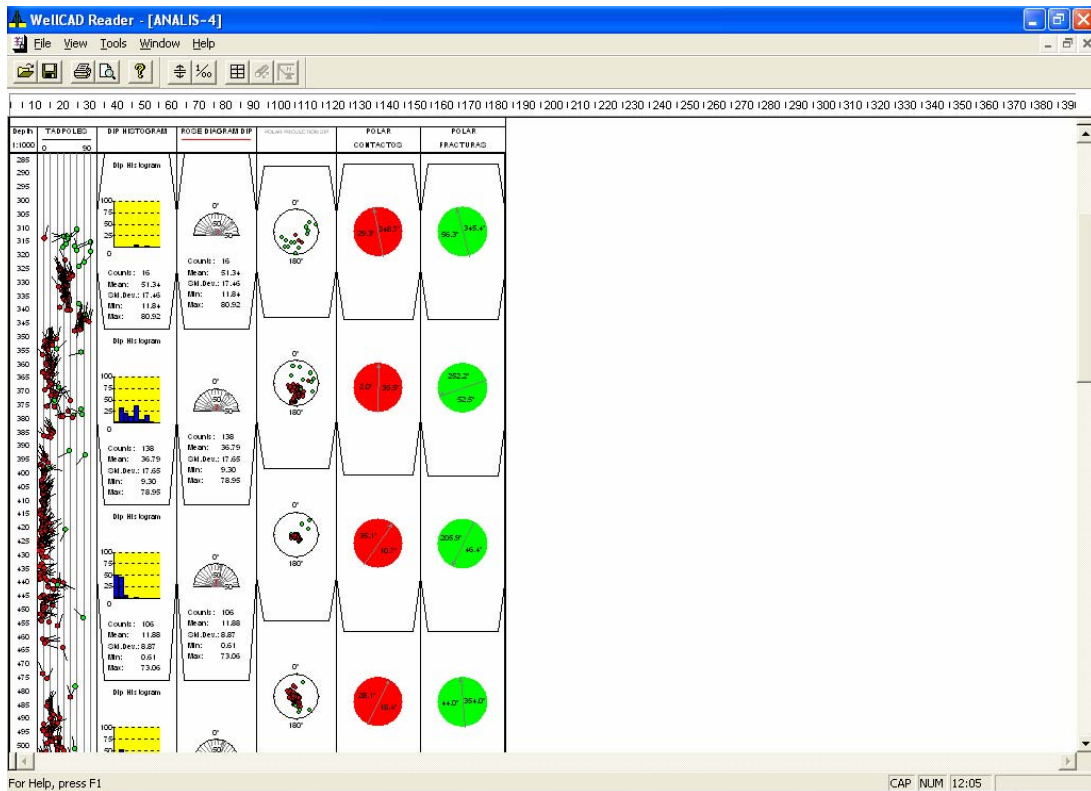


proporcionándose a continuación un ejemplo de cada tipo:

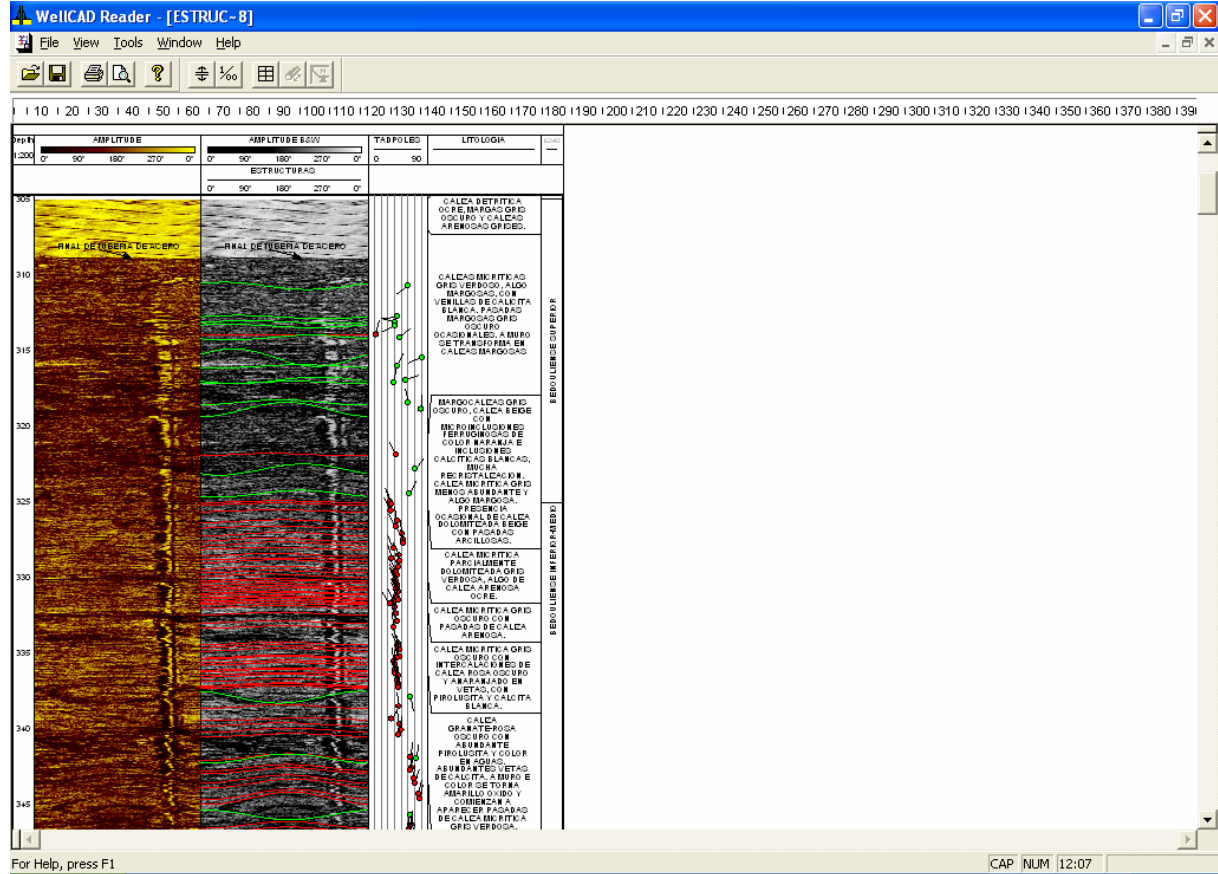
ABI+FWS: Acoustical Borehole Image (Televiewer acústico) y Full Wave Sonic (Sónico de onda completa)



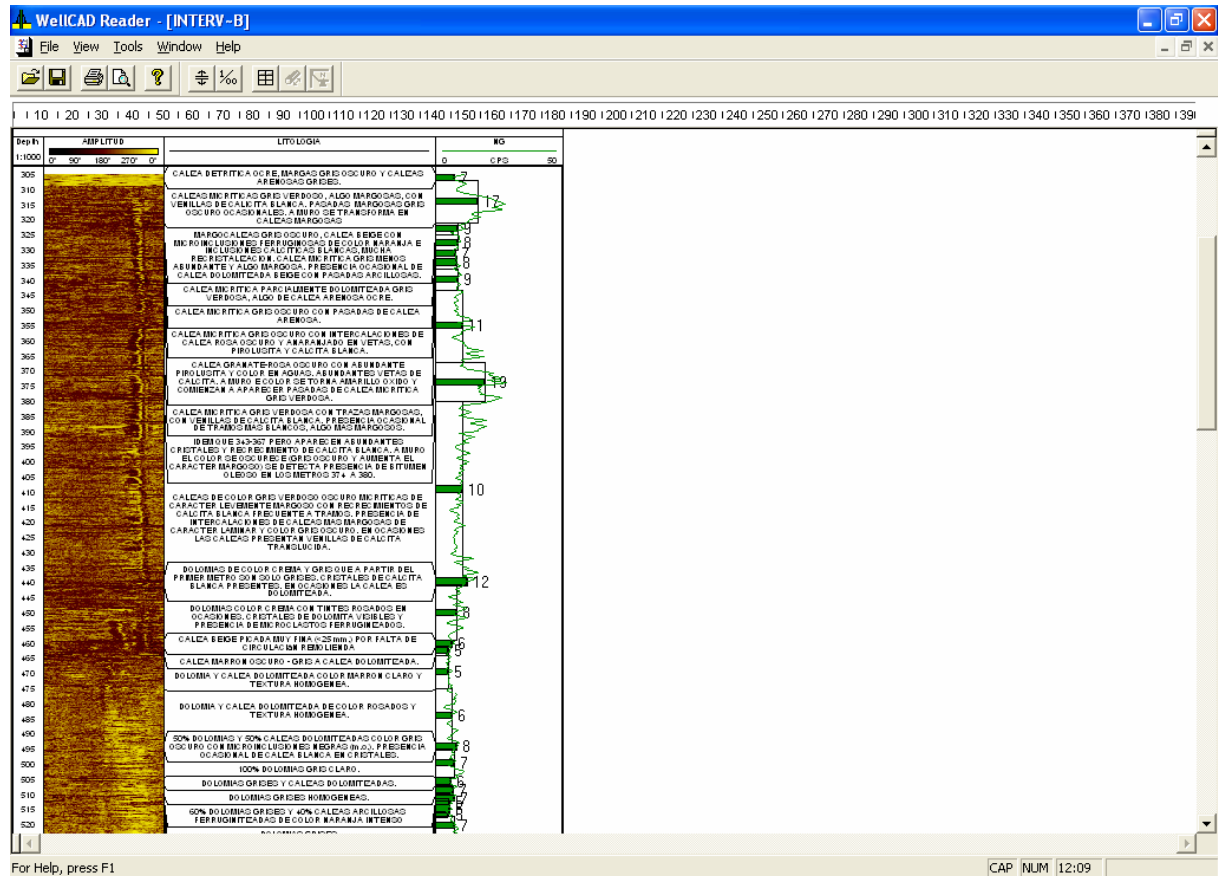
ANALISIS ESTRUCTURAS DIFERENTES CONTACTOS



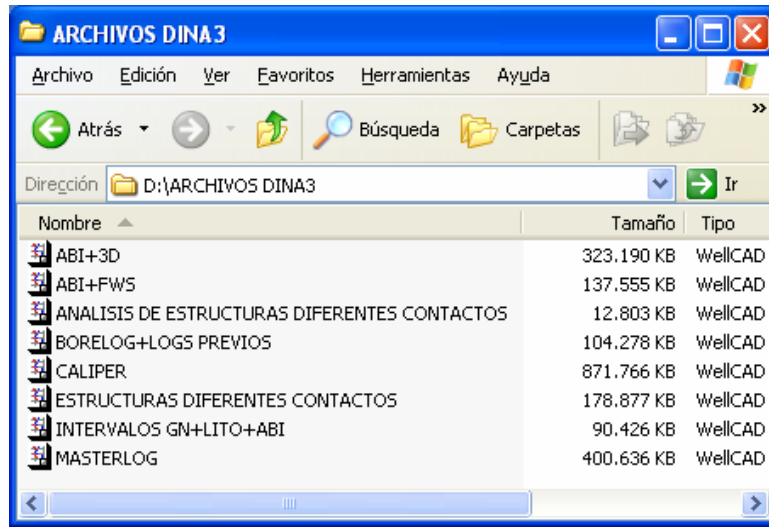
*ESTRUCTURAS DIFERENTES CONTACTOS



INTERVALOS GN+LITO+ABI

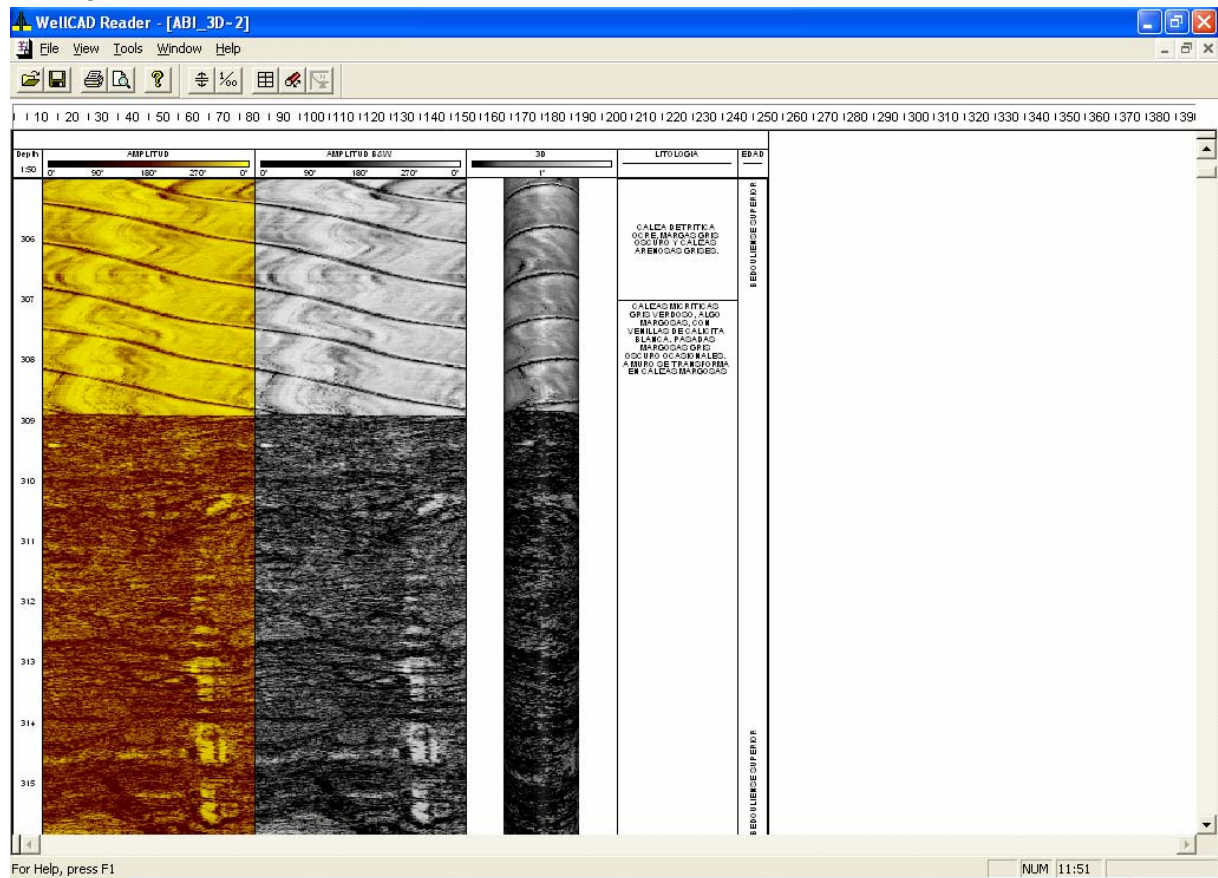


Algunos de estos mismos ficheros se proporcionan también en escala de mayor detalle, junto con otras salidas especiales:

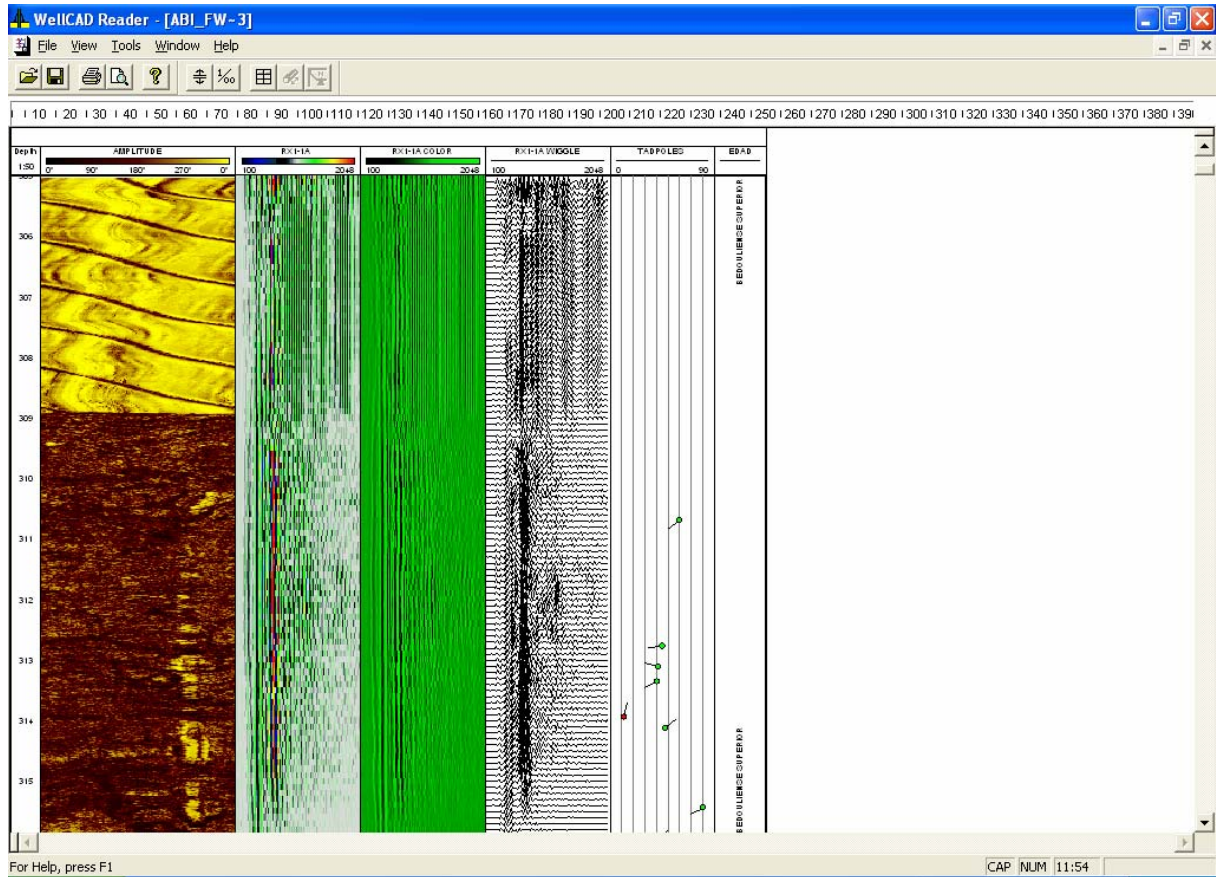


Ejemplos de los mismos son:

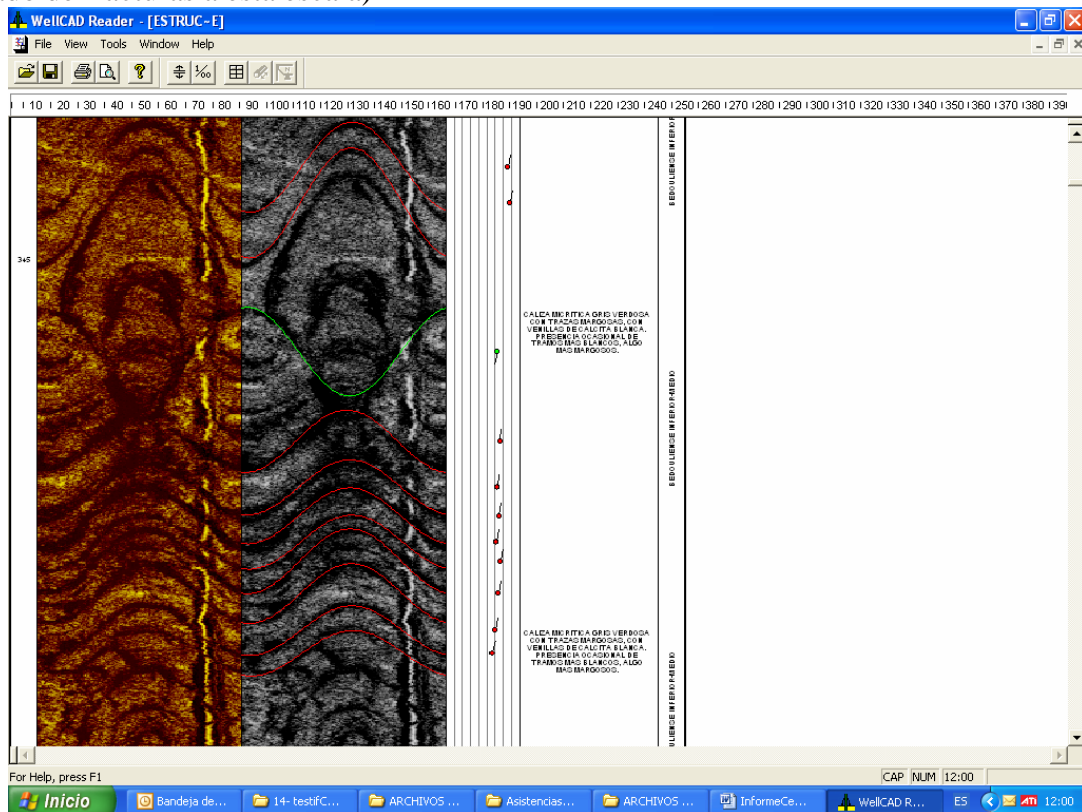
ABI+3D



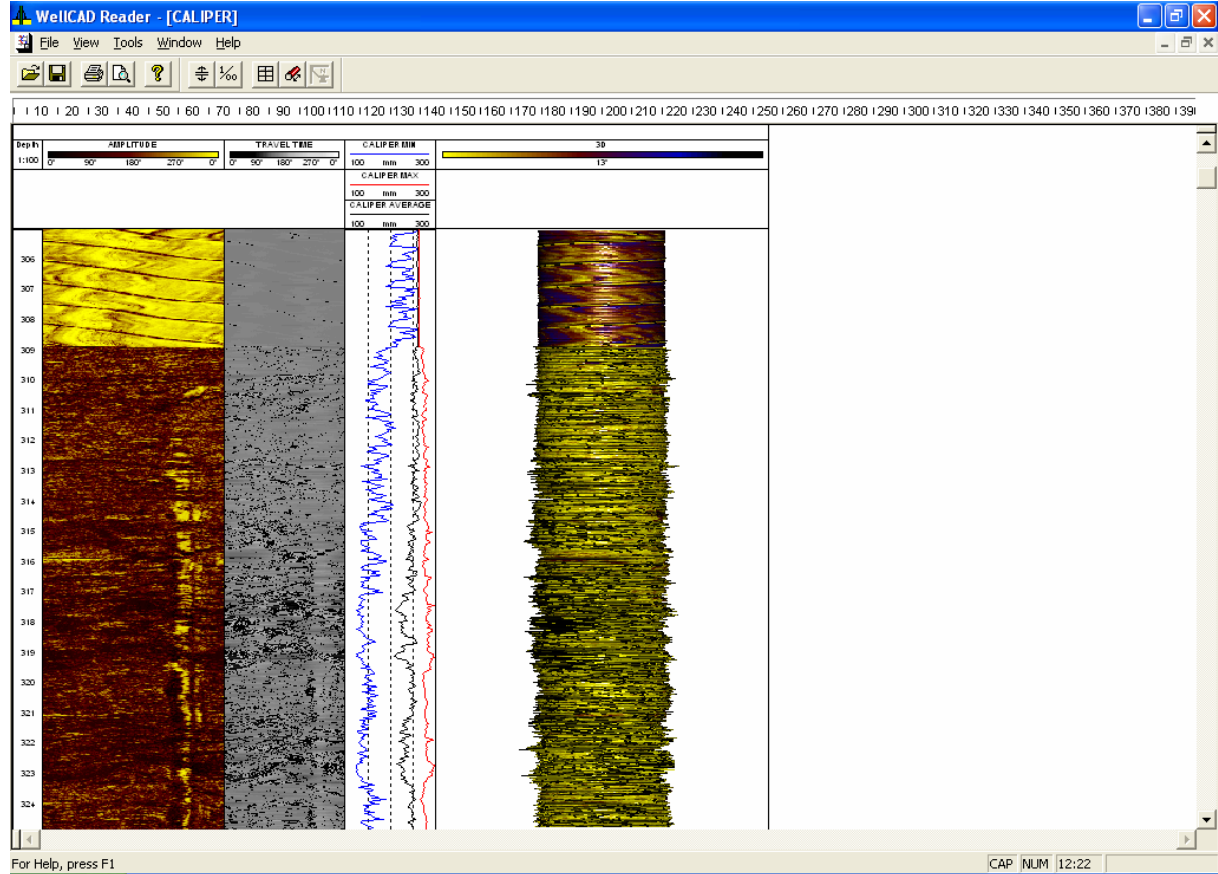
ABI+FWS



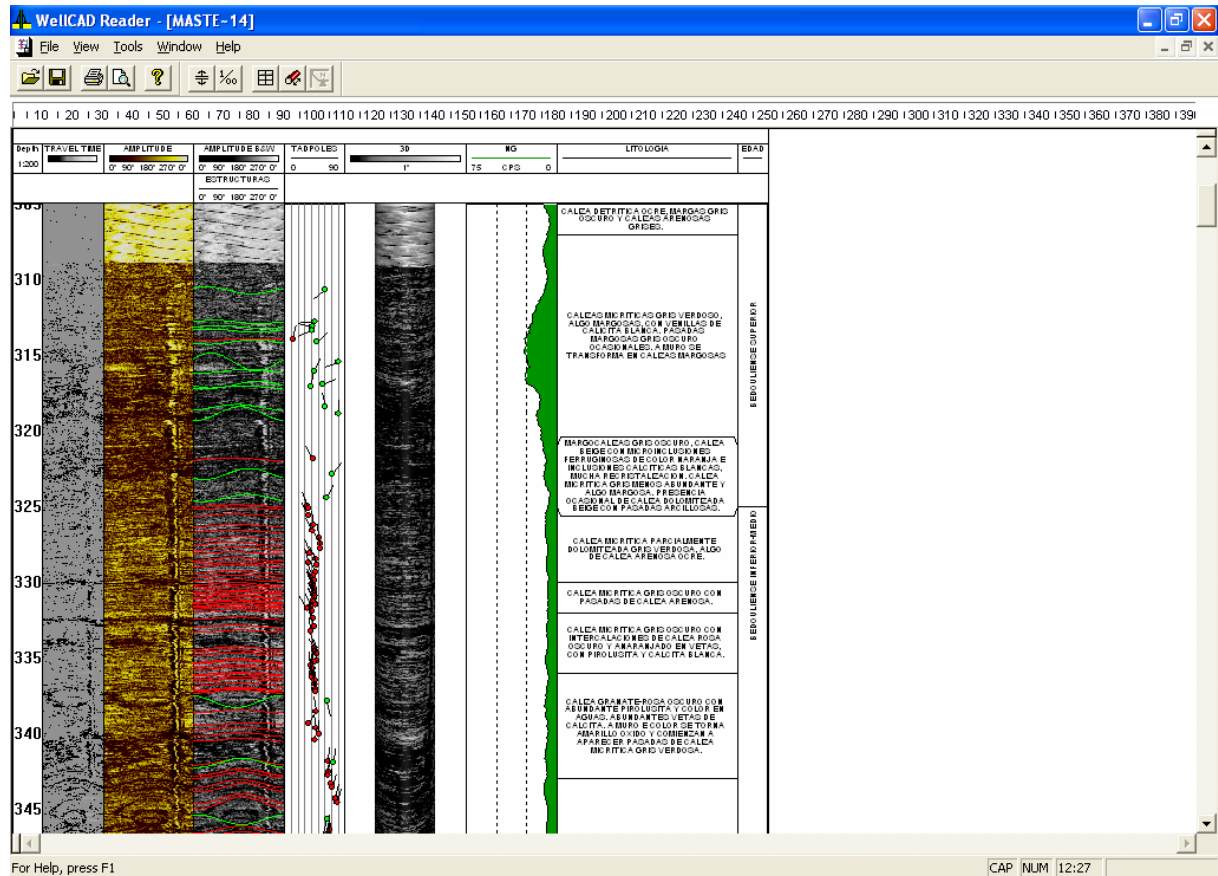
ESTRUCTURAS DIFERENTES CONTACTOS (puede apreciar la mejor visibilidad del trazado de fracturas a esta escala)



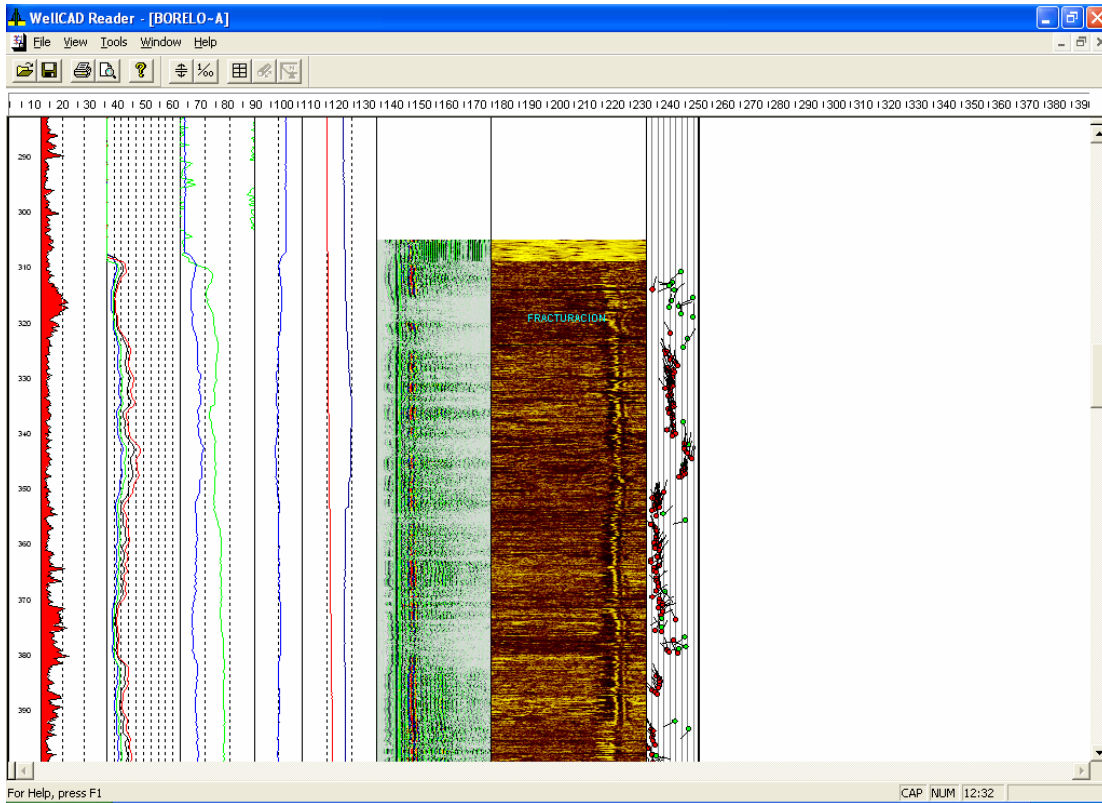
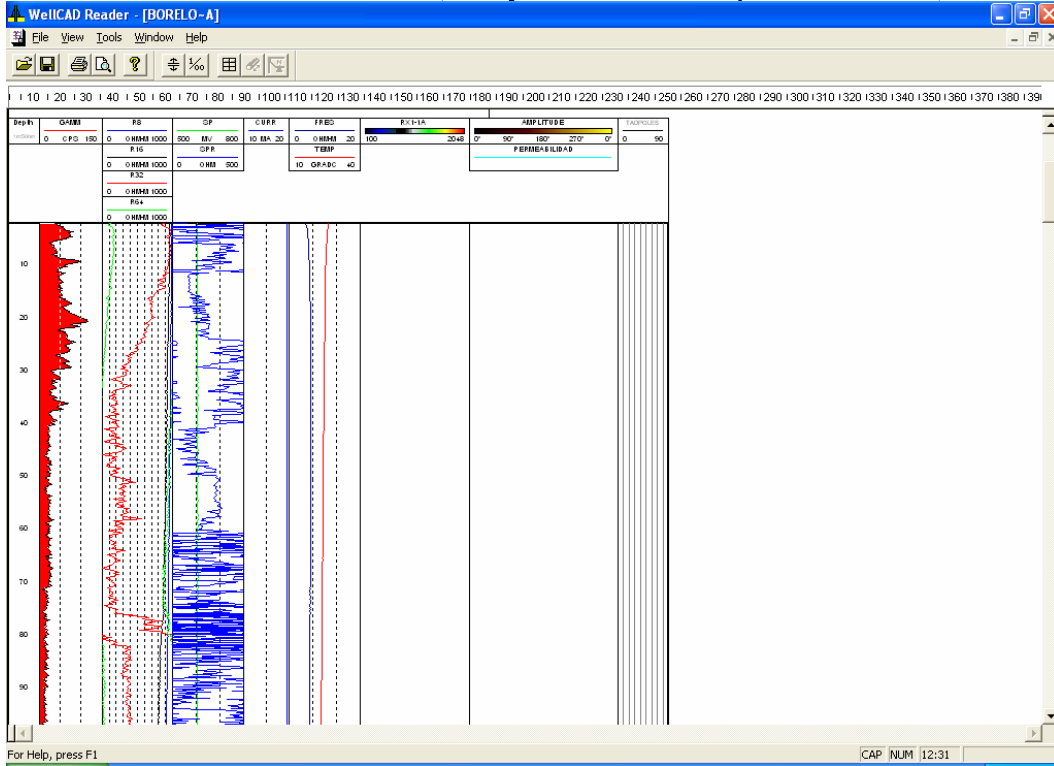
CALIPER



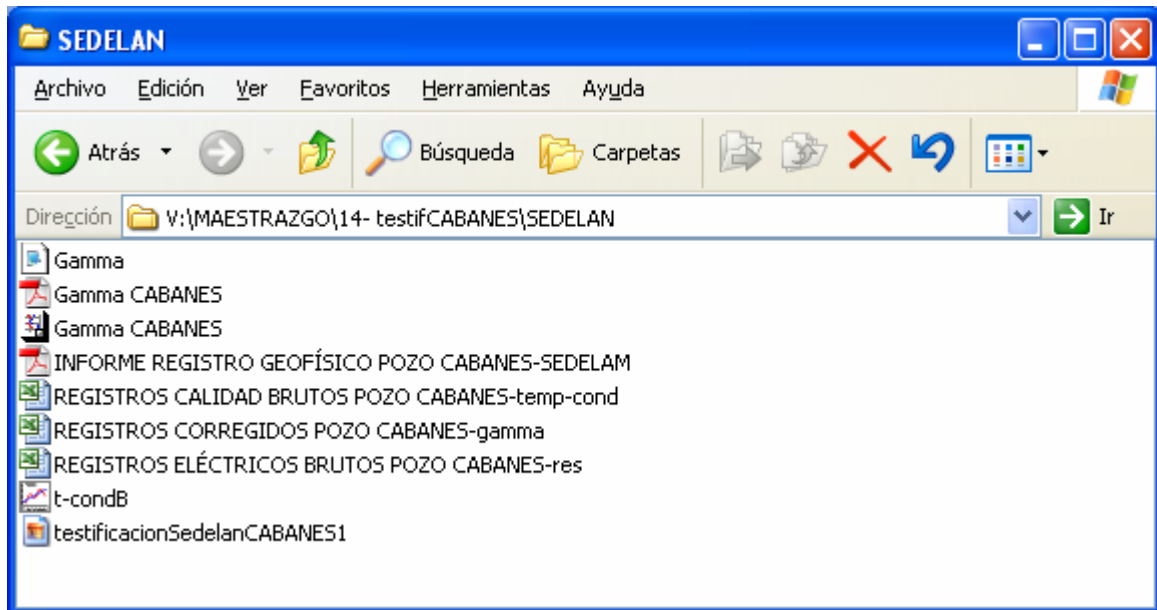
MASTERLOG



BORELOG+LOGS PREVIOS (incluye los efectuados por SEDELAM)



Del Informe presentado por la empresa SEDELAM a FACSA, también se dispone de información digital, incluidos en el Anexo Informático del presente informe:



- ficheros en formato LAS y WellCAD
- ficheros en formato xls
- Texto del informe pdf
- Salida gráfica del registro

8 Reinterpretación de secciones de sísmica de reflexión

En el Informe sobre “*Recopilación y análisis de la información Geofísica*” se puso de manifiesto que en la cuenca del Maestrazgo existe una cierta cantidad de líneas sísmicas, realizadas para las Compañías de exploración de hidrocarburos entre 1975 y 1987. El objetivo de estas campañas fue la investigación de estructuras en los niveles dolomíticos del Muschelkalk-I y III, y están distribuidas en dos áreas del Maestrazgo donde existen sondeos profundos de investigación de hidrocarburos (Figura 12): área de Mirambel - Maestrazgo2 – Bobalar 1y 2 en el Oeste, que queda en gran parte fuera de la zona de interés para el proyecto HIPROMA, y en el área de Salsadella - Maestrazgo1 en el Este, quedando pues grandes zonas sin cubrir tanto entre las ya mencionadas, como al norte y sur de las mismas, excepto las líneas efectuadas en la zona de Cuevas de Vinromá (C y V).

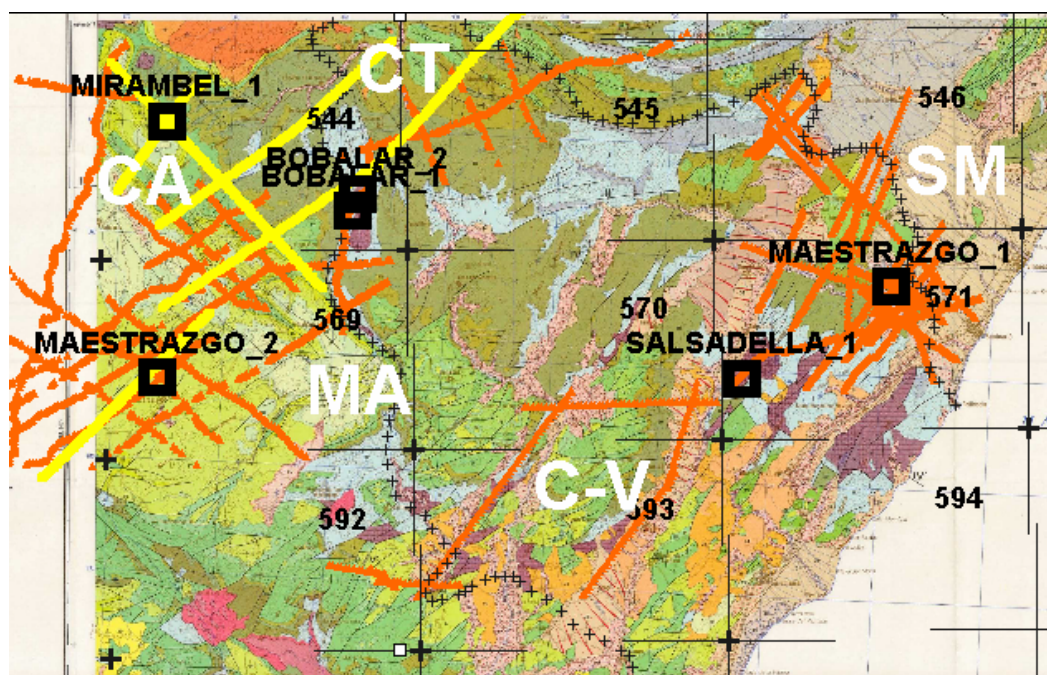


Fig. 12. Posición de líneas sísmicas existentes en SIGEOF (a mayo de 2005), con indicación de la nomenclatura de las campañas (CT,CA, MA, etc.). En color amarillo se han añadido otras líneas de la campaña CT, cuya posición aproximada se ha recuperado a partir de mapas de los Informes consultados. Se han situado además los sondeos mecánicos profundos existentes en esta zona.

No hay información disponible acerca de la interpretación que en su día pudieron hacer las compañías que adquirieron las líneas. Posteriormente, han sido empleadas en dos trabajos de geología del subsuelo:

- Estudio de formaciones favorables para almacenamiento de residuos en la región del Maestrazgo. Fase ERA. ENRESA, 1989, efectuado por INYPSA y GESSAL, con participación del IGME.
- Proyecto para la localización de estructuras para almacenamiento subterráneo de gas. Fase 1, para ENAGAS, realizado por GESSAL en 1995, también con participación del IGME.

Entre la documentación recogida y analizada se encuentran varias líneas sísmicas interpretadas (SM 7, SM 14 y SM 20, posición en Figura 13), así como mapas de isobatas de

un horizonte próximo al techo del Keuper (próximo a la base del Jurásico), que se refiere a la fase Imón, que actúa como buen marcador sísmico. Este piso puede considerarse a efectos del Proyecto HIPROMA como la base del Jurásico, por lo que se ha considerado de interés su recuperación. Sin embargo, las fases cartografiadas por los estudios sísmicos existentes correspondientes al Muschelkalk no se consideran de interés. Ambos horizontes están correlacionados en los sondeos mecánicos profundos disponibles. Información más detallada se recoge en el mencionado *Informe de la recopilación y análisis de la información geofísica en el Maestrazgo para el proyecto HIPROMA*.

Para la preparación de modelos geológicos utilizados en la interpretación de los datos de gravimetría se ha utilizado esta información ya disponible, y en concreto la línea sísmica SM-20 (Figura 13), sobre la que se ha trazado el perfil gravimétrico PG-4.

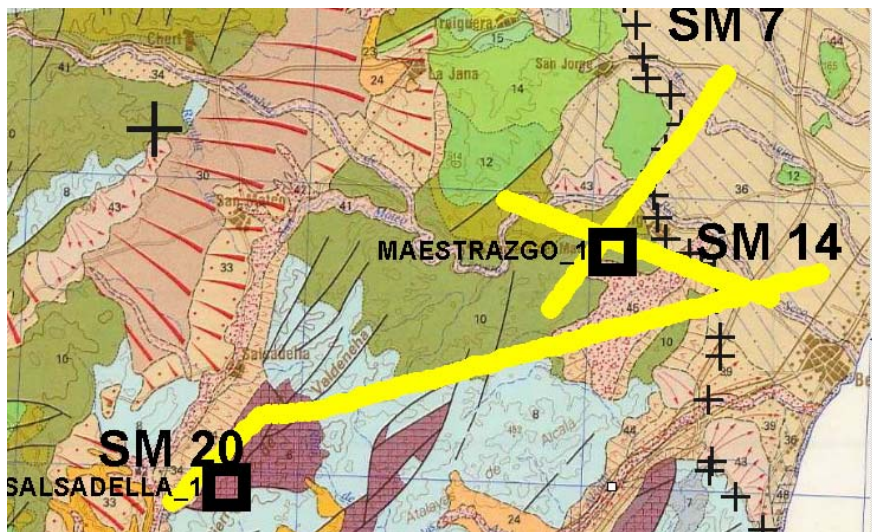


Fig. 13. Posición de líneas sísmica SM7, SM14 y SM20, de cuya interpretación se dispone, y que ha sido utilizada para la preparación de modelos en la interpretación gravimétrica efectuada.

A pesar de que la cobertura sísmica es escasa dentro del área de interés, y de que la interpretación existente fue realizada con objetivos dentro de las formaciones del Triásico, se ha considerado la posibilidad de que de las líneas sísmicas pudiera extraerse además la información referente al techo del Jurásico, pudiendo así calcular su potencia como formación acuífera. Por esta razón se ha procedido a solicitar al servicio de Hidrocarburos las líneas sísmicas complementarias a las ya disponibles para ver si su calidad permitiría trazar el techo del Jurásico. La verificación de las líneas sísmicas pedidas puede valer además para decidir sobre la conveniencia de plantearse la ejecución de nuevas líneas sísmicas.

Las líneas solicitadas son las indicadas en el siguiente cuadro, y su posición está en la Figura 14.

LINEAS SUMINISTRADAS Y ESCANEADAS						
CAMPAÑA	LÍNEA	AÑO	recibidas			
V-1/V-2	VI	1975	V1-10246	V1-18233	V1-10254	V1-18234
			Sur, picada	Sur	Norte, picada	Norte
V-1/V-2	V2 (OESTE)	1975	V2W-18231	V2W-18231		
			picada			
V-1/V-2	V2 (ESTE)	1975	V2E-10250	V2E-18230		
			picada			
V-1/V-2	V2 (CENTRO)	1975	V2C-10246	V2C-18232		
			picada			
C-1/C-3	C1 (NORTE)	1975	C1N-10235	C1N-18200	C1N-18201	C1N-18202
			C24, picada	C24	C12, lejanas	C12, proximas
C-1/C-3	C1 (SUR)	1975	C1S-10245	C1S-18203		
			picada			
C-1/C-3	C3	1975	C3-10253	C3-18235		
			picada			
SM	SM1	1975	SM1-10236	SM1-28228	SM1-10243	SM1-18205
			C24, picada	C24	C12, picada	C12
SM	SM 2 N	1975	SM2N-10252	SM2N-18225		
			picada			
SM	SM 2 S	1975	SM2S-10242	SM2S-18227		
			picada			
SM	SM 3	1975	SM3-10255	SM3-18223		
			picada			
SM	SM 4	1975	SM4-24			
SM	SM 9	1975	SM9			
SM	SM 16	1975	SM16	SM16-PROL		
SM	SM 20	1975	SM20			
CT	CT 8704	1989	CT 8704			
CT	CT 8705_1	1989	CT 8705			
CT	CT 8705_2	1989				
CT	CT 8803	1989	CT 8803			
CT	CT 8806	1989	CT 8806			
CT	CT 8810	1989	CT 8810			
CT	CT 8815	1989	CT 8815			
CT	CT 8822	1989	CT 8822			
CT	CT 8826	1989	CT 8826			
CT	CT 8829	1989	CT 8829			
CT	CT 8830	1989	CT 8830			
CT	CT 8831	1989	CT 8831			
MA	MA 4	1978/1987	NO			
MA	MA 6	1978/1987	MA6-25331 N	MA6-25334S		
MA	MA 16	1978/1987	NO			
MA	MA 19	1978/1987	MA 19			
MA	MA 20	1978/1987	MA 20			
MA	MA 21	1978/1987	MA 21			
MA	MA 22	1978/1987	NO			
MA	MA 24	1978/1987	NO			

utilidad
preferente

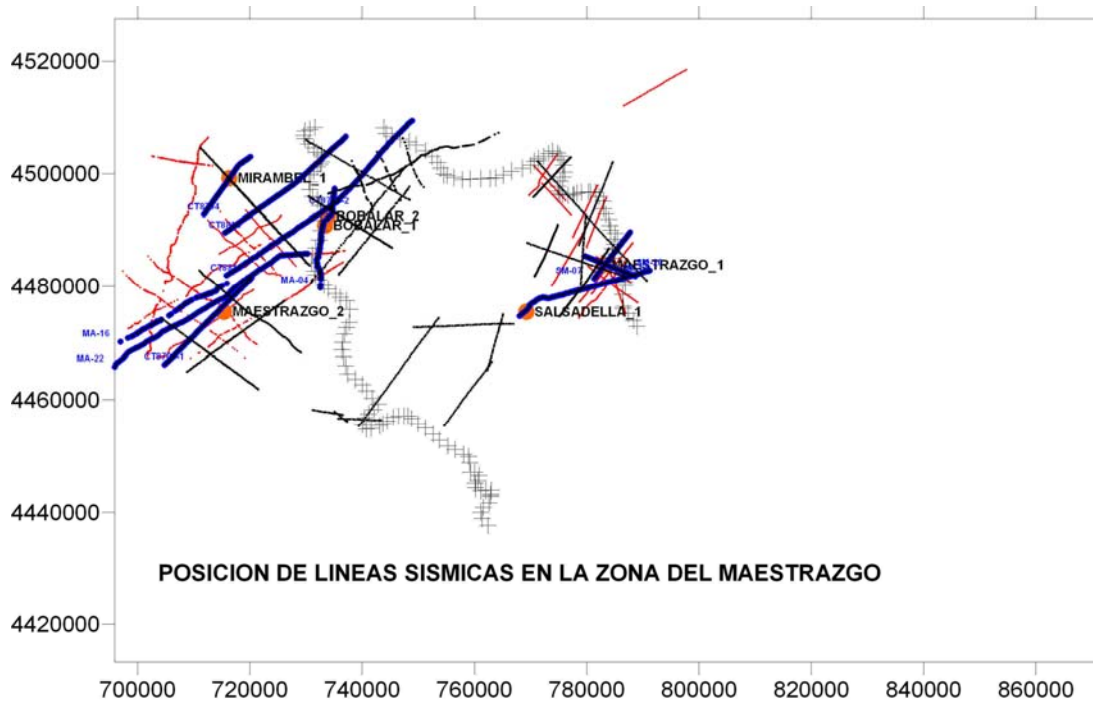
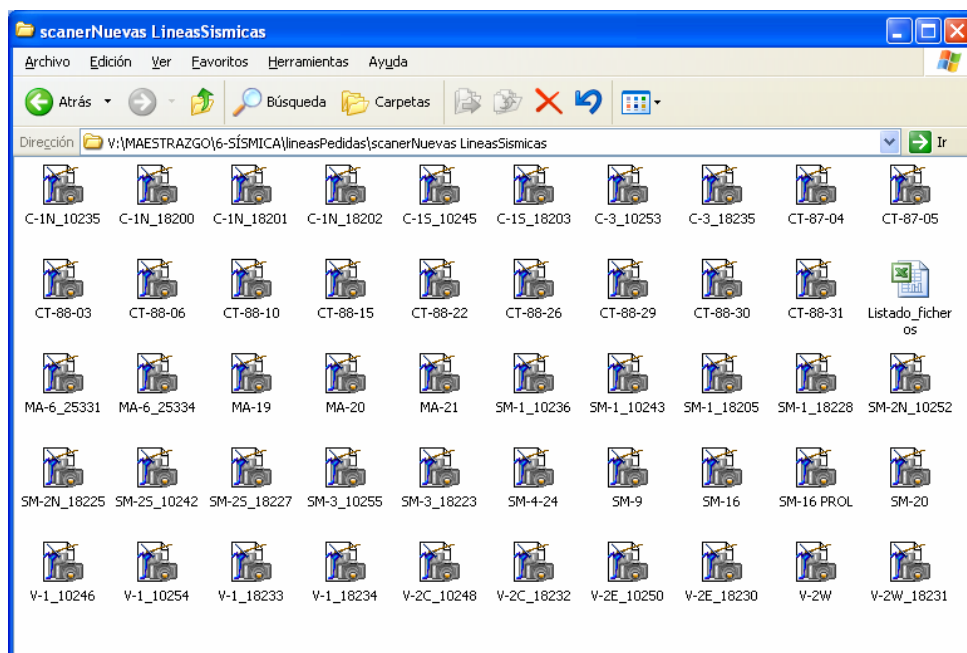


Fig. 14. Situación de líneas sísmicas: solicitadas al Servicio de Hidrocarburos (en negro); líneas de las que se dispone de alguna interpretación previa (en azul); otras líneas (en rojo).

Se dispone de estas líneas (secciones sísmicas) tanto en copia de papel a la escala original, como en formato digital escaneado, conservadas en el anexo digital del presente informe:



Analizada esta nueva información, se ha podido apreciar que la calidad de las líneas es buena fundamentalmente entorno de los sondeos Bobalar-Mirambel-Maestrazgo2, regular en la zona de Maestrazgo1-Salsadella, y muy mala en las zonas C y V. Por lo tanto, al menos en las dos primeras áreas, podría intentarse la identificación de los reflectores de las formaciones acuíferas Jurásicas y Cretácicas, determinando así su geometría: potencia, extensión, conexión y evolución lateral en las áreas cubiertas por dichas secciones sísmicas.

Por otra parte, el *Estudio previo de las testificaciones de los sondeos profundos* (capítulo 6 del presente Informe) ha puesto de manifiesto la posibilidad de hacer un uso más exhaustivo de esta información, así como de otras entorno de los sondeos mecánicos que puedan existir (datos de pruebas de producción, informes de análisis de fluidos, información de perforación, temperatura, etc.) para intentar una individualización y caracterización de los tramos acuíferos existentes en las series calizas mesozoicas atravesadas.

Ante la falta de disponibilidad de tiempo y personal para llevar a cabo estas actividades, se ha procedido a su ejecución mediante contratación de servicios de asistencia técnica con la empresa Gessal, por un importe de 26.749,60 euros. Los trabajos objeto de esta Asistencia Técnica han sido realizados desde diciembre de 2005 hasta finales de 2006, habiéndose recibido el Informe **“Interpretación de perfiles sísmicos y sondeos profundos de hidrocarburos”**, tras la fase de correcciones, en marzo de 2007. Las tareas efectuadas han consistido en las siguientes:

Recopilación y valoración de la información existente

Se ha revisado la totalidad de la información existente procedente de la exploración de hidrocarburos y de otros trabajos de investigación del subsuelo (almacenamiento inducido de gas - ENAGAS). Esta información se encuentra en distintos fondos documentales (IGME, Servicio de Hidrocarburos del MINISTERIO INDUSTRIA COMERCIO Y TURISMO, REPSOL EXPLORACIÓN S.A. y GESSAL). Existen seis sondeos de exploración de hidrocarburos en el área y periferia: Maestrazgo-1 (1984 m), Salsadella-1 (1073 m), Bobalar-1 (1860 m), Bobalar-2 (2592 m), Maestrazgo-2 (2861 m) y Mirambel-1 (2811 m), así como más de 50 perfiles sísmicos. Una vez valorada la calidad, interés y aplicación de dicha documentación, se ha procedido a su recopilación según los fines establecidos y reprografiado de:

- Informes finales de los sondeos.
- Diagrafías fundamentales y columna litológica de dichos sondeos.
- Perfiles sísmicos

Estudio de la información de sondeos En el Informe se recoge la reinterpretación efectuada en términos hidrogeológicos de los sondeos Maestrazgo-1, Salsadella-1, Bobalar-1 y Bobalar-2, haciendo uso de las testificaciones y toda la información sobre la ejecución de los sondeos. Ha tenido por objeto la interpretación detallada y puntual de los datos de los sondeos existentes a partir de sus informes finales, diagrafías geofísicas, pruebas de producción, salinidades, presiones, etc., delimitando las distintas formaciones, así como efectuando una estimación genérica de sus características hidrogeológicas. Se han utilizado programas informáticos específicos de interpretación petrofísica de diagrafías (GEOGRAPHIX y/o PEP PETROSYS), para lo que se ha procedido a la digitalización de las mismas. Así mismo, se han revisado las pruebas de producción realizadas, para la evaluación de las formaciones que pudieran considerarse como acuífero, los datos de análisis químicos, de naturaleza y composición del agua, así como la medida de presiones, permeabilidades y evolución de caudales y tiempo de recuperación o recarga. En función del tipo de información que posean estos sondeos, se han analizado los siguientes aspectos:

- Síntesis estratigráfica de las series atravesadas.
- Reconocimiento de las formaciones acuífero.
- Cuantificación (relativa) de porosidad y permeabilidad.

- Caracterización de la naturaleza, salinidad y presión de las aguas de formación

Las actividades desarrolladas han consistido en:

- Interpretación litológica y representación de la columna estratigráfica y diagráfias, a escala 1:2.500 en formato DIN-A3 por sondeo.
- Estudios e integración de pruebas de producción, así como ensayos de formación.
- Correlación de sondeos y de éstos con columnas estratigráficas levantadas en superficie.
- Calados y transformaciones profundidad/tiempo para la interpretación sísmica.

Para la interpretación y la edición gráfica final, se han digitalizado (transformación a formato LAS) aquellas diagráfias que se han considerado de interés para el proyecto.

Por otra parte, la testificación geofísica ha permitido el “calado” de los sondeos (datos en función de la profundidad) sobre los perfiles sísmicos (datos en función del tiempo), para el seguimiento regional de las formaciones acuífero y el posterior cálculo de los mapas de profundidades (isobatas) a partir de los mapas resultantes de la interpretación sísmica en isócronas. La correlación o evolución de estos datos podría hacerse extensible o extrapolarse regionalmente mediante la interpretación sísmica, para caracterizar el modelo hidrogeológico regional o local.

Estudio de la información sísmica

El estudio de los perfiles sísmicos disponibles tiene como objetivo la delimitación geométrica (profundidad, espesor y extensión lateral) de las formaciones estratigráficas e hidrogeológicas identificadas en el análisis de los sondeos. Se han utilizado los perfiles sísmicos existentes, adquiridos para la exploración de hidrocarburos y actualmente de carácter público, de las campañas V (CAMPSA 1975), CA (AUXINI 1973), C (CAMPSA 1975), SM (CAMPSA 1975), MA (CAMPSA-SHELL 1979), CT 87(SHELL 1987), y CT 88(SHELL 1988), utilizando fundamentalmente las líneas situadas dentro del acuífero del Maestrazgo.

Se han llevado a cabo las siguientes actividades:

- Calado de sondeos a partir de la elaboración de gráficos tiempo/profundidad o de sismogramas sintéticos, para la identificación de los horizontes sísmicos representativos y en relación con los acuíferos de interés; estos horizontes corresponden fundamentalmente a los reflectores del techo y de la base del Jurásico.
- Interpretación estructural de subsuelo. Identificación de los diferentes dominios tectoestratigráficos. La interpretación conlleva la definición de más horizontes estratigráficos que los anteriormente descritos, de manera que se dispone de suficiente control estructural y lito-estratigráfico de las distintas series y formaciones de estudio
- Cartografía de horizontes. Elaboración de mapas de isócronas. Transformación tiempo-profundidad y elaboración de mapas de isobatas.
- Selección e interpretación de secciones sísmicas representativas que ilustren convenientemente los rasgos geológicos en la zona de estudio.

A partir de estos estudios se han generado los siguientes mapas:

- Mapas de isobatas del techo de Trías en las zonas de líneas sísmicas
- Mapas de isobatas de todo el acuífero, mediante extrapolación del anterior y teniendo en cuenta criterios de geología de superficie.

Las líneas sísmicas utilizadas han sido (Figura 16): CT-87-05, CT-88-27, CT-88-29, CT-88-31, SM-1, SM-2N, SM-2S, SM-3, SM-12 y SM-14, construyéndose un nuevo mapa de isócronas del techo del Triásico para cada zona, que posteriormente se ha convertido en un mapa de isobatas para el conjunto, intercalando información adicional intermedia por criterios de geología sin apoyo geofísico. En estas secciones se ha identificado además horizontes intra-Cretácicos e intra-Jurásicos: los denominados H5, H4 y H3 del esquema estratigráfico reproducido en la Figura 15:

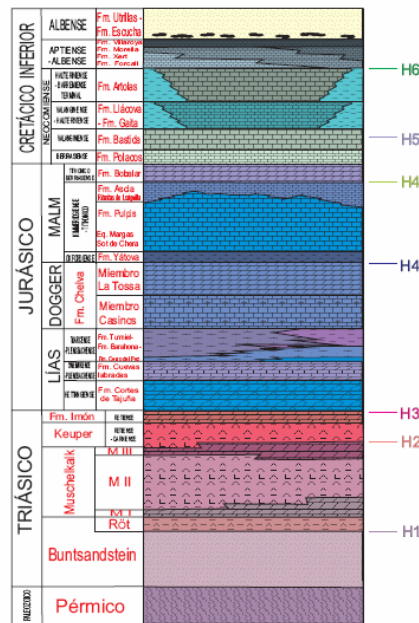
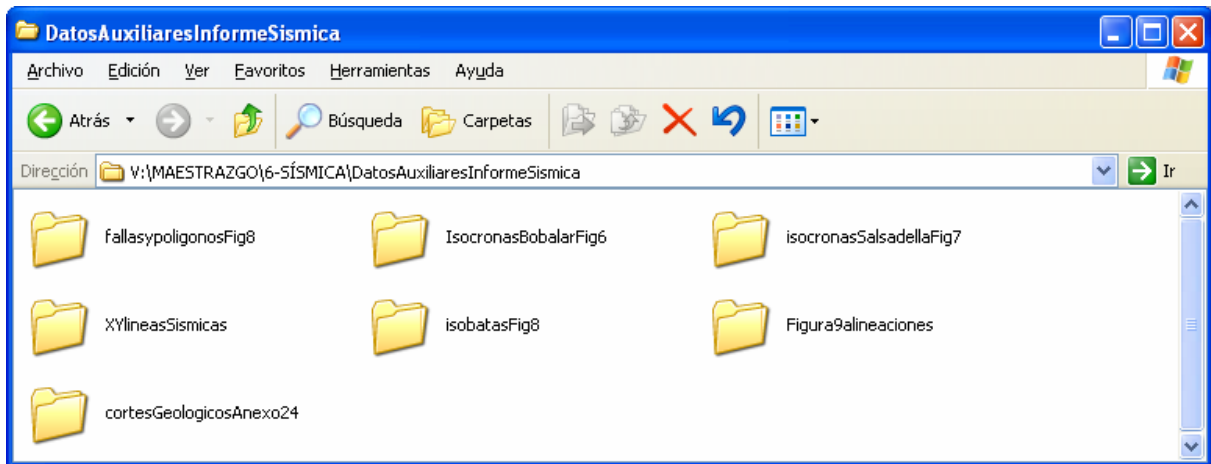


Fig. 15 Columna estratigráfica presentada en el Informe de interpretación de las líneas sísmicas


Se presentan además tres cortes geológicos de síntesis, cuya situación se indica en la Figura 16.



- la carpeta XYlineasSismicas contiene los ficheros xls con las coordenadas UTM 30 y 31 de las líneas sísmicas recopiladas y utilizadas
- la carpeta cortesGeologicosAnexo24 contiene las imágenes, en formato pdf, de cada corte del Anexo 24, por separado.
- Las restantes carpetas contiene los ficheros txt o xls de las isolíneas de las figuras 6 a 9, dadas por valores X,Y UTM31

Estos datos permiten la superposición de la información adquirida a través de la interpretación de las líneas sísmicas a otro tipo de documentación.

- Por otra parte, se dispone de los documentos originales de partida:
 - carpeta **FICHAS Testificacion Hidrocarburos**: contiene las fichas donde se recoge la información existente sobre los sondeos Bobalar-1, Bobalar-2, Maestrazgo-1 y Salsadella-1. En ellas se indican los diferentes tramos con testificación geofísica, la existencia de datos auxiliares de perforación, informes sobre testigos de roca, etc. Un ejemplo de este tipo de fichas es el siguiente:



MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO
DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA Y MINAS
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE HIDROCARBUROS

Listado de Sondeos (completo)

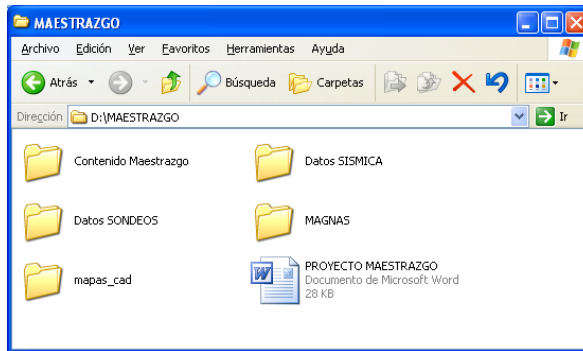
Criterios de Selección: Sondeo = 'MAESTRAZGO-1' E Información Confidencial/No Confidencial

Nº II	Nombre del sondeo:	Operadora:	Permiso:	Fecha de inicio:	Conf:			
377	MAESTRAZGO-1	20 CAMPSA	SAN MATEO	10/04/1977	0			
Diagrafia								
Nº II	Título	Longitud	Escala 1	Escala 2	Sop:	Nº Registro	Techo	Muro
377	BHCS-GR	500			R	8327	0	205
377	CASING COLLAR AND PERFORATING	200			R	8337		
377	HDT	200			R	8336	2474	2902
377	HDT	200			R	8335	205	1625
377	FDC-CNL	200			R	8334	2474	2908
377	FDC-CNL	200			R	8333	1784	2483
377	FDC-CNL	200			R	8332	350	1624
377	FDC-CNL	200			R	8331	204	409
377	FDC-CNL	500			R	8330	2474	2908
377	FDC-CNL	500			R	8329	1784	2483
377	DLL-MSFL	200			R	8312	204	409
377	CBL	200			R	8311	1600	2474
377	CBL	200			R	8310	498	615
377	CBL	200			R	8309	218	1784
377	CBL	200			R	8308	14	204
377	CBL	500			R	8307	14	204
377	BHCS	200			R	8306	2474	2900
377	BHCS	200			R	8305	1784	2479
377	MLL-ML	500			R	8320	350	1624
377	MLL-ML	500			R	8319	204	409

28-sep-05 10:17:25
Página 1 de 4

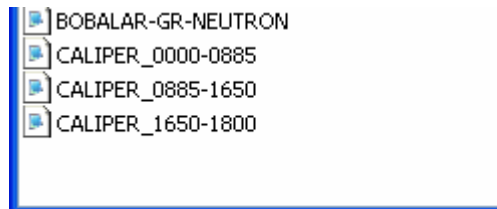
PAISES DE LA CASTELLANA 160
28071 MADRID, España
TEL. 91 582 2410
FAX 91 457 00 88463 20

- Carpeta **EscanerSondeosyLineas.las testf.Magnas:**

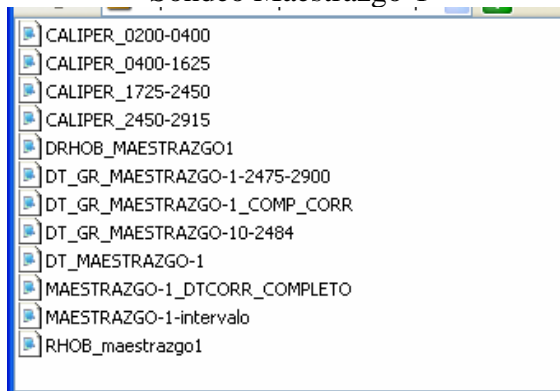


- **Datos SONDEOS:** De cada sondeo se dispone de las testificaciones en formato papel scaneado, en formato tiff; las más importantes están digitalizadas, contando con el correspondiente fichero en formato LAS. Estas testificaciones se efectuaron por tramos, por lo que existen varios ficheros para cada una de ellas, lo que complica un poco su seguimiento. Los Anexos 25 a 28 del Informe de sismica son unos esquemas donde se clarifica la información de cada uno de los tramos disponibles y los ficheros tiff y LAS correspondientes, que también se incluye en las tablas del Anexo III del presente informe.

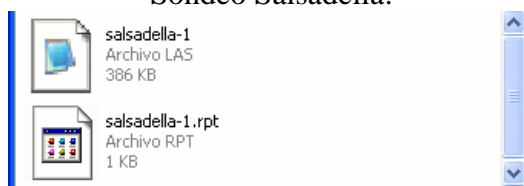
Los ficheros LAS son los siguientes: Sondeo Bobalar:



Sondeo Maestrazgo-1



Sondeo Salsadella:



- Datos SISMICA: Se dispone de imágenes escaneadas de todas las secciones sísmicas utilizadas:

**SÍSMICA PROYECTO MAESTRAZGO-IGME 2006
(EN IMAGEN .TIFF)**

CAMPAÑA	NOMBRE LÍNEA	SP INICIAL	SP FINAL	Nº SECCIONES	ESCALAS	TIPO DE PROCESADO
C	C1N	24	154	1	1:10	Stack Tr Lejanas
	C1N	24	154	1	1:10	Stack Tr Cercamas
	C1N	24	154	1	1:10	Stack interpretad
	C1N	24	154	1	1:10	Stack
	C-01S	155	333	1	1:10	Stack
	C1-01S	155	333	1	1:10	Stack interpretad
	C-03	25	245	1	1:10	Stack
	C-03	25	245	1	1:10	Stack interpretad
V	V1	25	321	2	1:10	Stack
	V1	25	321	2	1:10	Stack intpretad
	V2C	168	204	1	1:10	Stack
	V2C	168	204	1	1:10	Stack intpretad
	V2E	24	112	1	1:10	Stack
	V2E	24	112	1	1:10	Stack intpretad
	V2W	252	320	1	1:10	Stack
	V2W	252	320	1	1:10	Stack interpretad
SM	SM-01	25-343		2	1:10, 1:5	Stack
	SM-02-24	125-322		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-02N	24-78		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-02N	24-78		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-02S	24-134		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-02S	24-134		1	1:10, 1:5	Stack interpretad
	SM-03	24-200		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-03	24-200		1	1:10, 1:5	Stack interpretad
	SM-05	131-330		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-06	126-335		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-07	128-286		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-08	126-325		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-09	25		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-10	126-302		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-11	126-295		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-12	126-359		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-13	129-374		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-14	126-321		1	1:10, 1:5	Stack
SM-15	138-338		1	1:10, 1:5	Stack	
SM-16	126-251		1	1:10, 1:5	Stack	
SM-16PROL	923-1123		1	1:10, 1:5	Stack	
SM-17	121-251		1	1:10, 1:5	Stack	
SM-17PROL	253-422		1	1:10, 1:5	Stack	
SM-18	125-239		1	1:10, 1:5	Stack	
SM-18PROL	1123-1012		1	1:10, 1:5	Stack	

	SM-19	125-263		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-20	125-705		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-21	121-349		1	1:10, 1:5	Stack
MA	MA-06	125	649	2	1:5	Stack
	MA-12	125	247	1	1:5	Stack
	MA-13	125	495	1	1:5	Stack
	MA-14	125	459	1	1:5	Stack
	MA-15	125	287	1	1:5	Stack
	MA-19	125	235	1	1:5	Stack
	MA-20	126	235	1	1:5	Stack
	MA-21	125	235	1	1:5	Stack
	MA-29	125	231	1	1:5	Stack
CT-87	CT-87-01	1096	2617	1	1:10	MIGRATED
	CT-87-02	1111	1936	1	1:10	MIGRATED
	CT-87-03	1141	2931	1	1:10	MIGRATED
	CT-87-04	1095	3852	1	1:10	MIGRATED
	CT-87-05	1097	2605	1	1:10	STACK
CT-88	CT-88-01	1096	1457	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-02X	1096	1478	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-03	1096	1798	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-05	1208	1794	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-06	1096	1834	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-10	1096	1914	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-11	1096	1822	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-12	1096	2270	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-13	1096	1484	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-14	1096	1874	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-15	1096	2064	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-16	1096	1623	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-17	1096	1727	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-18	1096	1574	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-19	1096	1580	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-20	1111	1797	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-21	1096	1335	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-22	1096	2094	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-23	1096	2090	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-24	1096	1706	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-25	1096	1826	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-26	1096	1628	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-27	1096	1864	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-28	1096	1916	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-29	1096	1800	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-30	1096	1731	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-31	1096	2005	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-32	1096	1671	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-33	1096	1578	1	1:10	MIGRATED

Estas secciones complementan (y en algún caso duplican) las recogidas en la fase previa y referidas en la Figura 14.

- **Mapas_cad:** Mapas en AutoCAD de la cuenca del Maestrazgo, con posicionamiento de todas las líneas sísmicas.

- **MAGNAS:** Imágenes en formato jpeg de las hojas geológicas MAGNA 1/50.000 518,519,520,521,543,544,545,546,568,569,570,571,591,592,593 y 594.

9 Campañas de prospección magnetotelúrica

Tras la fase de recuperación y análisis de la documentación geofísica existente sobre la zona de estudio, se ha puesto de manifiesto la existencia de dos tipos de situaciones: áreas donde no existe información del subsuelo, y áreas donde la información disponible no es suficiente para abordar los objetivos del proyecto o donde se plantean problemas hidrogeológicos especiales.

Para obtener información sobre estas zonas, y dada la naturaleza de los temas a investigar, en la programación de los trabajos (Capítulo 3 “Planificación de las actividades a desarrollar”, de este Informe), se consideró necesario la utilización de métodos geoelectricos de gran penetración, en especial el método magnetotelúrico, con el objetivo de evaluar la posibilidad de cartografiar las formaciones jurásicas, así como la profundidad de su contacto con el sustrato impermeable del acuífero (Triásico Superior). Se pretende también evaluar la posible diferenciación entre materiales cretácicos y jurásicos cuando la presencia de agua de lugar a variaciones en la resistividad eléctrica de las rocas.

Antes de abordar la extensión del acuífero en su totalidad, se ha programado la ejecución de unos trabajos previos que permitan delimitar las posibilidades reales que en este entorno ofrece el método propuesto. Además, debido a la gran extensión geográfica del acuífero, así como su accidentada orografía y dificultad de accesos, ha sido necesario proceder a la parcelación de los ensayos requeridos, habiéndose en primer lugar identificado las zonas preferentes en función de la falta de disponibilidad de otra información geofísica, así como la existencia de problemas hidrogeológicos concretos (Figura 17) y la posibilidad de apoyo en sondeos profundos (Maestrazgo-1, Salsadella-1 y Bobalar)

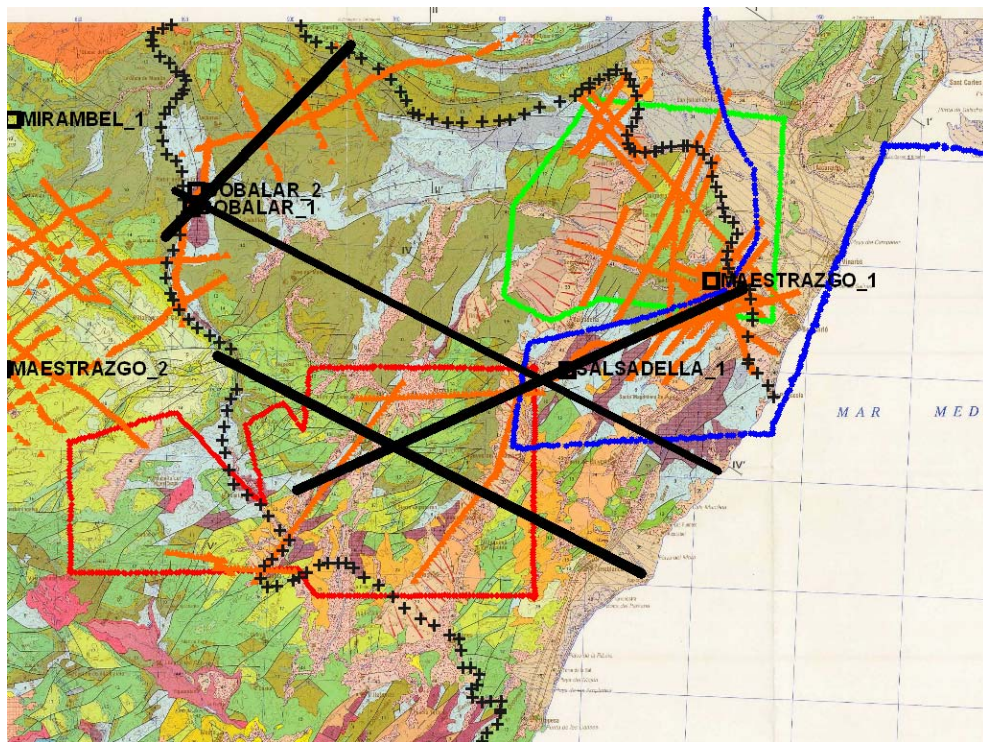


Fig 17 Posición de las alineaciones previstas para mediciones de ensayo MT (líneas en negro), seleccionadas en función de la cobertura geofísica existente: gravimetría (polígonos rojo, azul y verde), y líneas sísmicas (en naranja).

Puesto que el IGME no dispone de la necesaria instrumentación, estos trabajos se han realizado mediante la Asistencia Técnica por contratación con la Universidad de Barcelona, con un costo de 11.971,20 euros. Se han utilizado equipos de medición tipo Metronix ADU06 (GSM06), con rango DC-20 kHz (capacidad de registro en las bandas HF 500-8000 Hz, LF1 0-1000 Hz; Free 2-240 Hz; LF2 05-30 Hz y LF3 0.015-0.9 Hz), para cada estación registrada, con cinco canales: 2 eléctricos Ex, Ey (con distancia entre polos de 50 m) y 3 magnéticos Hx, Hy, Hz, medidos simultáneamente, con bobinas tipo MFS06. Durante el mes de septiembre de 2005 se midieron un total de 16 estaciones (Figura 18). El Informe final “Campaña 2005 de AMT en el Maestrazgo. Proyecto Hiproma”, fue entregado en febrero de 2006.

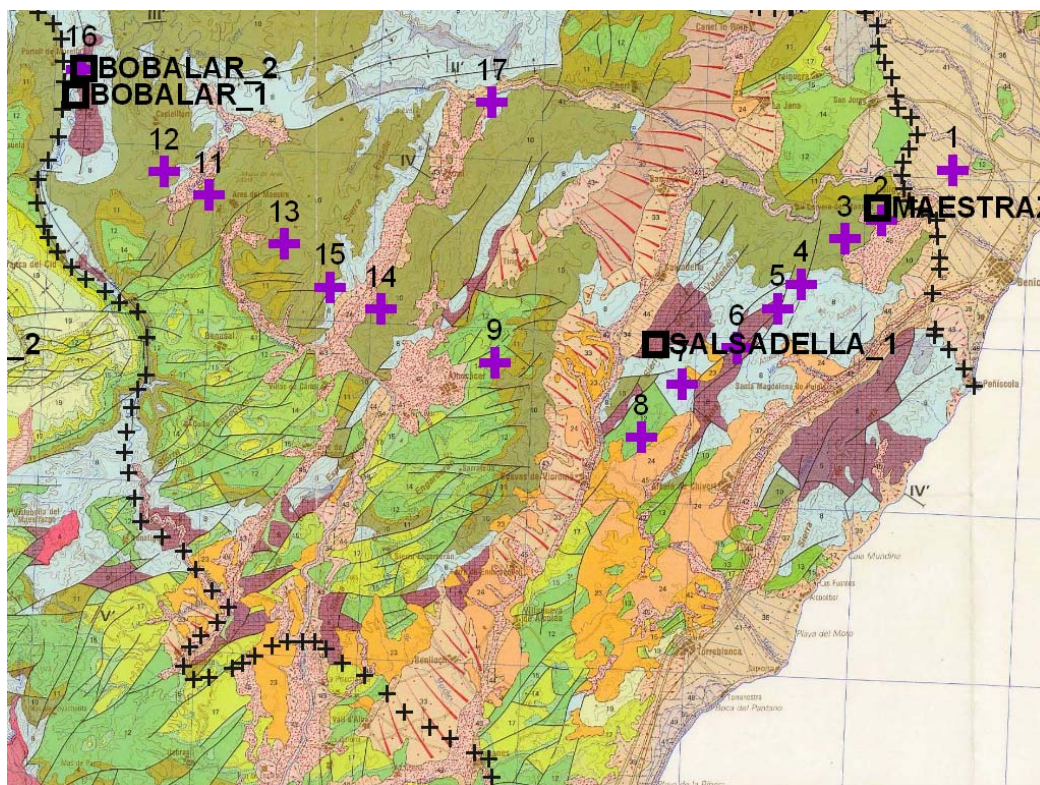
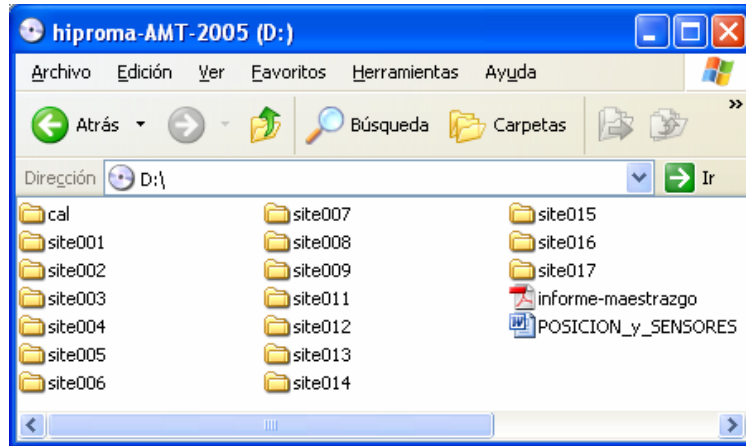


Fig 18 Posición de las estaciones MT medidas en la campaña de 2005.

Sobre las áreas preferentes seleccionadas, ha sido posible cubrir parte de las alineaciones Maestrazgo1-Benafir, y Bobalar-Tirig. Para ello se han hecho 8 mediciones entre los sondeos Maestrazgo-1 y Salsadella-1, a fin de calibrar las mediciones y optimizar los parámetros de adquisición de datos. En la alineación con Bobalar se han tomado 7 estaciones, con la idea de, en futuras actuaciones, continuar dicha alineación en dirección sur-oeste (hacia Benafir), a fin de determinar la estructura que pueda ser responsable de las diferencias de niveles piezométricos observadas en la zona de Cuevas de Vinromá. La otra medición se ha efectuado sobre el afloramiento Jurásico existente entre Chert y Morella (Puerto del Querol), con el objetivo de evaluar la posibilidad de cubrir esta zona con Sondeos Electromagnéticos en el Dominio del Tiempo.

En el anexo informático (CD) del Informe efectuado por la Unv. de Barcelona se recogen los ficheros con los datos de campo de las mediciones:



Las imágenes obtenidas en este ensayo de MT sobre la distribución de la resistividad en el subsuelo han puesto de manifiesto su capacidad de aportación de información para la comprensión de las estructuras geológicas mesozoicas. Sin embargo, su interpretación ha planteado nuevos interrogantes en cuanto a la naturaleza litológica del basamento profundo (Figura 19), en función de los cambios que presenta en su resistividad, lo que podría tener gran repercusión en la explicación de la tectónica profunda de la región. Por otra parte, y para niveles de menor profundidad, de este primer ensayo puede concluirse la existencia de una tectónica más compleja de la inicialmente esperada, lo que aconseja la toma de mediciones y su tratamiento en tres dimensiones.

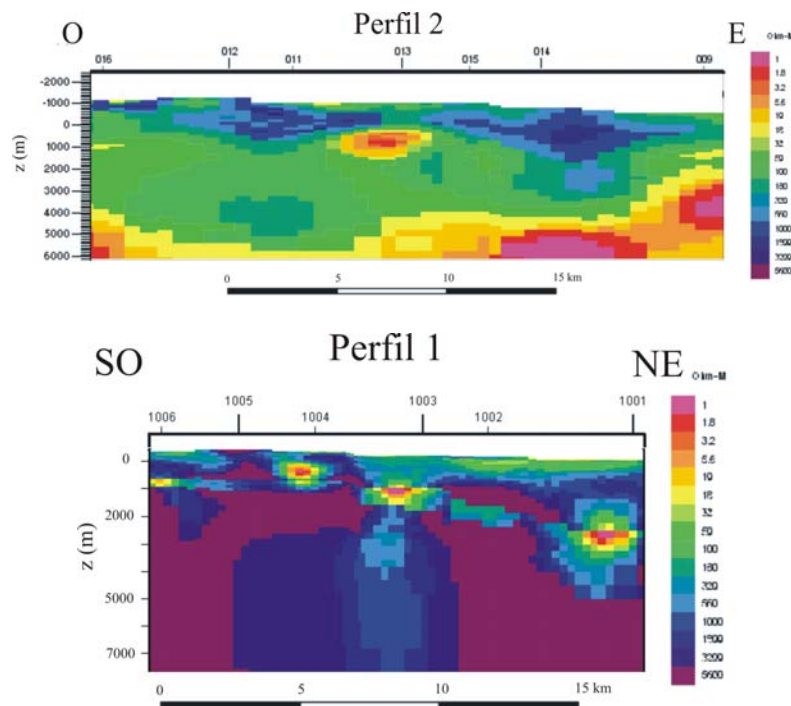


Fig. 19 Secciones geoelectricas de los dos perfiles medidos de MT en 2005. El basamento profundo es fuertemente resistivo en el perfil 1, más próximo a la costa, que en el perfil 2, situado en la porción central del acuífero.

A la vista de ello, y según la planificación efectuada en el Proyecto HIPROMA, se ha considerado necesario el completar las campañas magnetoteléuricas, cubriendo con nuevas mediciones las alineaciones que han sido declaradas de interés hidrogeológico. (Figura 20), siendo necesario efectuar unas 50 nuevas estaciones.

Dada el elevado número de estaciones contemplado, este trabajo se ha efectuado mediante Convenio establecido entre el IGME y la Universidad de Barcelona, en 20 de Noviembre de 2006, con una aportación de 50.000.000 euros. Los trabajos de campo se han iniciado en octubre de 2006, prolongándose hasta mediados de 2007, y disponiéndose de la interpretación e informe final en noviembre de 2007.

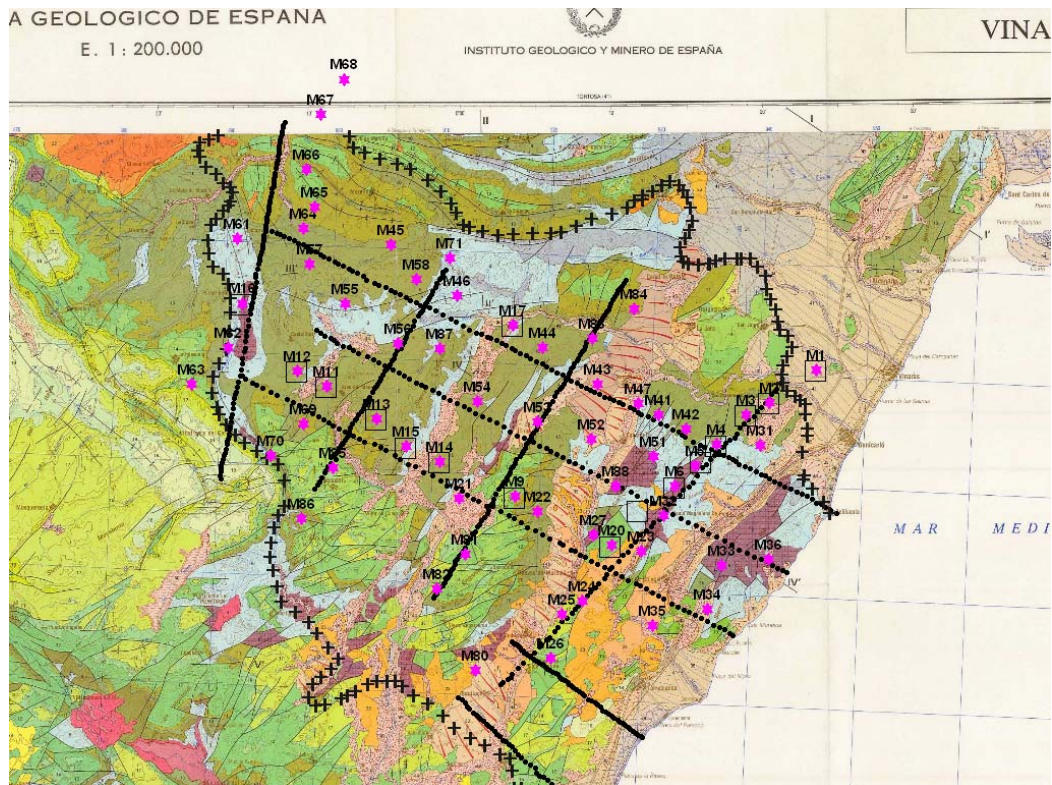
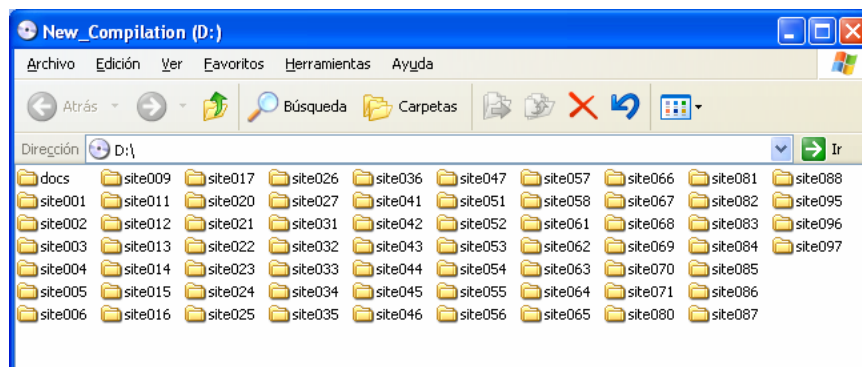


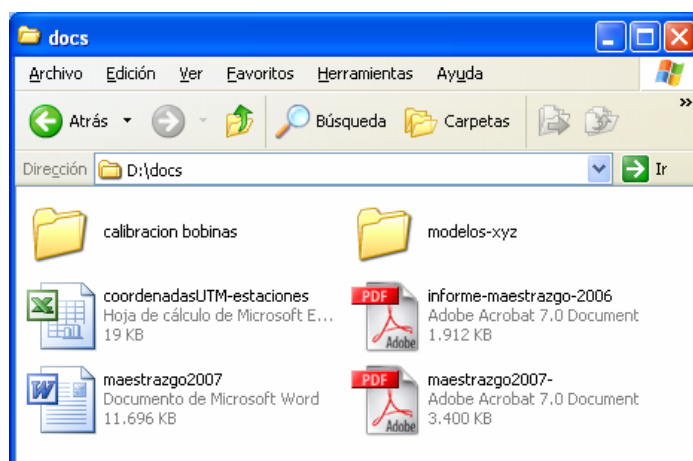
Fig 20 Posición de las estaciones MT medidas: las de la campaña de 2005 se han rodeado de un cuadrado. Se indican los perfiles de investigación preferencial determinados por los trabajos de hidrogeología (líneas en negro).

En el anexo digital de dicho Informe (CD) se encuentran los ficheros con los datos campo de todas las estaciones medidas (en ambas campañas):

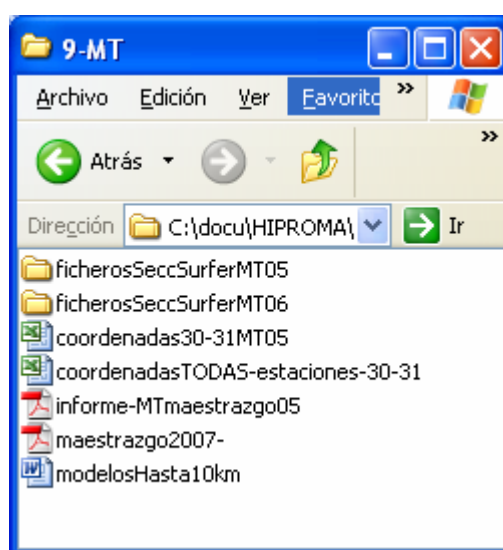


Así como:

- Informes de la U.B. y fichero de coordenadas de las estaciones medidas
- Ficheros de valores distancia al origen, profundidad y resistividad para construir valores en malla de los resultados de la interpretación de las estaciones según todos los perfiles formados, que incluyen a los de la anterior campaña



En el Anexo Digital del presente informe se recoge:



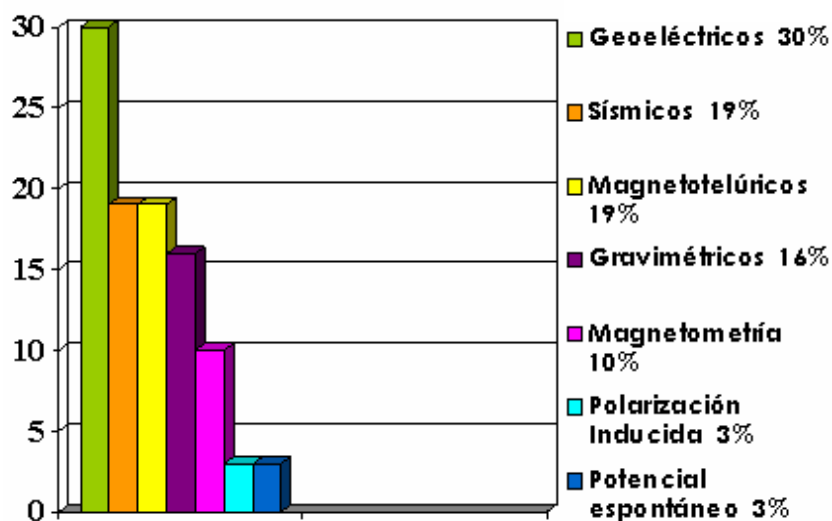
- Informes de la U.B. y fichero de coordenadas de las estaciones medidas
- Ficheros de valores distancia al origen, profundidad y resistividad para construir valores en malla de los resultados de la interpretación de las estaciones según los dos perfiles formados.

ANEXO I

Informe del Estado del arte sobre el uso de las técnicas geofísicas en investigación de acuíferos profundos

INVESTIGACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE FORMACIONES ACUÍFERAS PROFUNDAS. APLICACIÓN A LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.07 (EL MAESTRAZGO). DESARROLLO METODOLÓGICO.

HIPROMA



Informe de ESTADO DEL ARTE DEL USO DE LAS TÉCNICAS GEOFÍSICAS EN INVESTIGACIÓN DE ACUÍFEROS PROFUNDOS

**Irene Jiménez
Juan L. Plata**

**IGME
Área de Geofísica
Tres Cantos, octubre 2004**



INVESTIGACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE FORMACIONES ACUÍFERAS PROFUNDAS. APLICACIÓN A LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.07 (EL MAESTRAZGO). DESARROLLO METODOLÓGICO.

HIPROMA

Informe de **ESTADO DEL ARTE DEL USO DE LAS TÉCNICAS GEOFÍSICAS EN INVESTIGACIÓN DE ACUÍFEROS PROFUNDOS**

Juan L. Plata, Área de Geofísica del IGME. La Calera 1, 28760 Tres Cantos (Madrid), España. jl.plata@igme.es
Irene Jiménez, Lcda. C. Físicas. Ex-becaria de formación del IGME (2004)

**Area de Geofísica del IGME
Tres Cantos
Octubre 2004**

NOTA: Constituye **este Informe** parte de las actividades llevadas a cabo por el Grupo de Geofísica del IGME dentro del proyecto HIPROMA. El conjunto de actividades está resumido en el

Informe de las actividades geofísicas efectuadas

Actividades:

- 1 Recopilación y análisis de la información geofísica (a)**
- 2 Estado del Arte del uso de la Geofísica en investigación de acuíferos profundos**
- 3 Planificación de las actividades a desarrollar**
- 4 Interpretación de la Gravimetría (b)**
- 5 Análisis de los SEV para obtención de resistividades tipo en el área**
- 6 Estudio previo de las testificaciones de los sondeos profundos**
- 7 Testificación del sondeo San Juan (Cabanés) (c)**
- 8 Reinterpretación de diagráfias y secciones de sísmica de reflexión (d)**
- 9 Campañas de prospección magnetotelúrica (e)**

Anexo I: Informe completo *Estado del arte sobre el uso de las técnicas geofísicas en investigación de acuíferos profundos.*

Anexo II: Anexo Informático (incluye CD adjunto)

- (a) *Informe de la recopilación y análisis de la información geofísica previa en el Maestrazgo para el Proyecto HIPROMA. IGME*
- (b) *Informe de los trabajos de Gravimetría en el Maestrazgo para el Proyecto HIPROMA. IGME*
- (c) *Testificación geofísica del pozo San Juan, Cabanés (Castellón). Borelog*
- (d) *Interpretación de perfiles sísmicos y sondeos profundos de hidrocarburos. GESSAL*
- (e) *Campañas de AMT (AudioMagnetoTelúrico) en el Maestrazgo para el proyecto HIPROMA. U.B.*

INDICE

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. ESTADÍSTICA**
- 3. ANÁLISIS DE REFERENCIAS**
 - 3.1 Métodos eléctricos de corriente continua**
 - 3.2 Métodos electromagnéticos**
 - 3.3 Sísmica**
 - 3.4 Método Magnetotelúrico**
 - 3.5 Gravimetría**
 - 3.6 Magnético**
 - 3.7 Polarización Inducida**
 - 3.8 Potencial Espontáneo**

1. INTRODUCCIÓN

Se trata, en este informe, de reflejar el resultado de una búsqueda bibliográfica acerca de la aplicación de métodos geofísicos en investigaciones hidrogeológicas, en concreto, en el estudio de acuíferos profundos. Cuando nos referimos a acuíferos profundos estamos considerando una profundidad mínima de investigación de 300 metros como valor orientativo.

La búsqueda de la información se ha llevado a cabo fundamentalmente en las revistas especializadas disponibles en la biblioteca del Área de Geología y Geofísica del IGME correspondientes a los últimos 20 años, que recogen trabajos realizados en prácticamente todo el mundo. Dichas revistas son:

Geoexploration

Geophysics

First Break

Journal of Applied Geophysics

Geophysical Prospecting

También se han consultado libros y los *Extended Abstracts de los Congresos de la European Association of Exploration Geophysicist y de la Environmental and Engineering Geophysical Society*. Por último se completó la búsqueda en Internet con la ayuda del *buscador científico SCIRIUS*.

2. ESTADÍSTICA

A la vista de los resultados (sintetizados en la Figura 1) se puede concluir que los métodos geoelectrónicos son los más utilizados (30% de los casos), tanto los de corriente continua como los de alterna. Los métodos magnetotelúricos se han utilizado en un 19% de los casos y la Polarización Inducida en un 3%.

Los métodos sísmicos han sido utilizados en un 19% de los casos, fundamentalmente la sísmica de reflexión.

En cuanto a los métodos de campos potenciales se observa que han sido utilizados en un 26% de los casos, siendo más utilizada la gravimetría (16%) que la magnetometría (10%).

El restante 3 % corresponde a otros métodos tales como Potencial espontáneo.

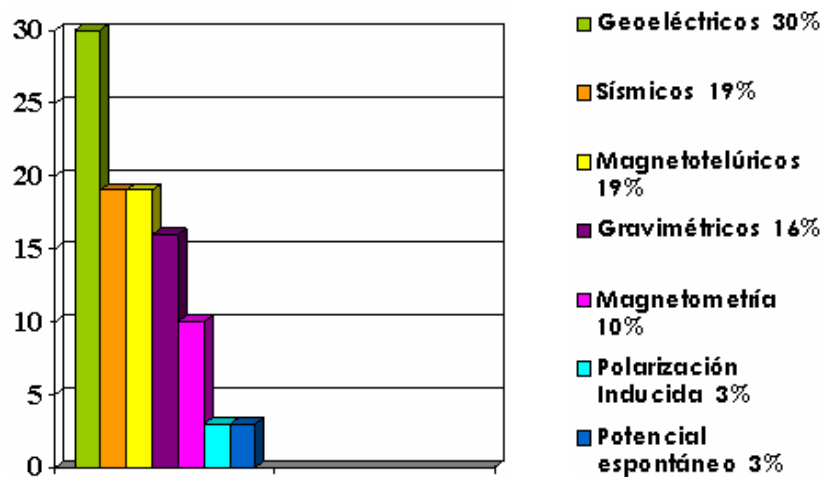


Fig. 1 Resultado estadístico de los métodos geofísicos utilizados en la investigación de acuíferos profundos.

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se hace una clasificación por métodos señalando las aplicaciones para las que ha sido empleado cada uno de ellos, así como una descripción más detallada de cada uno de los artículos estudiados, incluyéndose algunas figuras representativas en cada caso. Cabe señalar que en la mayoría de los casos el estudio se realiza combinando varios métodos. Incluso podemos encontrar comparativas entre distintos métodos para la resolución de un problema concreto.

3.1 Métodos Eléctricos de corriente continua

Ejemplos de aplicación de este método pueden encontrarse en Dodds A.R et al. (1990), Gwaze, P. (2000), Meekes, J.A. et al. (1991), Meju et al. (1999), Olivar A.L. de Lima (1993), Rocha, R. (2002), y por Van Overmeeren, R.A. (1989), entre otros, utilizados para determinar:

Distribución de acuíferos, estructura, características, cartografía
Topografía y profundidad del basamento
Localización de zonas de fractura
Cartografía de capas superficiales
Permeabilidad
Salinidad del agua

Como ya se ha dicho, junto con los electromagnéticos, son los métodos más utilizados para este tipo de estudios. Se observa que casi siempre que se utilizan estos métodos se completan o se contrastan resultados con los obtenidos con métodos electromagnéticos.

- *Van Overmeeren, R.A. 1989. Aquifers boundaries explored by geoelectrical measurement in the coastal plain of Yemen. A case of equivalence.*

Se trata de un estudio realizado en la República árabe de Yemen (en una zona de fosa tectónica rellena de sedimentos marinos Terciarios) empleando Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). El objetivo era determinar la distribución de acuíferos, acuitardos, rocas impermeables y salinidad del agua; la profundidad de investigación está en torno a 400 m.

Una interpretación cualitativa de las curvas da una impresión general sobre la localización y límites del acuífero (Figura 2).

Con una más detallada interpretación cuantitativa se llega a la conclusión de la posibilidad de dos modelos de resistividad. Uno en el que el espesor de las capas es fijo y otro en el que la resistividad es la que permanece fija. Apoyado por datos de diagráfias, además de evidencias hidrogeológicas, se llega a la conclusión de que el modelo válido es aquel en el que el espesor es fijo y la resistividad variable.

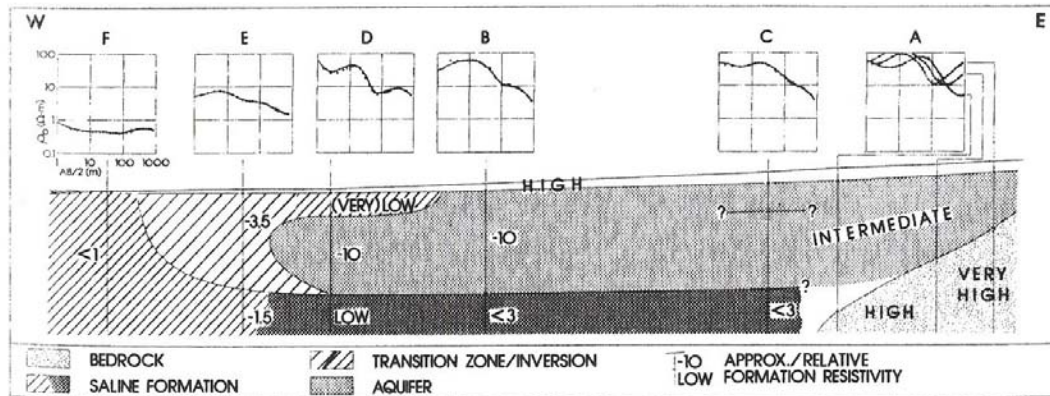


FIG. 2. Sketch profile made by qualitative interpretation of characteristic VES curves.

Fig. 2 Delineación de la forma genérica de una estructura acuífera mediante interpretación cualitativa de las curvas de SEV.

- **Dodds A.R. and Ivic, D. 1990. *Integrated geophysical methods used for groundwater studies in the Murray Basin, South Australia.***

En este artículo se hace una integración de métodos geofísicos eléctricos (SEV), electromagnéticos (TEM, FEM), gravimétricos y magnéticos para realizar un estudio de aguas subterráneas en la Cuenca Murray (cuenca Terciaria poco profunda) en el sur de Australia, con el objetivo de localización de acuíferos salinos y delimitación del basamento. La profundidad de investigación está en torno a 300 m.

Se puede concluir que el método TEM es particularmente útil para cartografiar zonas resistivas cualitativa y cuantitativamente. Las medidas así obtenidas se contrastan con datos de SEV y FEM.

El estudio con gravimetría está limitado en esta zona por contrastes de densidad intra-basamento.

- **Meekes, J.A. and Will, M.F.P. 1991. *Comparison of seismic reflection and combined TEM/VES methods for hydrogeological mapping.***

En este artículo se hace una comparativa (Figura 3) de métodos para un estudio de cartografía hidrogeológica en una zona de Holanda. Las formaciones a investigar consisten en sedimentos marinos de edad Terciaria y Cuaternaria. Por un lado se utiliza una combinación de SEV y TEM, y por otro sísmica de reflexión.

El objetivo es comprobar la validez de estas dos técnicas para profundidades mayores de 300 m y ver qué tipo de información se obtiene con cada método.

Ambos métodos proporcionan buenos modelos aunque la resolución, tanto lateral como vertical, es mayor en el caso de la sísmica. Con SEV/TEM, aunque la resolución es inferior, se obtiene un perfil de resistividades que puede ser directamente interpretado hidrogeológicamente. Además proporciona información de las heterogeneidades.

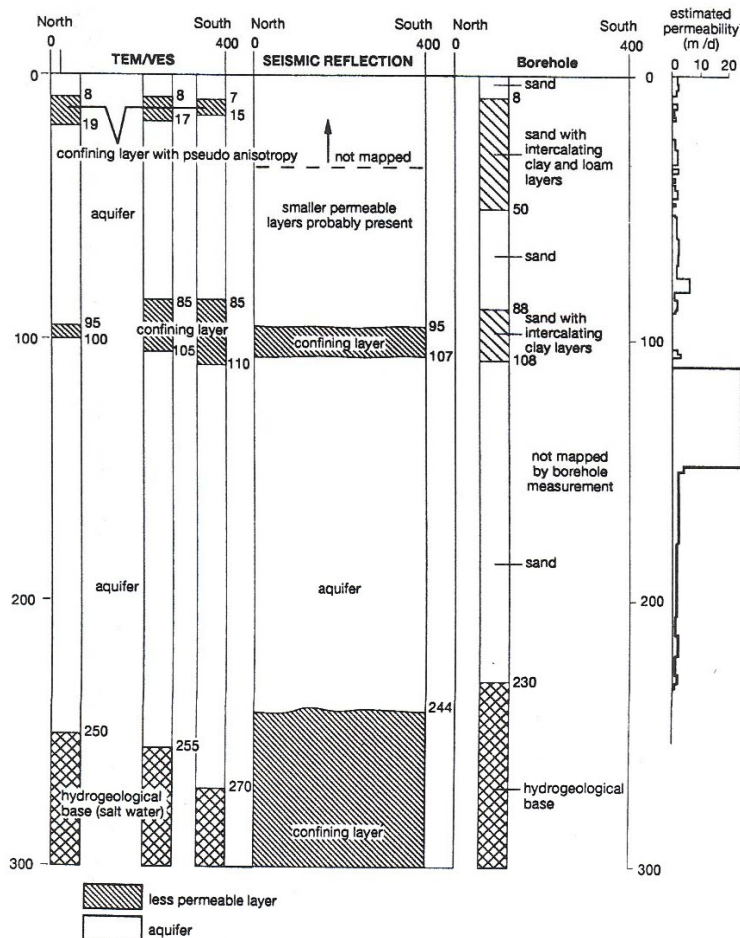


Fig. 7. Overview of results obtained from VES/TEM, seismic reflection and borehole data: schematic profile, lithology and estimated permeability (after Meekes *et al.* 1989).

Fig. 3 Comparativa de la información proporcionada por SEV / TEM / SÍSMICA / SONDEOS

- **Olivar A.L. de Lima, 1993. Geophysical evaluation of sandstone aquifers in the Reconcavo -Tucano Basin, Bahía – Brazil.**

Se trata de un estudio de un acuífero multicapa del Jurásico (1000 m aprox.) realizado en la cuenca Reconcavo Tucano, Bahía – Brazil. La cuenca sedimentaria forma parte de un rift asimétrico relleno de sedimentos continentales clásticos de edad Jurásico superior – Cretácica.

Los objetivos del estudio son:

Determinar la geometría del acuífero, mediante SEV.

Determinar la porosidad y permeabilidad a partir de diagráfias de resistividad y/o medidas de sondeos superficiales. Esto se hace a partir de la fórmula de Archie, calculando el factor de formación mediante una relación entre resistividades agua – roca.

Calcular la velocidad de flujo mediante diagráfias térmicas.

Determinar la calidad del agua mediante diagráfias de potencial espontáneo con el fin de evaluar la contaminación del agua causada por las industrias petroquímicas. Se encontró alguna pluma de contaminación.

Los datos de resistividad (Figura 4) muestran que la salinidad del agua crece con la profundidad y con la dirección de flujo.

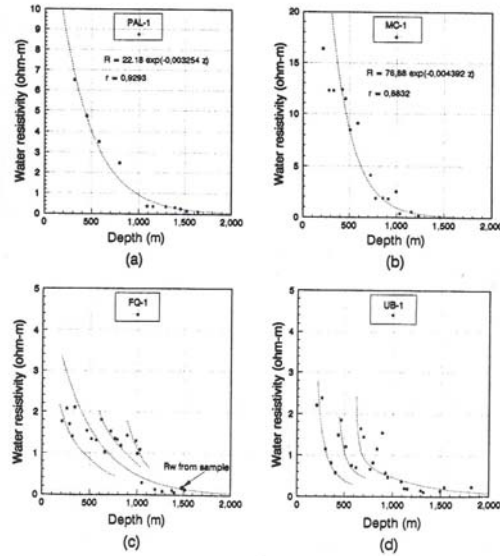


FIG. 12. Typical patterns of water resistivity changes with depth in the Jorro-Cipó area.

Fig. 4 Cambios de resistividad con la profundidad

La composición de LOG permite una mejor identificación de la estratigrafía (Figura 5) y determinación de la porosidad y permeabilidad.

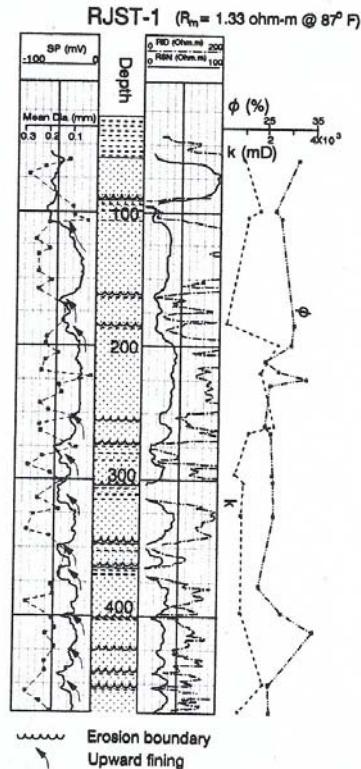


FIG. 5. Composite log of the upper 500 m of the stratigraphic well RJST-1-BA.

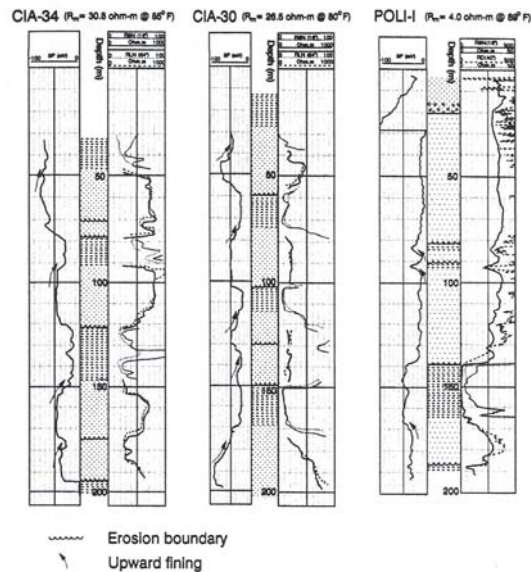


FIG. 6. Representative electrical well logs of the studied areas. Same legend as on Figure 5.

Fig. 5 Identificación estratigráfica y obtención de porosidad y permeabilidad a través de las testificaciones de Potencial Espontáneo (SP) y resistividad.

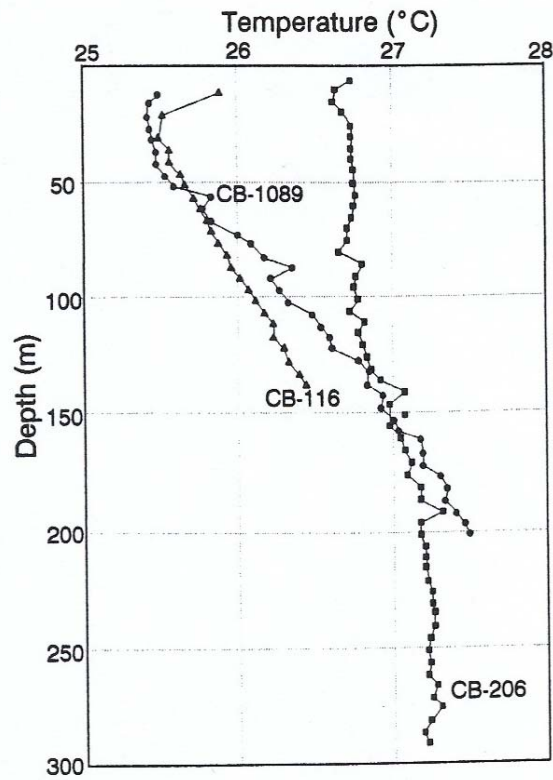


FIG. 10. Temperature logs in wells of the Camaçari area.

Fig. 6 Ejemplo de testificaciones de temperatura

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de LOGS de Temperatura, y en la Figura 7 la sección geológica a partir de LOG y Sondeos eléctricos

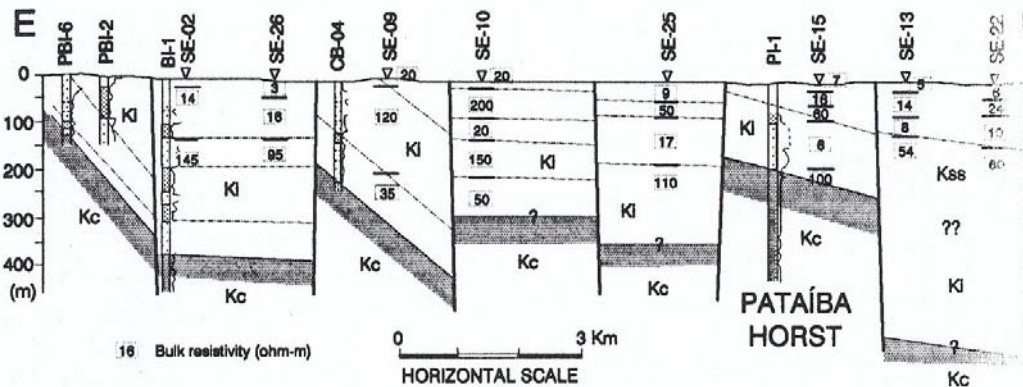


FIG. 16. Geologic profile across the Biritinga-Pataíba area constructed from well log and electrical sounding result. Same legend as on Figure 7.

Fig. 7 Sección geoelectrica obtenida mediante SEV y sondeos mecánicos.

- **Meju, M.A., Fontes, S.L., Oliveira, M.F.B., Lima, J.P.R., Ulugergerli E.V. and Carrasquilla, A.A. 1999. AMT/EMAP methods in the semiarid eastern margin of Parnaiba Basin, Brazil.**

Estudio hidrogeológico realizado en Brasil para cartografiar un acuífero, como parte de un programa para evaluar la utilidad de la integración de métodos geoelectricos (SEV- TEM- AMT/EMAP) en investigaciones de aguas subterráneas. En la zona de estudio domina una estratificación geológica interrumpida por fallas e intrusiones ígneas de pequeño tamaño. El basamento compuesto por esquistos, filitas, granitos y gneises se encuentra directamente sobre una secuencia alternada de formaciones arenosas y clastos. La profundidad de investigación supera los 1000 m. Los resultados obtenidos (Figuras 8 y 9) muestran que esta integración de métodos es muy efectiva, con una buena correlación entre los mismos, con la geología de la zona y con la interpretación aeromagnética.

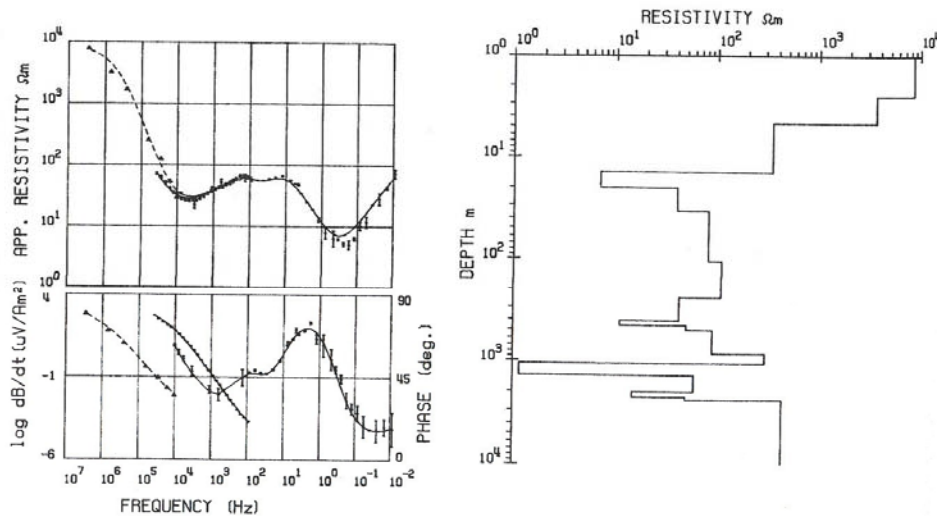


FIG. 11. Sample result of joint VES-TEM-AMT inversion. The symbols have the same meaning as for Figure 10.

Fig. 8 Inversión de datos SEV/TEM/AMT

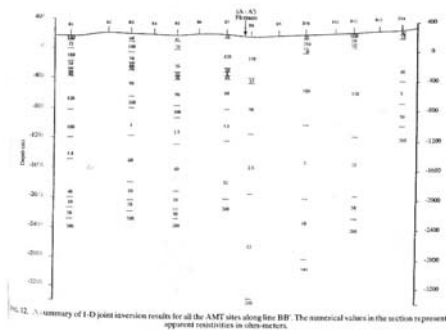


FIG. 12. A summary of 1-D joint inversion results for all the AMT sites along line BB'. The numerical values in the section represent apparent resistivities in ohm-meters.

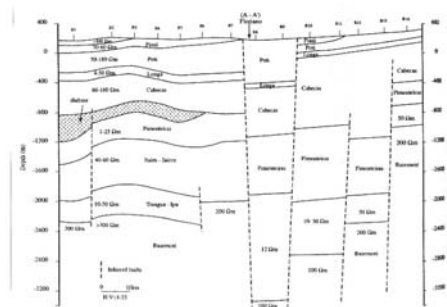


FIG. 13. Interpretive geoelectric structure for line BB'. The numbers in the section represent resistivity estimates in ohm-meters. The inferred correlations with geological formations and faults are also shown. Sea level is the datum level.

Fig. 9 Interpretación geológica de una sección geoelectrica de AMT

- **Gwaze, P., Dahlin, T., Owen, R., Gwavava, O. and Danielsen, J. 2000. Geophysical investigations of the Karoo Aquifer at Nyamandhlovu, Zimbabwe**

En este trabajo se describe la investigación geofísica llevada a cabo en el acuífero Karoo en Nyamandhlovu, en Zimbabwe, con el objetivo de identificar acuíferos para suministro de agua. Los métodos utilizados para ello son TDEM, SEV, gravimetría y magnético. El área de estudio se encuentra en el borde de la Cuenca sedimentaria Kalahori.

Mediante perfiles de resistividad se realiza un modelo y a partir de ahí se llega a una interpretación litológica (principalmente basaltos y arenas). La profundidad de investigación está en torno a los 300 m. Los métodos utilizados proporcionan una valiosa información para localización de fallas y determinar la estratigrafía, pero es necesario perforar en sitios específicos para confirmar la interpretación.

- **Rocha, R. 2000. Hydrogeological implications of Beja Fault Location using geoelectrical methods.**

Se trata de un estudio realizado en la zona de la falla de Beja, Portugal utilizando SEV y dipolo – dipolo. El área de estudio se localiza en la Unidad Tectónica de Ossa Morena. Las formaciones predominantes están formadas por rocas gabro – dioríticas. Es una zona en la que existe contaminación del agua subterránea por nitratos debido al uso de fertilizantes, por lo cual se han de buscar alternativas. La profundidad de investigación está en torno a los 500 m. Se utilizó en método de dispositivos rectangulares y SEV (Figura 10), así como perfiles de resistividad (Figura 11) dipolo-dipolo.

Se detectaron dos zonas con circulación de aguas subterráneas; una superficial contaminada y otra más profunda, asociada a la falla de Beja, menos vulnerable a la polución.

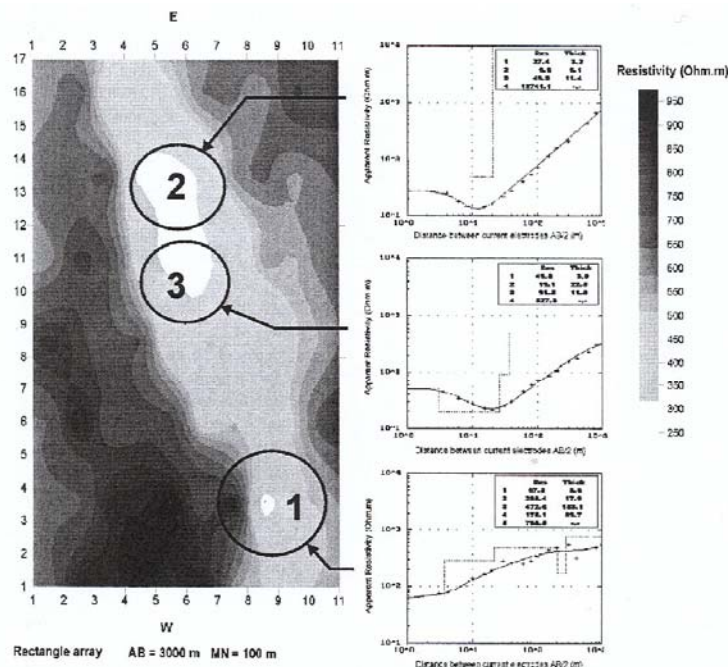


Figure 4 - Rectangular Array and VES 1, 2 and 3 (adapted from Rocha, 2001).

Fig. 10 Mapa de resistividad por el método de arrays cuadrados y SEV de verificación.

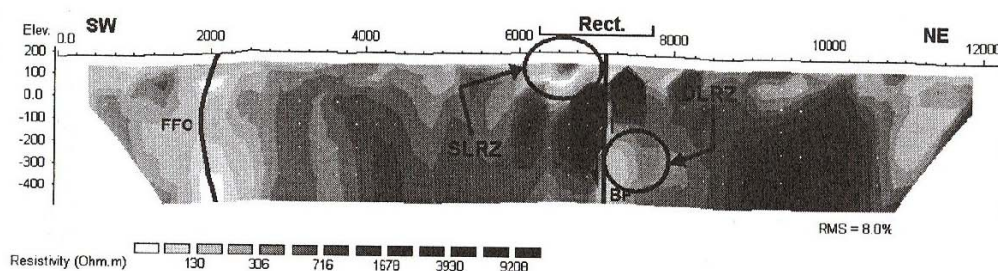


Figure 3 – Inverse Model Resistivity Section of the Dipole-Dipole Array. Rect. – Zone with Rectangle array survey in fig. 4; BF – Beja Fault; FFO – Ferreira-Ficalho Overthrust; DLRZ – Deep Low Resistivity Zone; SLRZ – Shallow Low Resistivity Zone (adapted from Rocha, 2001).

Fig. 11 Sección geoelectrica dipolo-dipolo mostrando la presencia de la falla de Beja y dos zonas acuíferas de distinta calidad de agua.

3.2 Métodos Electromagnéticos

Se han encontrado ejemplos de la utilización de estos métodos en Danielsen, J. E. (2003), Dodds A.R et al. (1990), Fitterman D. V. et al. (1986), Goldman et al (1991), Gwaze, P. (2000), Meekes, J.A. et al. (1991), Meju et al. (1999), y Krivochieva, S. (2002). Los principales objetivos son:

- Determinar las características del acuífero, topografía y profundidad del basamento
- Cartografía de zonas resistivas
- Cartografía de rellenos aluviales y zonas de grava sobre la roca base
- Litologías (interpretaciones)
- Permeabilidad
- Salinidad del agua
- Superficie de separación agua dulce / salada

- ***Fitterman D. V. and Stewart, M. T. 1986. Transient electromagnetic sounding for groundwater.***

Se describe el uso del método TDEM para el estudio de aguas subterráneas, deduciéndose que debido a los fundamentos físicos del método, éste puede ser empleado para: localización y geometría de acuíferos, profundidad y cartografía de rellenos aluviales y zonas de gravas sobre la roca base, detección de sal, calidad del agua (basándose en la resistividad), cartografía de arenas y gravas.

En el caso particular del acuífero Batucatu en Sudamérica, se utilizó para determinar la profundidad de la roca base (Figura 12). Se trata de un acuífero formado por areniscas Triásico – Jurasicas cubiertas en algunas partes por flujos de basalto. Por debajo hay limolitas y areniscas del Pérmico. La profundidad de investigación supera los 300 m.

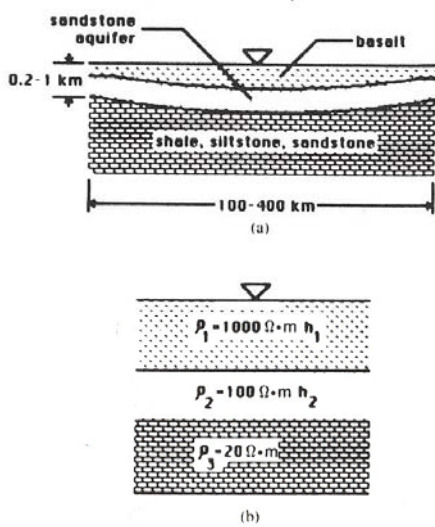


Fig. 15. Schematic drawing (a) and geoelectrical section (b) of a large regional aquifer.

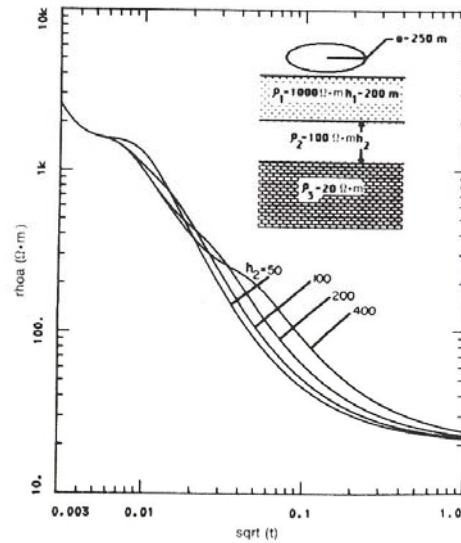


Fig. 17. Transient sounding curves over a regional aquifer showing the effect of varying the aquifer thickness.

Fig. 12 Ejemplo de la utilización de TDEM para cartografía del basamento.

- Goldman, M., Gilad, D., Ronen A. and Melloul, A. 1991. Mapping of seawater Intrusion into the coastal aquifer of Israel by the domain electromagnetic method.

Se trata de un estudio realizado en un acuífero en Israel con objeto de evaluar el método TDEM para detección de intrusiones marinas en el acuífero, así como otros problemas hidrogeológicos. La secuencia litológica se compone fundamentalmente de areniscas calcáreas de edad Pleistocena intercaladas con arcillas y/o limos de origen continental bajo capas de margas de origen marino. La profundidad de investigación es 200 m en un caso y 500 m en otro. Se encuentran unos valores de resistividad muy bajos. Se detecta la superficie de separación agua dulce/salada y se delimitan las intrusiones marinas. Se presenta una interpretación litológica (Figura 13).

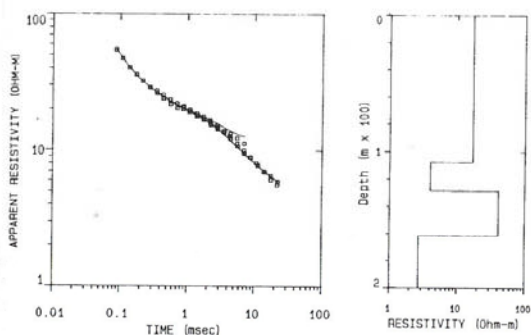


Fig. 5. TDEM data collected at Station No. 35 and resistivity vs depth section obtained in the inversion.

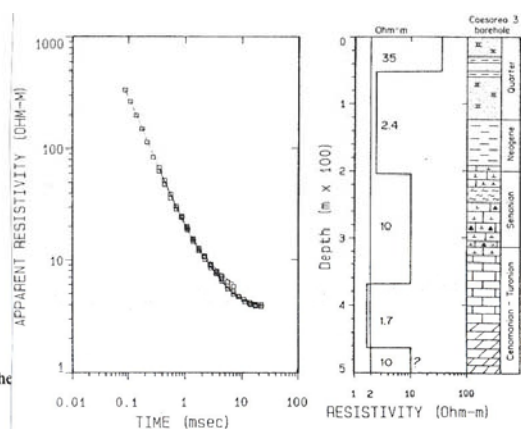


Fig. 8. Correlation of TDEM and borehole data from Caesarea-3 deep borehole

Fig. 13 Ejemplo de utilización de TDEM para localización de intrusiones de agua salada

- **Krivochieva, S. and Chouteau, M. 2002 Integrating TDEM and MT methods for characterization and delineation of the Santa Catarina aquifer (Chalco Sub-Basin, Mexico).**

Se trata de un estudio en el acuífero Santa Catarina, México, como una segunda parte del artículo de Chouteau, mediante integración de métodos TDEM y magnetotelúrico. El objetivo es determinar la geometría del acuífero, la superficie de separación agua dulce/salada y la continuidad de los basaltos entre la zona volcánica y la cuenca sedimentaria. Con el método magnetotelúrico (Figura 14 y 15) se determina la profundidad de la roca base en torno a 800 – 1000 m. La integración de métodos resuelve los principales objetivos del estudio.

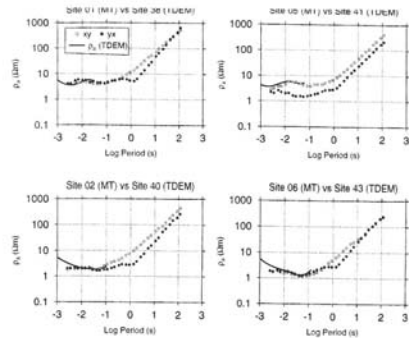


Fig. 16. Comparison of MT and central loop TDEM apparent resistivity sounding curves for a few selected stations in the sedimentary basin.

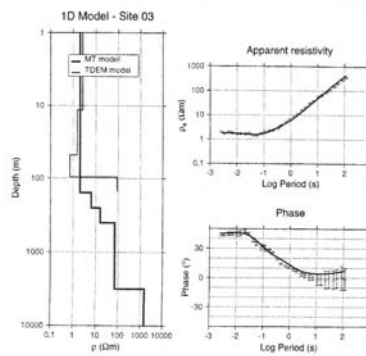


Fig. 10. 1D layered inversion of sounding curves ρ_a and ϕ_{mt} from MT site 03. The observed data are plotted with symbols and the computed curve from the 1D model. Each curve is related to a specific period.

Fig. 14 Ejemplo de curvas de MT y su interpretación.

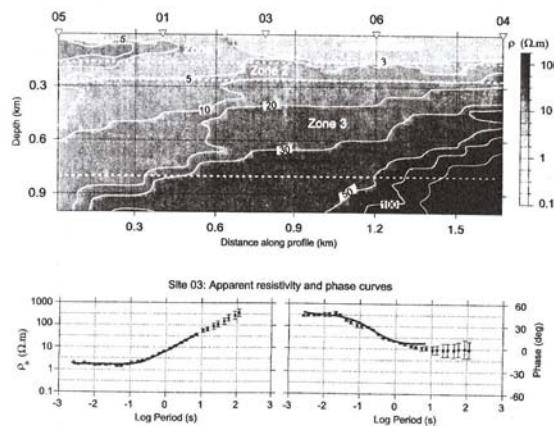


Fig. 12. Resistivity model obtained from TM 2D inversion for depth 0-1 km. This figure also shows the observed (black circles) and computed (solid line) apparent resistivity and phase curves from the 2D model for site 03.

Fig. 15 Sección geoelectrica obtenida por el método magnetotelúrico

- Danielsen, J.E., Auken, E., Jorgensen, F., Sondergaard, V., Sorensen, K.I. 2003
The application of the transient electromagnetic method in hydrogeophysical surveys.

En este trabajo se estudia la importancia que tiene el uso del método TEM en investigaciones hidrogeofísicas. Se trata su aplicación principalmente para la cartografía de acuíferos, ilustrándolo con un caso práctico en el valle Skjod en Dinamarca. El valle está relleno de sedimentos arenosos sobre una base de arcillas Terciarias. La profundidad de investigación está en torno a los 200 m.

3.3 Sísmica

Ejemplos de aplicación de este método pueden encontrarse en French, R.B. et al. (2003), Geissler, P.E. (1989), Liberty, L. (1998), y Roselli, A. et al. (1998), junto con gravimetría para:

Localización, cartografía y profundidad del acuífero
Localización de fracturas
Distribución litológica
Profundidad y continuidad de la secuencia de basalto y riolitas

Shaphiro et. al (2002), y Audigane et al (2002), introducen además el uso de la microsismicidad inducida.

- ***Geissler, P.E. 1989. Seismic reflection profiling for groundwater studies in Victoria, Australia.***

En este artículo se analizan los resultados obtenidos de perfiles de sísmica de reflexión llevados a cabo en Victoria, Australia, en una zona de fosas tectónicas rellenas de sedimentos marinos Terciarios no consolidados. Se trata de determinar la conveniencia de la zona para realizar una propuesta de suministro de agua que incluye recarga de acuíferos. Lo que se busca es determinar la cartografía y profundidad del acuífero. La profundidad de investigación es de 400 m.

A la vista de los resultados obtenidos se concluye el buen funcionamiento del método para la consecución del objetivo. En la Figura 16 se muestra un ejemplo de la sección sísmica y su interpretación.

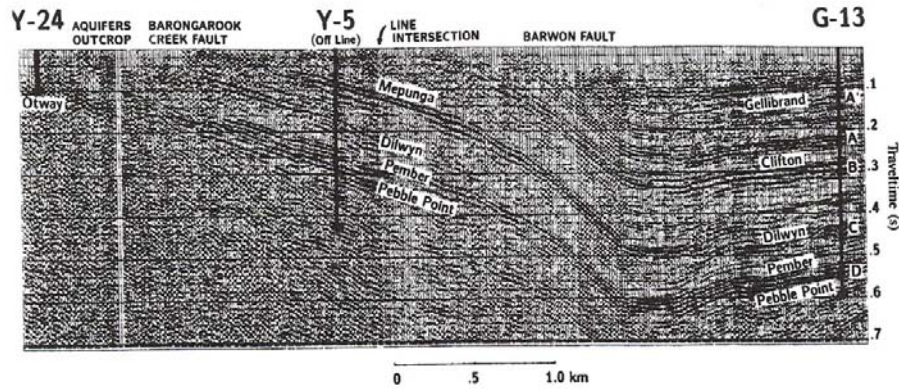


FIG. 6. Yeodene survey physical interpretation. Amplitude normalization and 3X vertical exaggeration were performed to emphasize structure in this section across the Barwon Downs graben. Horizons labeled A' through D correspond to the events analyzed in the data of Figure 5.

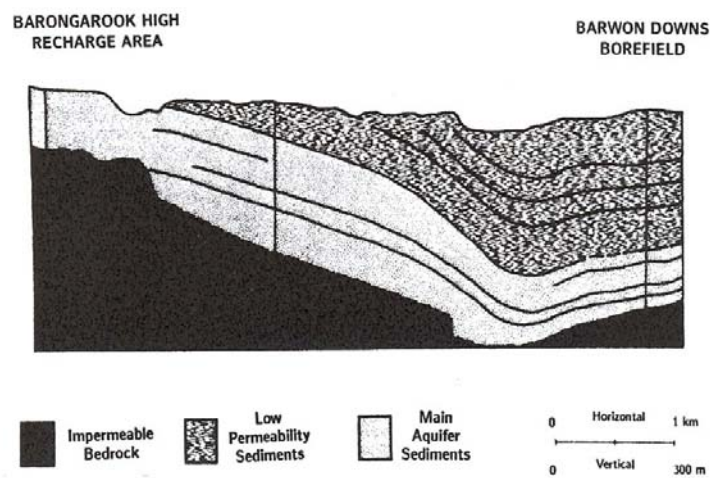


FIG. 7. Yeodene survey hydrogeologic interpretation. The basal Tertiary aquifer system, confined between a calcareous aquitard cap and impermeable bedrock, is shown to be continuous between the recharge and extraction areas.

Fig. 16 Interpretación sísmica e hidrogeológica de Sección de Reflexión

- Liberty, L. 1998. Seismic reflection imaging of a geothermal aquifer in an urban setting.

Se trata del estudio de un acuífero geotérmico en un asentamiento urbano mediante sísmica de reflexión con el fin de estimar la profundidad y continuidad de la secuencia de basalto y riolita. Se trata de una zona de fallas en la que el agua geotérmica está confinada entre basaltos y una secuencia de rocas sedimentarias del Mioceno. Se compara también la influencia de cómo se ha generado la señal, si por fuente explosiva o implosiva. La implosiva genera una señal con menor ancho de banda pero con más calidad. Se localiza el basalto a unos 470 m y la riolita a ~ 635 m. Se concluye que los métodos sísmicos funcionan a la hora de determinar la profundidad de acuíferos y localizar zonas de fractura para estudios hidrogeológicos y ambientales.

- **Roselli, A., Olivier, R., Veronese, G. 1998. Gravity and seismic reflection applied to the hydrological research in a large alpine valley.**

Se trata de un estudio realizado en el Valle Adige en Italia mediante combinación de los métodos gravimétrico y sísmica de reflexión. Es un valle alpino en forma de U caracterizado por la presencia de formaciones que van desde areniscas cuarzosas del Pérmico a dolomitas del Retiense. El objetivo del mismo es la determinación de la profundidad de la roca base. Mediante modelos de perfiles de gravedad, realizados con información obtenida en pozos, y con apoyo de los resultados de la sísmica de reflexión, se determinaron las estructuras hasta una profundidad de 600-650 m (Figura 17).

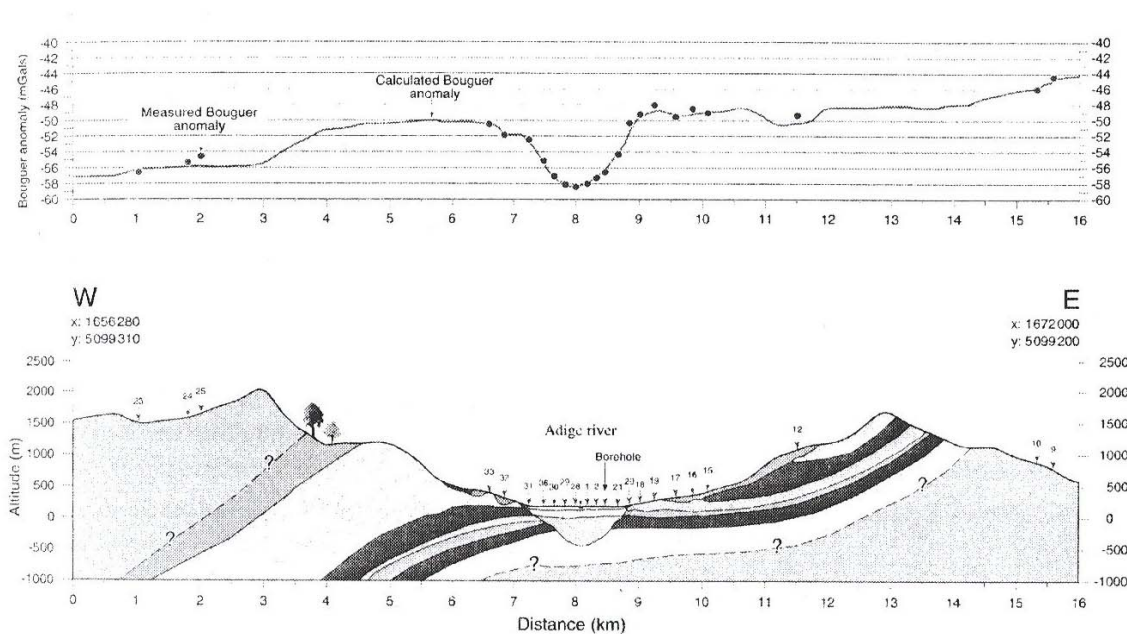


fig. 3 : gravity profile n°1 - 2.5 D modeling

Fig. 17 Ejemplo de utilización conjunta de la Gravimetría (modelo 2.5 D) interpretada con apoyo de sísmica.

- **Audigane, P., Royer, J.J., and Kaieda, H. 2002. Permeability characterization of the Soultz and Ogachi large – scale reservoir using induced microseismicity.**

La microsismicidad es un método innovador que ha sido utilizado por Audigane, et al.2002, y por Shapiro, S. A. et al. 2002 para caracterización de la permeabilidad de un reservorio.

En este artículo se trata de determinar la permeabilidad a partir de la difusividad hidráulica isotrópica estudiando la microsismicidad inducida por la inyección de fluidos a alta presión. Es un estudio llevado a cabo en dos localizaciones geotérmicas una en Soultz (Francia) y la otra en Ogachi (Japón). La profundidad de investigación sobrepasa los 1000 m.

El método empleado consiste en el estudio espacio/temporal de la microsismicidad. Representando la distancia entre el punto de inyección y el hipocentro frente al tiempo de

ocurrencia de los eventos sísmicos se obtiene una curva cuadrática $R = \sqrt{4\Pi Dt}$, donde D es la difusividad, R la distancia entre el punto de inyección y el hipocentro y t el tiempo transcurrido entre la inyección y el sismo. Una vez obtenida la difusividad, se puede hacer una estimación de la permeabilidad en el marco de la teoría poroelástica mediante la relación:

$$D = \frac{N}{\eta} K$$

donde k es la permeabilidad y η la viscosidad dinámica poro- fluido. N depende de la porosidad fundamentalmente. Un ejemplo se da en la Figura 18. Los valores de permeabilidad así obtenidos coinciden con las medidas realizadas in situ.

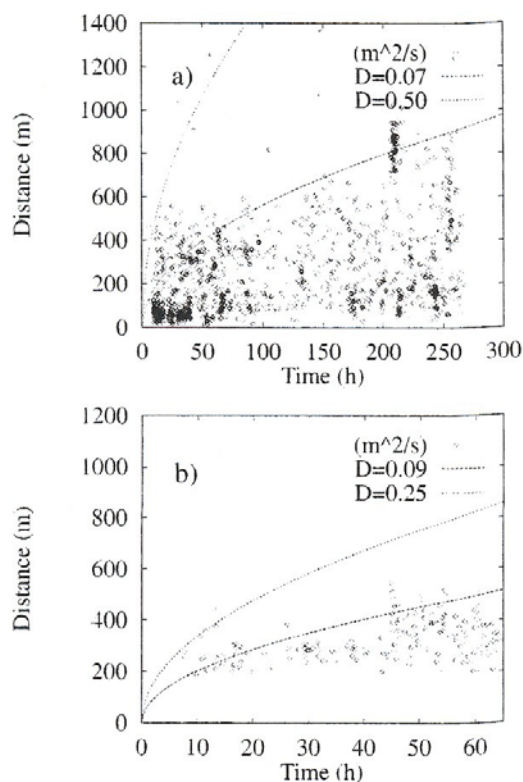


FIG. 4. Distance from the injection source point versus the occurring time of the micro-earthquake measured at the Ogachi site (Japan) during the hydro-fracturing test performed in 1991 (a) and in 1992 (b) at the injection well IPU1.

Fig. 18 Estudio de difusividad por microsismicidad

- Shapiro, S. A., Rothert, E., Rath, V. and Rindschwentner, J. 2002. *Characterization of fluid transport properties of reservoirs using induced microseismicity.*

En este artículo se desarrolla una técnica SBRC (Seismicity based reservoir characterization) con la que se pretende estimar la permeabilidad de un reservorio (en una localización geotérmica) a partir de microsismicidad inducida por inyección de fluidos, basándose en la hipótesis de que esta sismicidad se propaga como un proceso difusivo en un medio saturado

homogéneo e isotrópico. (La forma de hacerlo es la misma que en el artículo anterior). Además se hace una generalización a 3D y para medios heterogéneos isotrópicos y anisótropos de la distribución de la permeabilidad. Se observa que para medios heterogéneos anisótropos sólo es posible representar en el dominio espacial en 3D el módulo del tensor de permeabilidad efectiva.

- ***French, R.B., Jenks, M.D. and Connard, G.G. 2003 Geophysical investigations for groundwater in the lower Klamath lake basin, Oregon.***

En este artículo se comenta una investigación geofísica de aguas subterráneas en Oregón. Se trata de una zona de fallas. La cuneca es una fosa tectónica. El objetivo es cartografiar el basamento, formado por rocas volcánicas fracturadas, así como la localización de fallas. La profundidad de investigación es de 500 m aproximadamente.

Los métodos utilizados para ello son: Gravimetría, sísmica de reflexión y magnético. A partir de la interpretación de un modelo 3D de gravedad se determina la profundidad del basamento y se muestra una sección 2D interpretada a partir de datos sísmicos, magnéticos y gravimétricos (Figura 19). Aunque mediante los datos sísmicos no se puede establecer la profundidad del basamento, éstos indican la configuración general de la cuenca y coinciden bastante bien con los obtenidos a partir de los datos gravimétricos y magnéticos.

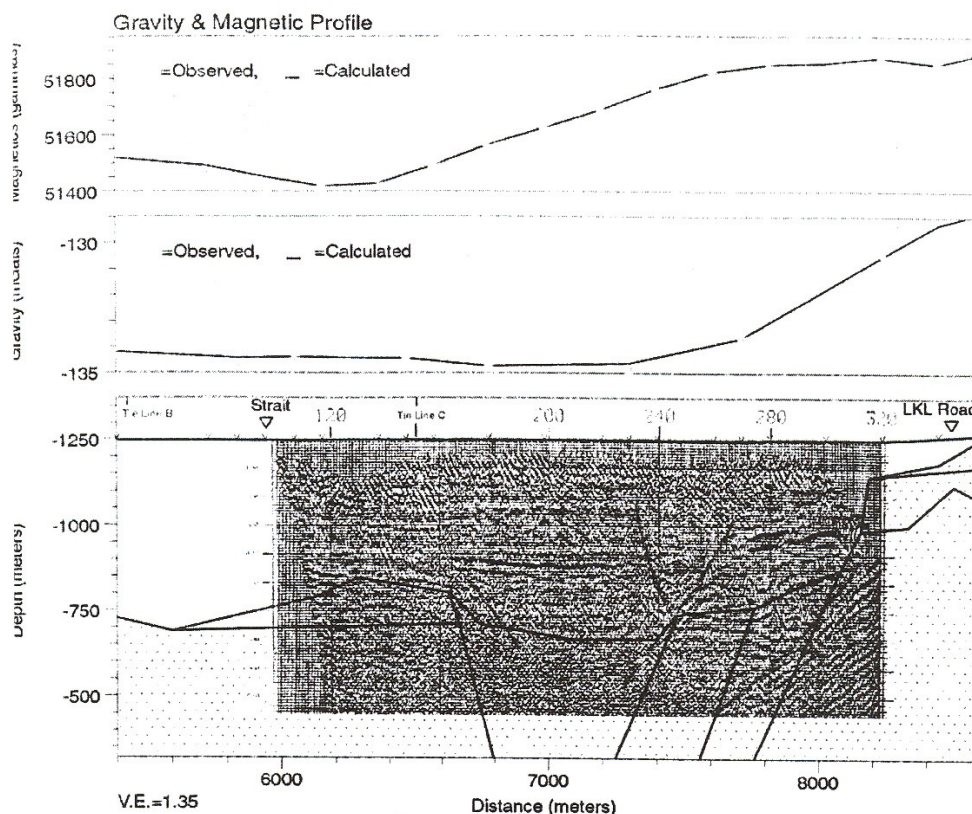


Figure 3: Interpreted Cross Section with Seismic Data (Line B)

Fig. 19 Interpretación conjunta de Sísmica, Gravimetría y Magnetometría

3.4 Método Magnetotelúrico

Ejemplos de aplicación de este método pueden encontrarse en Álvarez. R. (1990), Bourgeois, B. et al. (1993), Chouteau, M. et al. (1993), Giroux, B. et al. (1997), Krivochieva, S. et al. (2002), Meju et al. (1999), y por Ritz, M. et al. (1997) para determinar:

Geometría, profundidad del acuífero
Estructura de cuencas sedimentarias
Estratificación de la resistividad con la profundidad
Porosidad

- Álvarez. R. 1990. *Geophysical determination of buried geological structures and their influence on aquifer characteristics.*

Se trata de un estudio realizado en el Valle de Guaymas, en el noroeste de México, con el fin de localizar acuíferos. Dicho valle se encuentra flanqueado al Este y al Oeste por dos formaciones de composición granítica, y al Sur está limitado por el mar de Cortez. Se pueden distinguir dos formaciones acuíferas: el acuífero inferior formado por conglomerados de gravas, areniscas y arcillas, sobre rocas ígneas y metamórficas, y el acuífero superior: por estratos con lentejones de gravas, areniscas y macrofósiles. Se consideraron tres tipos de datos: de pozos, líneas telúricas y datos gravimétricos. La profundidad de investigación supera los 1000 m.

Se realizan dos modelos, uno a partir de las líneas telúricas (Figura 20 y 21) y otro a partir de los datos gravimétricos (Figura 22), y se observa cómo en la parte central del valle las rocas del basamento se encuentran cerca de la superficie, mientras que el valle está flanqueado por dos depresiones enterradas mucho más profundas. Así se explica que el agua que se extrae en la parte central sea de menor calidad que la extraída en los flancos.

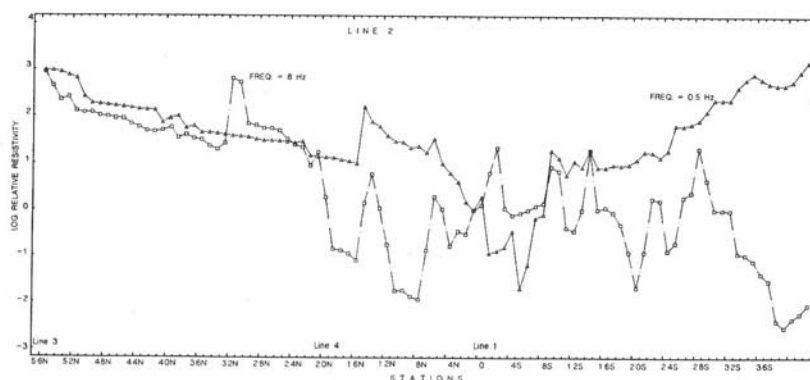


Fig. 7. Telluric results obtained along the longest line of the survey (Line 2), for the frequency bands of 0.5 and 8 Hz.

Fig. 20 Ejemplo de perfil de resistividad obtenido por inversión de las medidas magnetotelúricas en la banda de 0.5-8 Hz

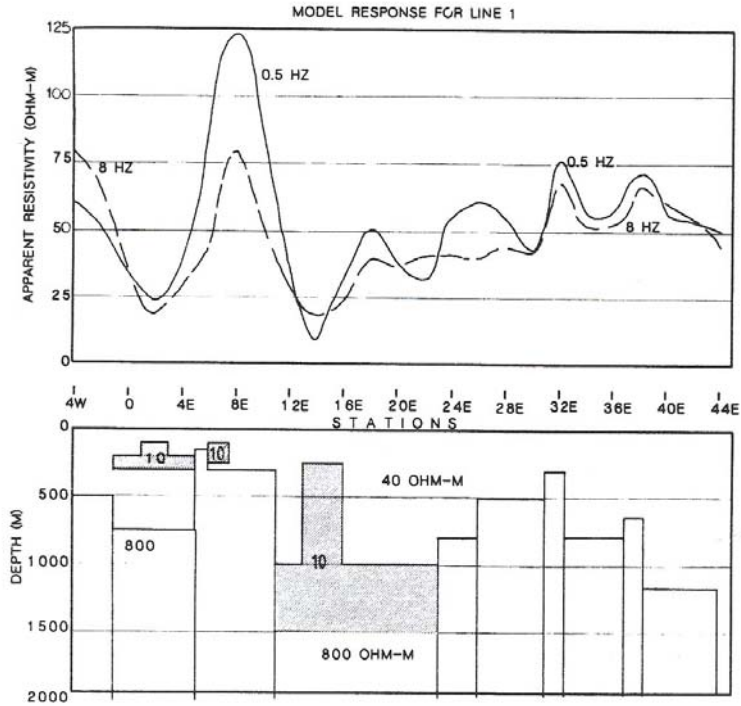


Fig. 6. Electrical model of the telluric measurements of Line 1 and its computed response.

Fig. 21 Interpretación (modelo geoelectrico) de las mediciones magnetotelúricas.

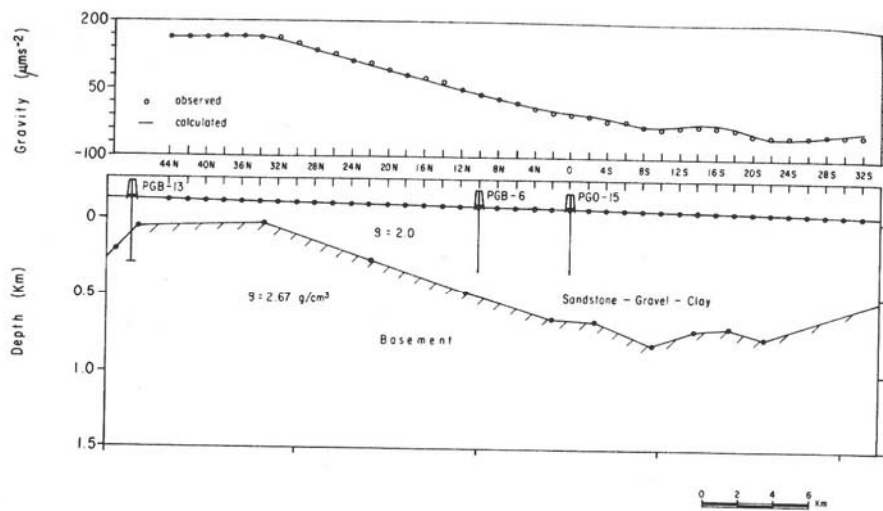


Fig. 15. Gravimetric model along Line G2. Wells PGB-13, PGB-6, and PGO-15 provide references for the model only; only the former one intersected basaltic layers from 162 m down. Compare to Fig. 8. The gravimetric response is given in gravity units.

Fig. 22 Interpretación gravimétrica.

- **Bourgeois, B., Mathieu, B., Vachette C., and Vaubourg, P. 1993. AMT measurements compared with gravimetry and magnetometry for structural study of a sedimentary basin. Letlhakeng – Botlhapatlou groundwater project, Botswana.**

Se analiza un estudio de una cuenca sedimentaria en Bostwana, cuyo objetivo es determinar la estructura de dicha cuenca. Se trata de una zona de rocas sedimentarias sobre basamento cuarzítico. La profundidad de investigación está en torno a 400 m. Para ello se utilizan medidas AMT comparadas con datos gravimétricos y magnéticos. Los resultados obtenidos con los distintos métodos coinciden bastante bien aunque se puede decir que el método AMT es el más efectivo a la hora de cartografiar la cuenca (Figura 23).

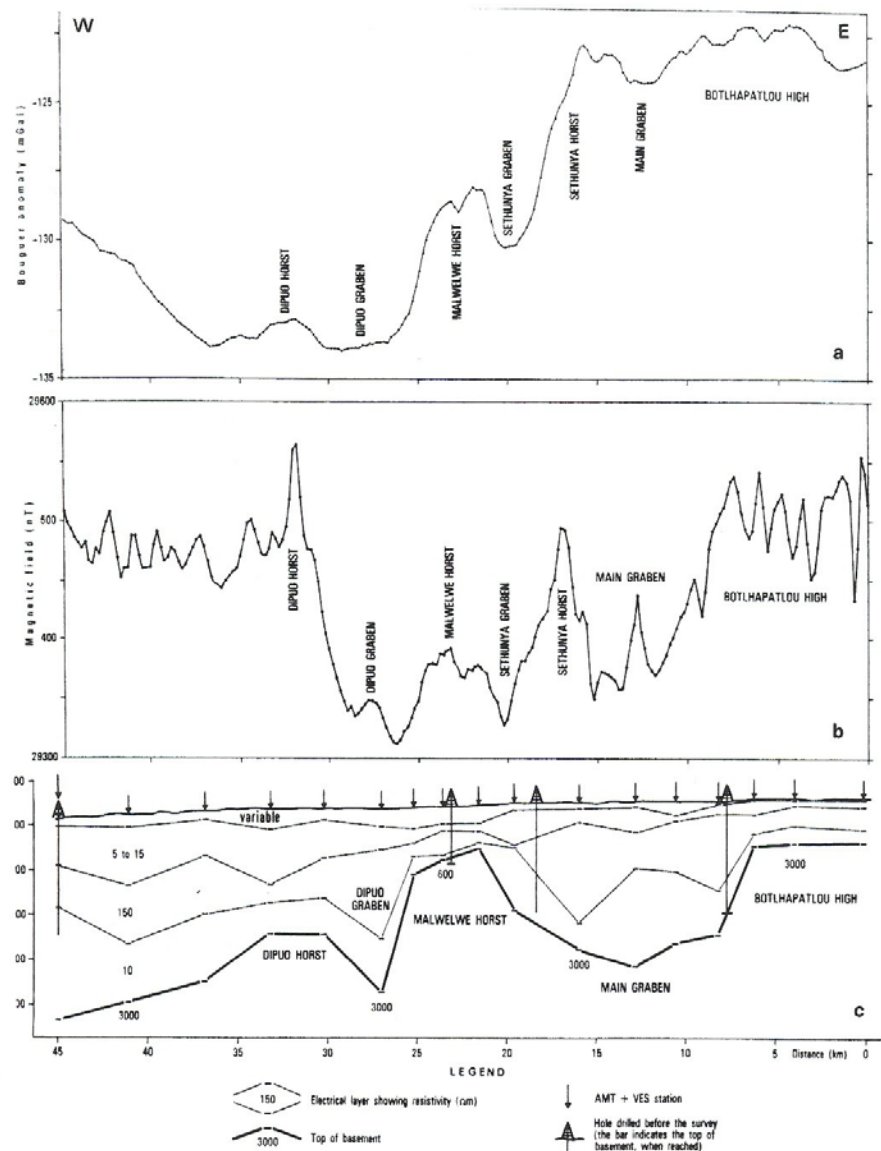


Fig. 23 Modelación de una cuenca utilizando AMT, Gravimetría y Magnetometría

- *Chouteau, M., Krivochieva, S., Castillo, R., Moran, T.G. and Jouanne, V. 1993. Study of the Santa Catarina aquifer system (Mexico, Basin) using magnetotelluric soundings.*

Este estudio, realizado con sondeos magnetotéluricos en el acuífero de Santa Catarina en México, se lleva a cabo con el fin de definir la estratificación, profundidad y geometría del acuífero. La zona de estudio se encuentra en una cuenca que al Norte limita con una zona de lazas y tobas basálticas del Plioceno y rocas cuaternarias, y al Sur con lavas volcánicas del Cuaternario. El acuífero presenta una zona de muy baja permeabilidad, una parte granular, y una unidad permeable profunda compuesta por rocas volcánicas fracturadas. La profundidad de investigación supera los 1000 m.

Se establece un modelo y posteriormente una interpretación litológica (Figuras 24 y 25). Se llega a la conclusión de que para acuíferos profundos (de más de 200 m) los sondeos magnetotéluricos y audiomagnetotéluricos MT/AMT representan el método con mejor relación coste – efectividad posible.

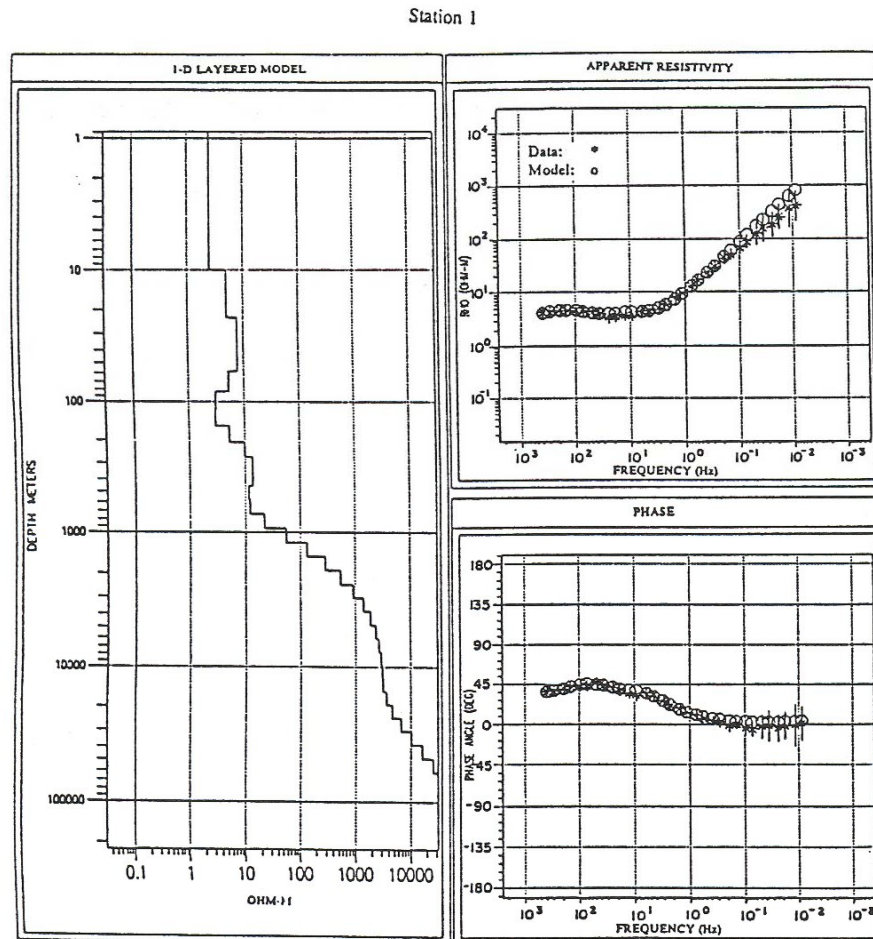


Fig. 24 Ejemplo de sondeo magnetotélurico: medición e interpretación.

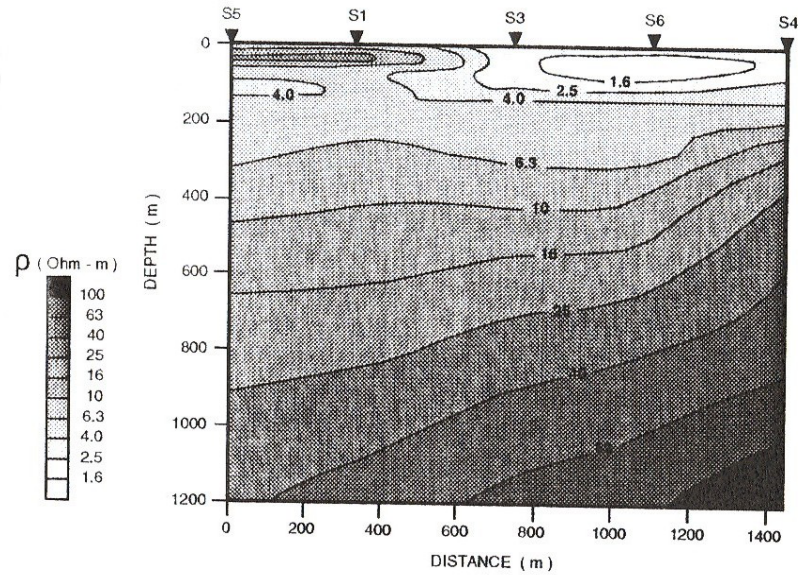


Fig. 15. 2-D resistivity model, from 0 to 1300 m, obtained by stitching the results of 1-D Occam's inv

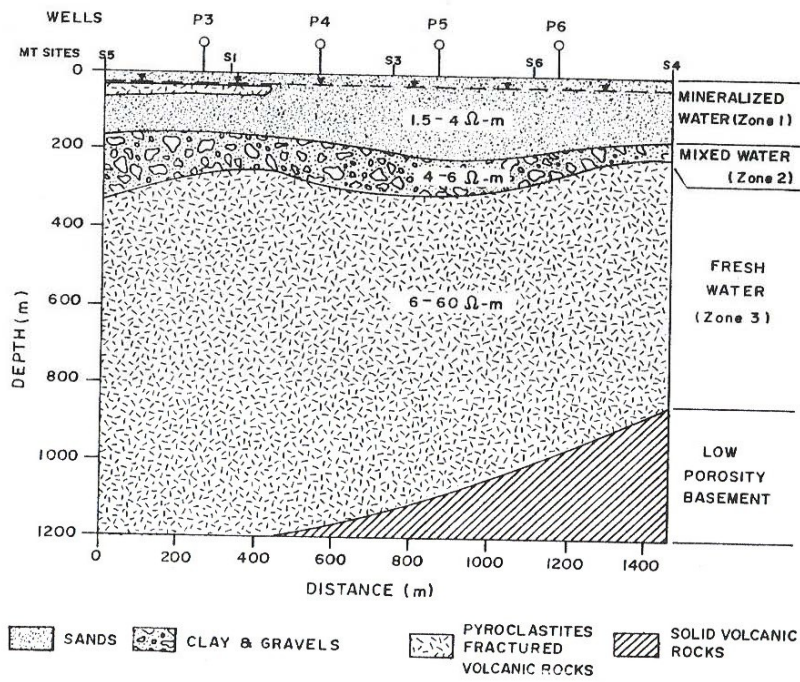


Fig. 16. Geological-hydrogeological section of the Chalco sub-basin below the MT profile modelled from interpretation of the MT data.

Fig. 25 Modelación de un perfil de sondeos magnetotelúrico: sección geoelectrica y versión geológica.

- **Giroux, B., Chouteau, M., Descloutres, M. and Ritz, M. 1997. Use of the magnetotelluric method in the study of the deep Maestrichtian aquifer in Senegal.**

Se trata de un estudio realizado mediante sondeos magnetotelúricos en un acuífero profundo en Senegal. El acuífero está confinado en arenas del Maestrichtiense, que a su vez están incrustadas en capas sedimentarias conductoras de la cuenca Mauritania – Senegalesa. Los resultados obtenidos muestran que el método empleado da buenos resultados sobre la geometría del acuífero, y que se pueden utilizar para hacer una estimación de la porosidad efectiva mediante la fórmula de Archie (a partir del contenido en sal).

Se realiza una interpretación litológica y se determina el límite de la superficie de agua dulce (Figura 26). La profundidad de investigación está en torno a los 1000 m. No se pudo establecer el límite superior del acuífero; normalmente este dato se puede determinar por pozos de agua.

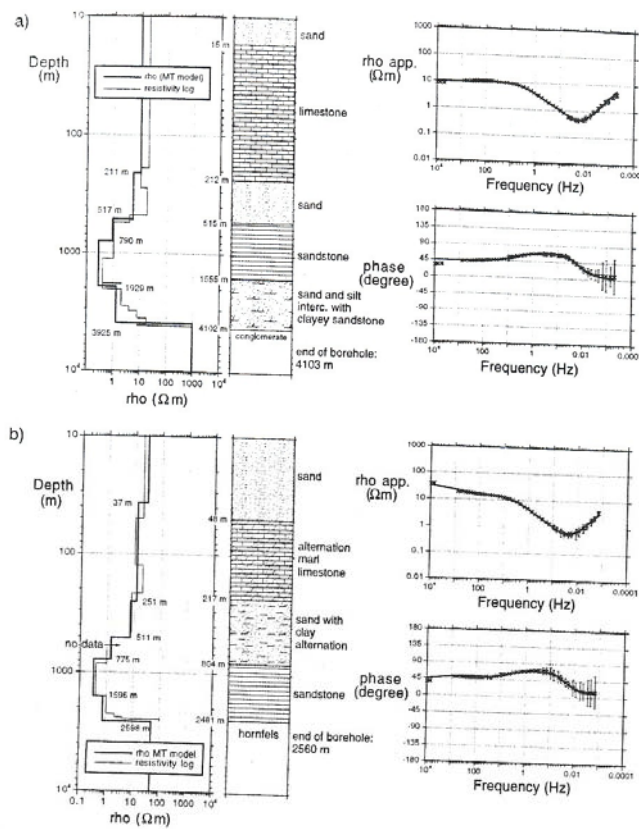


Fig. 7. 1D Marquardt inversion of determinant impedance for (a) s03 (Diourbel) and (b) s04 (Kolobane). On the left is the magnetotelluric model (thick line) and the resistivity log (thin line) recorded in oil wells close to the MT soundings; the depth labels are the depths to the layer boundaries. A schematic representation of the lithology is included for comparison. On the right, the fitting between the measured apparent resistivity and phase (crosses) and the model response (solid line) is displayed.

Fig. 26 Interpretación de sondeo MT

- **Ritz, M., Descloitres, M., Robineau, B. and Courteaud, M.1997. Audiomagnetotelluric prospecting for groundwater in the Baril coastal area, Piton de la Fournaise Volcano, Reunion Island.**

Estudio realizado en la zona del volcán Piton de la Fournaise, en el suroeste del océano Índico mediante sondeos audiomagnetotelúricos AMT. Es una zona volcánica situada entre dos escudos volcánicos formados durante los últimos 5 millones de años. El objetivo es la determinación de la estratificación de la resistividad con la profundidad, así como delimitar las intrusiones marinas. Se presenta un modelo de resistividades, y una interpretación hidrogeológica de la zona (Figura 27).

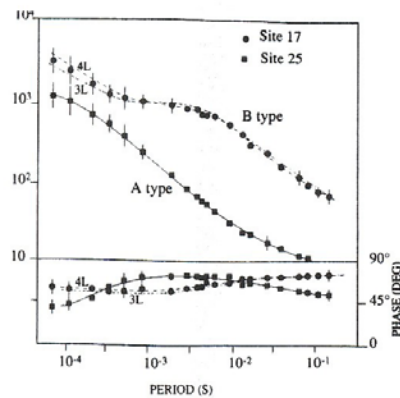


Fig. 2. Typical AMT results at sites 17 and 25 (Figure 1). The continuous and dashed lines are the responses to the models from 1-D inversions. The models are defined in Figure 3. Responses 3L and 4L refer to three- and four-layer models from site 17, respectively. The errors bars in some cases are smaller in the symbol.

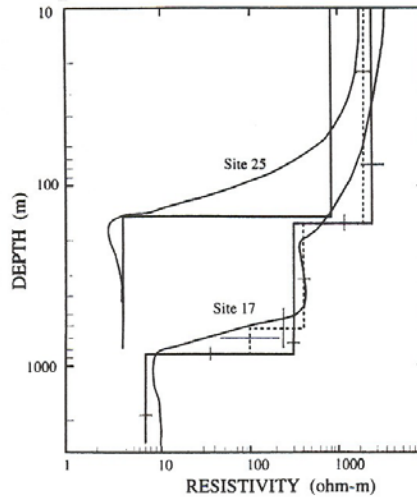


Fig. 3. 1-D layered and smooth inversion results for typical sites 17 and 25. The solid and dash lines are three- and four-layer models for site 17, respectively. Uncertainties on the layer boundaries and estimates of resistivities are 90% confidence limits (not shown when too small, in particular for site 25).

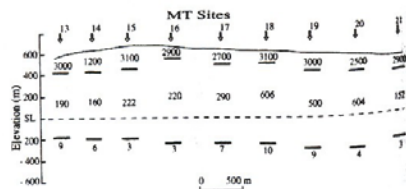


Fig. 4. Single site resistivity models calculated by 1-D inversion for profile AB (Figure 1). Numbers denote resistivity in $\Omega\cdot m$. At the top of the figure, the solid line is the topographical variation at sea level.

Fig. 27 Interpretación de datos MT

3.5 Gravimetría

Ejemplos de aplicación de este método pueden encontrarse en Álvarez, R. (1990), Anecchione et al. (2001), Bourgeois, B. et al. (1993), Dodds A.R. et al. (1990), French, R.B. et al. (2003), y Roselli, A. et al. (1998). Los objetivos para lo que se ha utilizado han sido para determinar:

Topografía de la roca base para el estudio del flujo de agua subterránea.

Cartografía y estudio estructural del basamento

Localización de zonas de falla

- ***Anecchione, M.A., Chouteau, M., Keating, P. 2001. Gravity interpretation of bedrock topography : the case of Oak Ridges Moraine, southern Ontario, Canada.***

Se trata de un estudio llevado a cabo en Oak Ridges Moraine en Ontario, Canadá. El área se compone de capas discontinuas de sedimentos Pleistocenos de origen glacial (arcillas, tills, arenas y gravas) sobre una roca base caliza del Ordovícico. Se realiza un procesado e interpretación de datos gravimétricos del Servicio Geológico de Canadá con el fin de obtener la topografía de la roca base. La profundidad de investigación está en torno a los 400 m. Tras separar la anomalía residual, se realiza una inversión siguiendo dos métodos: considerando bloques infinitos y un contraste uniforme de densidad, e inversión 3D para distribución de densidad. La topografía encontrada por ambos métodos es similar en estructura, y además los resultados se corresponden con datos sísmicos.

3.6 Magnético

Ejemplos de aplicación de este método pueden encontrarse en Bourgeois, B. et al. (1993), Dodds et al. (1990), French, R.B. et al (2003), y Gwaze, P et al. (2000), utilizándose para determinar:

Topografía, profundidad, cartografía del basamento

Localización de zonas de falla

3.7 Polarización Inducida

Ejemplos de aplicación de este método pueden encontrarse en Yousefi (1991), para detección de agua salada.

- ***Yousefi, E. Et al. 1991. First application of IP method in Iran to boundary detection of deeply buried salty and sweet water aquifers.***

Se trata del estudio de un acuífero en Irán (en una zona en la que el agua es necesaria para la agricultura y la industria), utilizando el método de la Polarización Inducida, cuyo objetivo es la determinación de la zona de transición agua dulce / salada. Se establecen los siguientes límites en profundidad: 80 m - 170 m: agua dulce; 170 m- 320 m: la salinidad aumenta con la profundidad, y 320 m-500 m: agua salada. Se puede establecer que la aplicación de este método da buenos resultados y se piensa su aplicación en otras partes del país con el mismo fin.

3.8 Potencial Espontáneo.

Un ejemplo puede encontrarse en Olivar A.L. de Lima (1993), para determinar: calidad del agua y flujo vertical mediante datos de temperatura.

REFERENCIAS:

Álvarez. R. 1990. Geophysical determination of buried geological structures and their influence on aquifer characteristics. *Geoexploration*. Vol 27. Pag 1 – 24.

Annechione, M.A., Chouteau, M., Keating, P. 2001. Gravity interpretation of bedrock topography : the case of Oak Ridges Moraine, southern Ontario, Canada. *Journal of Applied Geophysics*. Vol 47. Pag 63-81.

Audigane, P., Royer, J.J., and Kaieda, H. 2002. Permeability characterization of the Soultz and Ogachi large – scale reservoir using induced microseismicity. *Geophysics*. Vol 67. Pag 203-211.

Bourgeois, B., Mathieu, B., Vachette C., and Vaubourg, P. 1993. AMT Measurements compared with gravimetry and magnetometry for structural study of a sedimentary basin. Letlhakeng – Botlhapatlou groundwater project, Botswana. *Journal of Applied Geophysics*. Vol 31. Pag 7-25.

Chouteau, M., Krivochieva, S., Castillo, R., Moran, T.G. and Jouanne, V. 1993. Study of the Santa Catarina aquifer system (Mexico, Basin) using magnetotelluric soundings. *Journal of Applied Geophysics*. Vol 31. Pag 85-106.

Danielsen, J.E., Auken, E., Jorgensen, F., Sondergaard, V., Sorensen, K.I. The application of the transient electromagnetic method in hydrogeophysical surveys. *Journal of Applied Geophysics*, Oct 2003. Volume 53. Pag 181 – 198.

Dodds A.R. and Ivic, D. 1990. Integrated geophysical methods used for groundwater studies in the Murray Basin, South Australia. Del libro (GG58): Geotechnical and environmental geophysics. *Soc. Expl. Geophys.* Vol 2, 303 – 310.

Fitterman D. V. and Stewart, M. T. 1986. Transient electromagnetic sounding for groundwater. *Geophysics*, Vol 51 (1986-1), 995 – 1005.

French, R.B., Jenks, M.D. and Connard, G.G. Geophysical investigations for groundwater in the lower Klamath lake basin, Oregon. SAGEEP-002. 9 th European Meeting of Environmental and Engineering, Geophysical Society, 2003.

Geissler, P.E. 1989. Seismic reflection profiling for groundwater studies in Victoria, Australia. *Geophysics*, Vol 54 (1989), 31 – 37.

Giroux, B., Chouteau, M., Descloutres, M. and Ritz, M. 1997. Use of the magnetotelluric method in the study of the deep Maestrichtian aquifer in Senegal. *Journal of Applied Geophysics*. Vol 38. Pag 77-96.

Goldman, M. , Gilad, D., Ronen A. and Melloul, A. 1991. Mapping of seawater Intrusion into the coastal aquifer of Israel by the domain electromagnetic method. *Geoexploration*. Vol 28. Pag 153-174.

Gwaze, P., Dahlin, T., Owen, R., Gwavava, O. and Danielsen, J. Geophysical investigations of the Karoo Aquifer at Nyamandhlovu, Zimbabwe. HY04. 6 th Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. 2000.

Liberty, L. 1998. Seismic reflection imaging of a geothermal aquifer in an urban setting. Geophysics. Vol 63. Pag 1285-1294.

Krivochieva, S. and Chouteau, M. Integrating TDEM and MT methods for characterization and delineation of the Santa Catarina aquifer (Chalco Sub-Basin, Mexico). Journal of Applied Geophysics, Volume 52, Issue 1, January 2003, Pages 23-43.

Meekes, J.A. and Will, M.F.P. 1991. Comparison of seismic reflection and combined TEM/VES methods for hydrogeological mapping. First Break, Vol 9 (1991), issue 12, 543–551.

Meju, M.A., Fontes, S.L., Oliveira, M.F.B., Lima, J.P.R., Ulugergerli E.V. and Carrasquilla, A.A. 1999. Regional aquifer mapping using combined VES-TEM- AMT/EMAP methods in the semiarid eastern margin of Parnaiba Basin, Brazil. Geophysics. Vol 64. Pag 337-356.

Olivar A.L. de Lima, 1993. Geophysical evaluation of sandstone aquifers in the Reconcavo - Tucano Basin, Bahía – Brazil. Geophysics, Vol 58. 1689 – 1702.

Plata, J.L. 2000. Técnicas convencionales de Geofísica de superficie aplicadas en Hidrogeología. Del libro “Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en Hidrogeología”

Ritz, M., Descloitres, M., Robineau, B. and Courteaud, M. 1997. Audiomagnetotelluric prospecting for groundwater in the Baril coastal area, Piton de la Fournaise Volcano, Reunion Island. Geophysics. Vol 62. Pag 758-762.

Rocha, R. Hydrogeological implications of Beja Fault Location using geoelectrical methods. 8 th Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. 2002. En la sección de Poster: pag 367.

Roselli, A., Olivier, R., Veronese, G. Gravity and seismic reflection applied to the hydrological research in a large alpine valley. IV Meeting of Environmental and Engineering, Geophysical Society. 1998. Pag 225.

Shapiro, S. A., Rothert, E., Rath, V. and Rindschwentner, J. 2002. Characterization of fluid transport properties of reservoirs using induced microseismicity. Geophysics. Vol 67. Pag 212-220.

Van Overmeeren, R.A. 1989. Aquifers boundaries explored by geoelectrical measurements in the coastal plain of Yemen. A case of equivalence. Geophysics, Vol 54 (1989), 38 – 48.

Yousefi, E. and Kimiaghalam, J. 1991. First application of IP method in Iran to boundary detection of deeply buried salty and sweet water aquifers. (C/2) 53 rd Mtg Ein. Asso. Exp. Geophys Abstracts; E. Asoc. E. Geophy 328 – 329.

ANEXO II

Informe de Sedelam sobre el sondeo San Juan (Cabanés)

**INFORME DEL RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO DEL SONDEO DE
INVESTIGACIÓN CABANES (CABANES -CASTELLÓN)**

Murcia, Agosto de 2.005

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CAPTACIÓN.....	1
2. TRABAJOS REALIZADOS	4
3. RESULTADOS OBTENIDOS	4
3.1. REGISTRO DE LA RADIACIÓN GAMMA NATURAL.....	4
3.2. REGISTRO DE CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA	7
4. CONCLUSIONES	9
5. ANEJOS	11

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El presente informe se realiza a petición de la empresa, **Sociedad de Fomento Agrícola Castellonense, S.A (FACSA)**, Empresa que gestiona el Ciclo Integral del Agua en el municipio de Cabanes (Castellón), con el fin de conocer las características del acuífero carbonatado captado por el sondeo de investigación Cabanes, que formará parte del sistema de abastecimiento al municipio.

El sistema de perforación utilizado para la realización de la captación ha sido rotoperCUSión a circulación inversa, con los siguientes diámetros de perforación.

De 0 a 714 m.....250 mm de diámetro.

De 714 a 1.004 m.....204 mm de diámetro.

La perforación se encuentra entubada con tubería de chapa de acero al carbono desde los 0 a los 308 metros de profundidad.

El objetivo, del presente informe, es determinar con mayor exactitud la litología y calidad de las aguas captadas.

1.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CAPTACION

El sondeo reconocido se encuentra ubicado en el término municipal de Cabanes (Provincia de Castellón).

Posee las siguientes coordenadas U.T.M.:

DENOMINACIÓN	COORD. X-U.T.M	COORD. Y-U.T.M	COTA (m s.n.m)
Sondeo de investigación Cabanes I	248.748	4.451.252	300

Tabla nº 1.

En la figura nº 1 se muestra la situación geográfica del sondeo.

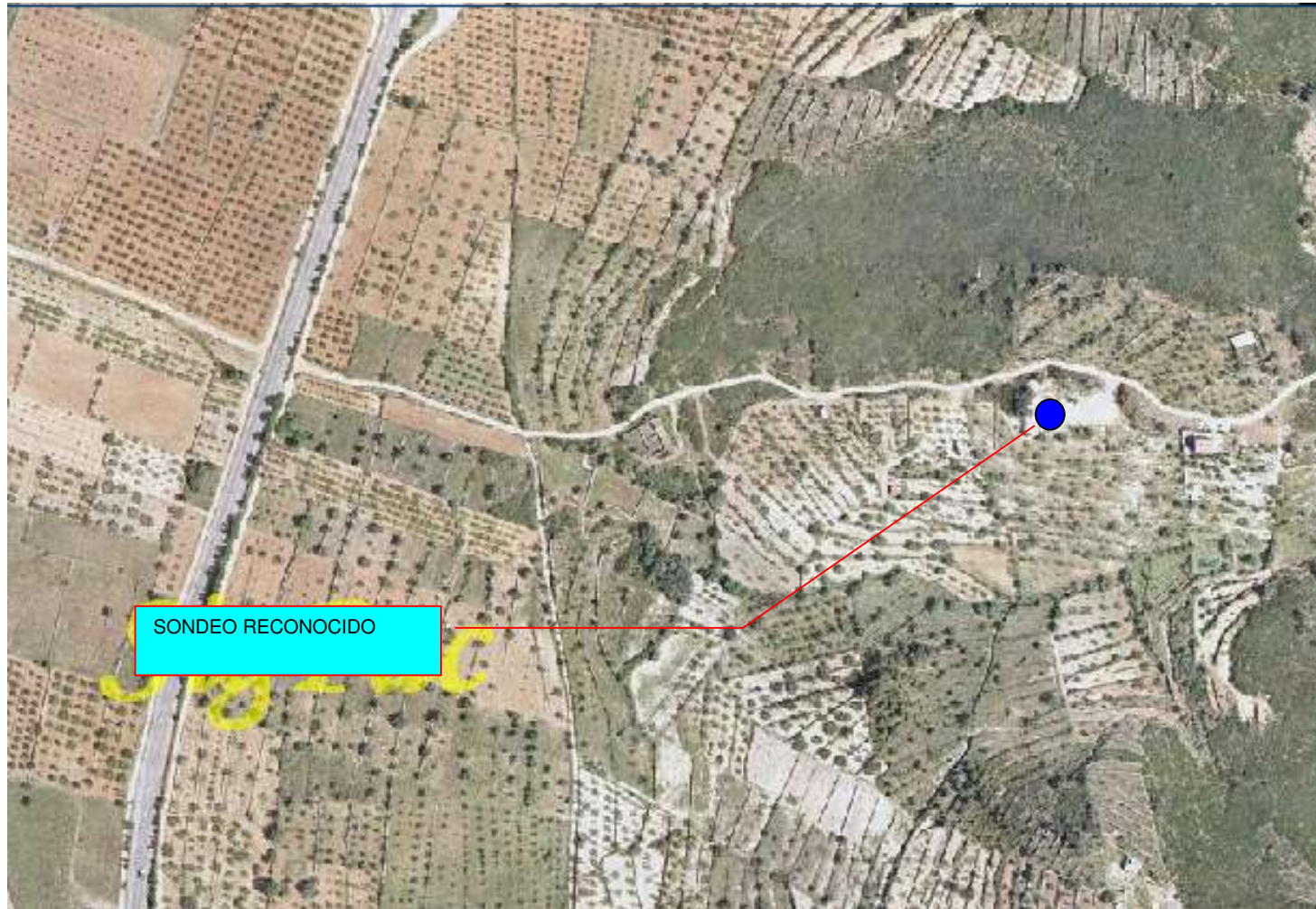


FIGURA Nº 1.- ORTOFOTOMAPA DE SITUACIÓN DEL SONDEO RECONOCIDO

2. TRABAJOS REALIZADOS

Para la testificación de la captación se han realizado las siguientes actividades:

1º.- Testificación litológica mediante sonda de resistividad y gamma.

2º.- Testificación de Conductividad y temperatura.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. REGISTRO DE LA RADIACIÓN GAMMA NATURAL

Los datos iniciales proporcionados por FACSA, indican que el sondeo cortó una serie carbonatada constituida por calizas, dolomías, calizas dolomíticas y Margas de edad Cretácica Inferior-Jurásica (ver tabla nº).

TRAMO	DESCRIPCIÓN	EDAD
De 0 a 129 m	Areniscas y calizas arenosas	Cretácico Inferior -Albiense
De 129 a 205 m	Calizas dolomíticas y dolomías	
De 205 a 238 m.	Calizas bioclásticas	Gargasiense.
De 238 a 438 m.	Margas, margocalizas y calizas margosas.	Bedouliense.
De 438 a 517 m.	Dolomías grises.	Portlandiense.
De 517 a 796 m	Calizas micríticas	
De 796 a 797 m	Dolomías y limolitas	
De 797 a 800 m	Calcita y dolomita	
De 800 a 991 m	Dolomías con presencia ocasional de pírta.	
De 991 a 1004 m	Arcillas plásticas	Trías

Tabla nº 2. Datos de la columna litológica obtenida por Facsa.

Por ello, en función del valor de la radiación gamma, corregida para 125 mm de diámetro y agua como fluido interior, se hace la siguiente diferenciación:

- Calizas (C): Entre 10 y 15 API.
- Dolomías (D) : Entre 15 y 22 API.
- Calizas dolomíticas (CD): Entre 22 y 30 API.
- Margas (M) : Entre 60 y 100 API.
- Calizas margosas (CM): Entre 30 y 40 API
- Margocalizas (MC): Entre 40 y 60 API

En el cuadro adjunto se describen los tramos interpretados en el registro de la radiación gamma natural.

TRAMO	DESCRIPCIÓN	CARACTERIZACIÓN
De 0 a 72 m	35-40 CM-A	Areniscas y calizas arenosas
De 72 a 124 m	20-25 CD	Calizas dolomíticas
De 124 a 130 m.	30 CM	Calizas margosas
De 130 a 204 m.	20 D	Dolomías
De 204 a 218 m.	40-60 MC	Margocalizas
De 218 a 228 m	20 D	Dolomías
De 228 a 236 m	10 C	Calizas
De 236 a 244 m	30 CM	Calizas margosas
De 244 a 254 m	50-80 MC	Margocalizas
De 254 a 256 m	30 CM	Calizas margosas
De 256 a 264 m	80-90 M	Margas
De 264 a 268 m	30 CM	Calizas margosas
De 268 a 276 m	60 MC	Margocalizas
De 276 a 280 m	20 D	Dolomías
De 280 a 282 m	60 MC	Margocalizas
De 282 a 286 m	30 CM	Calizas margosas
De 286 a 290 m	60 MC	Margocalizas
De 290 a 296 m	20 D	Dolomías
De 296 a 308 m	40 CM	Calizas margosas
De 308 a 312 m	20 D	Dolomías
De 312 a 324 m	80 M	Margas

TRAMO	DESCRIPCIÓN		CARACTERIZACIÓN
De 324 a 352 m	20	D	Dolomías
De 352 a 357 m	40	CM	Calizas margosas
De 357 a 362 m	20	D	Dolomías
De 362 a 368 m	50	MC	Margocalizas
De 368 a 372 m	30	CM	Calizas margosas
De 372 a 376 m	70	M	Margas
De 376 a 379 m	40	CM	Calizas margosas
De 379 a 382 m	70	M	Margas
De 382 a 388 m	30	CM	Calizas margosas
De 388 a 395 m	40-50		
De 395 a 432 m	20-30	CD	Calizas dolomíticas
De 432 a 440 m	30-40	CM	Calizas margosas
De 440 a 456 m	20-30	CD	Calizas dolomíticas
De 456 a 520 m	10-15	C	Calizas
De 520 a 542 m	20-40	CM	Calizas margosas
De 542 a 588 m	10-15	C	Calizas
De 588 a 596 m	100	M	Margas
De 596 a 630 m	20-30	CD	Calizas dolomíticas
De 630 a 642 m	60	MC	Margocalizas
De 642 a 666 m	20-30	CD	Calizas dolomíticas
De 666 a 674 m	20	D	Dolomías
De 674 a 694 m	30-40	CM	Calizas margosas
De 694 a 720 m	10-20	C	Calizas
De 720 a 730 m	30	CM	Calizas margosas
De 730 a 734 m	60	MC	Margocalizas
De 734 a 746 m	30	CM	Calizas margosas
De 746 a 756 m	40-50	MC	Margocalizas
De 756 a 768 m	80	M	Margas
De 768 a 776 m	20	D	Dolomías
De 776 a 790 m	50-60	MC	Margocalizas
De 790 a 810 m	100-110	M	Margas
De 810 a 814 m	20	D	Dolomías
De 814 a 824 m	80-100	M	Margas
De 824 a 830 m	20	D	Dolomías
De 830 a 850 m	80-90	M	Margas
De 850 a 868 m	60	MC	Margocalizas
De 868 a 874 m	50		
De 874 a 880 m	70-90	M	Margas
De 880 a 884 m	40	CM	Calizas margosas

TRAMO	DESCRIPCIÓN	CARACTERIZACIÓN
De 884 a 892 m	110	M Margas
De 892 a 930 m	70	
De 930 a 936 m	40	CM Calizas margosas
De 936 a 948	40-80	MC Margocalizas
De 948 a 958 m	40	CM Calizas margosas
De 958 a 966 m	80-100	M Margas
De 966 a 986 m	Relleno	

*Las profundidades tienen como referencia el borde superior de la tubería de revestimiento.

Tabla nº 3.

3.2. REGISTRO DE CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA

Los resultados se resumen en el cuadro siguiente.

TRAMO	CONDUCTIVIDAD (μS/cm) a 25°C		TEMPERATURA (°C)		Gradiente (°C/100 m)	
	Temperatura	Conductividad	TECHO	MURO		
De 254 a 350 m	De 254 a 284 m	1100	1000	19	20.8	+ 1.88
	De 284 a 324 m	1000	900			
	De 324 a 336 m	900	850			
De 350 a 398 m	De 336 a 354	850	920	20.8	22	+ 2.50
	De 354 a 396 m	920	900			
De 398 a 442 m	De 396 a 404 m	900		22	23	+ 2.27
	De 404 a 420 m	900	910			
	De 420 a 434 m	910	900			
	De 434 a 444 m	900				
De 442 a 540 m	De 444 a 452 m	900	850	23	25	+ 2.04
	De 452 a 504 m	850				
	De 504 a 516 m	850	840			
De 540 a 712 m	De 516 a 690 m	840	880	25	30	+ 2.91
De 712 a 732 m	De 690 a 714 m	880	980	30	33.8	+ 19
De 732 a 900 m	De 714 a 820 m	980	1100	33.8	36	+ 1.31
	De 820 a 912 m	1100	1250			
De 900 a 964 m	De 912 a 920 m	1250	1350	36	37	+ 1.56
	De 920 a 936 m	1350	1400			

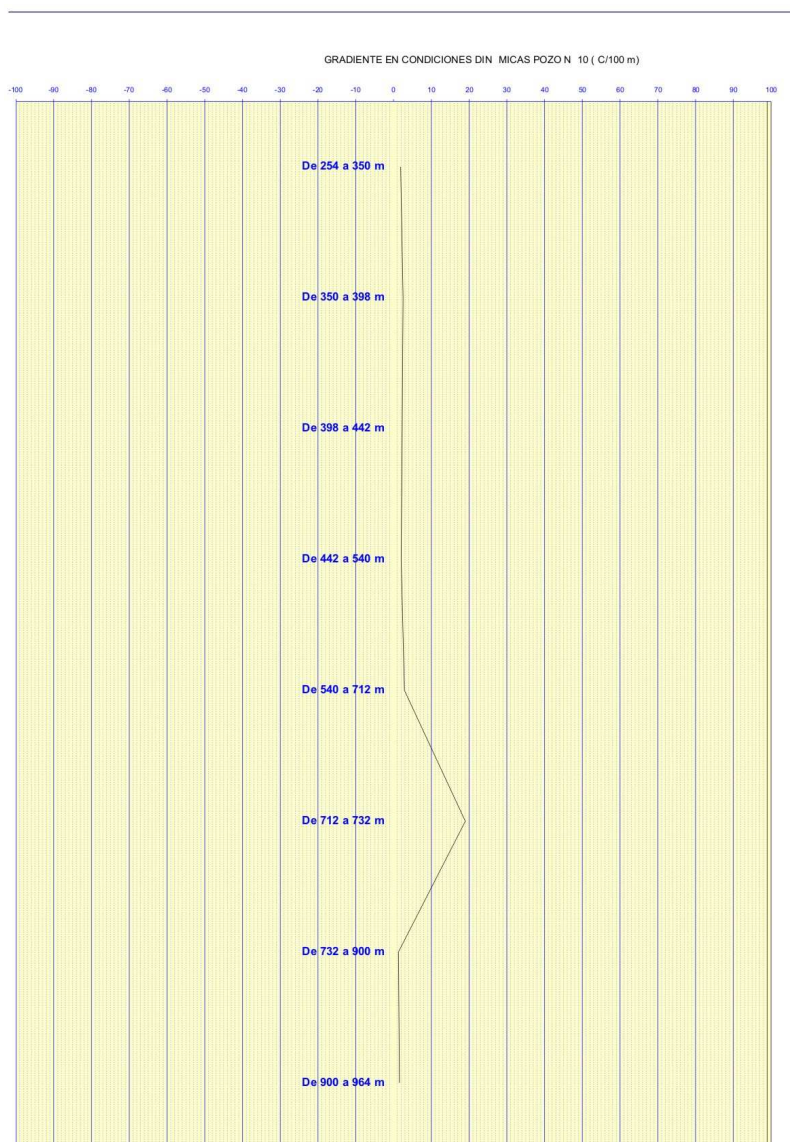
TRAMO	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$) a 25°C	TEMPERATURA (°C)		Gradiente (°C/100 m)
		TECHO	MURO	
Temperatura	Conductividad			
	De 936 a 944 m	1400	1500	
	De 944 a 964 m	1500	1600	

* Las profundidades tienen como referencia el borde superior de la tubería de revestimiento.

Tabla nº 4.4.

El gradiente térmico medio del agua es de + 2,54 ° C/100 m.

Un análisis más detallado de los valores de temperatura, mediante la obtención del gradiente térmico y que se representa en la figura nº 4.1, pone de manifiesto la existencia de diferentes tramos a lo largo de la captación de la captación.



4. CONCLUSIONES

- La captación reconocida atraviesa una serie carbonatada de edad Cretácica y Jurásica, con base impermeable constituida por arcillas del Trías, que no han sido detectadas durante el registro realizado, ya que la captación, previsiblemente quedaba rellena desde los 966 metros.
- La perforación se encuentra entubada hasta alcanzar los 308 m, con tubería de chapa de acero al carbono, que da como resultado que la señal de la sonda de resistividad quede cortocircuitada, desde el nivel piezométrico hasta alcanzar el final de la entubación. El resto de la captación se encuentra sin entubar en un diámetro de 204 mm.
- El registro de litología ha puesto de manifiesto la existencia de tramos alternos de calizas y calizas dolomíticas, con tramos de margas y margocalizas, que pueden servir como correlación a la hora de determinar la edad y potencia de los materiales atravesados. Destaca la presencia de un tramo superior constituido por calizas dolomíticas de unos 130 metros de espesor, presentando a base un material más margoso que presenta una potencia aproximada de 124 metros, tras los cuales se detectan dolomías con un espesor de unos 20 metros, que son el techo de unas margas y margocalizas que presentan un espesor de unos 40 metros. A base de este nivel más margoso se detecta un nuevo nivel calizo dolomítico, de unos 40 metros de espesor a techo, seguido de unos 90 metros de material calizo con intercalaciones calizo dolomíticas de unos 130 metros de espesor. A continuación, aparecen diferentes tramos de intercalaciones más margosas, con bancos de calizas de unos 20 metros, que dan paso, a base, a un tramo más margoso con intercalaciones de bancos calizos de unos dos metros que se extiende desde los 756 a los 964 metros de profundidad.

- Con respecto a la calidad del agua, la testificación ha puesto de manifiesto un incremento progresivo de la temperatura con la profundidad, oscilando desde los 19°C en el comienzo del registro en el nivel piezométrico hasta alcanzar los 37°C a los 964 metros de profundidad. Con los datos de temperatura se ha elaborado un gráfico de gradientes, poniéndose en evidencia la presencia de un incremento positivo entre los 712 y 732 metros de profundidad. Por otro lado, la conductividad eléctrica define tres grandes zonas. Una primera zona que abarca desde los 254 a los 324 metros de profundidad con una conductividad que oscila entre los 1.000 y 1.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Una segunda zona de menor conductividad que abarca entre los 324 y 690 metros de profundidad con una conductividad entre los 840 y 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por último un tercer tramo de mayor conductividad que abarca desde los 714 a los 964 metros de profundidad con una conductividad que oscila entre los 900 y 1.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- En definitiva, con los datos de conductividad y temperatura, conjuntamente con la definición de la columna litológica, se pone de manifiesto que los tramos preferenciales de aporte de agua al interior de la captación son los siguientes:
- De 324 a 350 metros de profundidad.
 - De 396 a 398 metros de profundidad.
 - De 442 a 446 metros de profundidad.
 - De 504 a 516 metros de profundidad.
 - De 688 a 690 metros de profundidad.
 - De 712 a 716 metros de profundidad.
 - De 912 a 920 metros de profundidad.
 - De 938 a 944 metros de profundidad.

5. ANEJOS

ANEXO III

Tabla de ficheros generados en la digitalización de testificaciones

MAESTRAZGO-1

TÍTULO	ESCALA	RUN	TECHO	MURO	LONGITUD	CURVAS DIGITALIZADAS	TIFF	LAS
Borehole Compensated Sonic Log	1:500	1	10	200	190	-Gr -Dt	BOREHOLE_COMP_SONIC_LOG.TIF	DT_GR_MAESTRAZGO-1-10-2484.las DT_GR_MAESTRAZGO-1-2475-2900.las
Borehole Compensated Sonic Log	1:500	2	375	1625	1250	-Gr -Dt	BOREHOLE_COMP_SONIC_LOG.TIF	DT_GR_MAESTRAZGO-1-10-2484.las DT_GR_MAESTRAZGO-1-2475-2900.las
Borehole Compensated Sonic Log	1:500	2	200	415	215	-Gr -Dt	BOREHOLE_COMP_SONIC_LOG.TIF	DT_GR_MAESTRAZGO-1-10-2484.las DT_GR_MAESTRAZGO-1-2475-2900.las
Borehole Compensated Sonic Log	1:500	3	1750	2490	740	-Gr -Dt	BOREHOLE_COMP_SONIC_LOG.TIF	DT_GR_MAESTRAZGO-1-10-2484.las DT_GR_MAESTRAZGO-1-2475-2900.las
Borehole Compensated Sonic Log	1:200	4	2474	2904.8	430	-Gr -Dt	BOREHOLE_COMP_SONIC_LOG.TIF	DT_GR_MAESTRAZGO-1-10-2484.las DT_GR_MAESTRAZGO-1-2475-2900.las
Simultaneous Compensated Neutron Formation Density	1:200	1	204	410	206	-Rhob -Drho	RHOB_MAESTRAZGO.TIF	RHOB_maestrazgo1.las DRHOB_maestrazgo1.las
Simultaneous Compensated Neutron Formation Density	1:200	2	350	1624	1274	-Rhob -Drho	RHOB_MAESTRAZGO.TIF	RHOB_maestrazgo1.las DRHOB_maestrazgo1.las
Simultaneous Compensated Neutron Formation Density	1:200	3	1184	2486	440	-Rhob -Drho	RHOB_MAESTRAZGO.TIF	RHOB_maestrazgo1.las DRHOB_maestrazgo1.las
Simultaneous Compensated Neutron Formation Density	1:200	4	2474	2908	474	-Rhob -Drho	RHOB_MAESTRAZGO.TIF	RHOB_maestrazgo1.las DRHOB_maestrazgo1.las

TÍTULO	ESCALA	RUN	TECHO	MURO	LONGITUD	CURVAS DIGITALIZADAS	TIFF	LAS
Borehole Compensated Sonic Log (with caliper)	1:200	2	204	410	206		BHCS_8303.TIF	
Borehole Compensated Sonic Log (with caliper)	1:200	2	350	1625	1275		BHCS_8304.TIF	
Borehole Compensated Sonic Log	1:200	3	1784	2487	703		BHCS_8305.TIF	
Borehole Compensated Sonic Log	1:200	4	2474	2900	1374		BHCS_8306.TIF	
Borehole Compensated Sonic Log (with caliper)	1:200	1	0	210	210		BHCS_GR-8302.TIF	
Casing Collar and Perforating	1:200	1	1784	2475	691		Casing Collar and Perforating.tif	
Cement Bond Log	1:200	1	218	2486	2268		CBL_8309.TIF	
Cement Bond Log	1:200	3	498	615	117		CBL_8310.TIF	
Cement Bond Log	1:200	2	1275	2375	1100		CBL_8311.TIF	
Dual Laterolog Simultaneous	1:200	1	204	409	205		DLL_MSFL_8315.TIF	
Simultaneous Dual Laterolog Microspherical Log	1:200	2	350	1624	1274		DLL_MSFL_8316.TIF	
Simultaneous Dual Laterolog Microspherical Log	1:200	3	1764	2465	701		DLL_MSFL_8317.TIF	

TÍTULO	ESCALA	RUN	TECHO	MURO	LONGITUD	CURVAS DIGITALIZADAS	TIFF	LAS
Simultaneous Dual Laterolog Microspherical Log	1:200	4	2474	2906	432		DLL_MSFL_8318.TIF	
Continuous Dipmeter	1:200	4	2474	2948	474		HDT_8336.TIF	
Continuous Dipmeter	1:200	1	105	1625	1520		HDT_8335.TIF	
Microlaterolog with Caliper	1:200	1	204	410	206	-CALI	MLL_ML_8323.tif	CALIPER_0200-0400.las
Microlaterolog with Caliper	1:200	2	350	1624	1274	-CALI	MLL_ML_8324.tif	CALIPER_0400-1625.las
Microlaterolog with Caliper	1:200	3	1784	2468	684	-CALI	MLL_ML_8325.tif	CALIPER_1725-2450.las
Microlaterolog Microlog	1:200	4	2474	2909	435	-CALI	MLL_ML_8326.tif	CALIPER_2450-2915.las
Informe final Maestrazgo-1								
Informe de Implantación, programa técnico, y presupuesto							-Log fundamental -Composite Log -Panel de correlación de sondeos del área de estudio. -Geochemical Log -CPI Coriband	

Nota: Los tiff tanto de DT y GR como los de densidades están unidos, salvo el run 4 del Borehole Compensated Sonic Log.

SALSADELLA-1

Nota: Los tiff tanto de DT y GR como los de densidades están unidos.

TÍTULO	ESCALA	RUN	TECHO	MURO	LONGITUD	CURVAS	TIFF	LAS
Borehole Compensated Sonic Log	1:500	1	256	570	314	-Gr -DT	Salsadella-1.tif	Salsadella- 1.las
Borehole Compensated Sonic Log (with caliper)	1:500	1	567	1071	504	-Gr -DT	Salsadella-1.tif	Salsadella- 1.las
Compensated Formation Density Log. Gamma gamma	1:500	1	567	1073	506	-Rhob -Drho	Salsadella-1.tif	Salsadella- 1.las

BOBALAR-1

TÍTULO	ESCALA	RUN	TECHO	MURO	LONGITUD	CURVAS	TIFF	LAS
Medición del diámetro	1:500	2	570	1400		-cali	PcaL_Pcorte4621.tif	CALIPER_0000-0885.las CALIPER_1650-1800.las
Medición del diámetro	1:500	3	840	1650		-cali	PcaL_Pcorte4622.tif	CALIPER_0885-1650.las
Medición del diámetro	1:500	1	10	870		-cali	PcaL_Pcorte4620.tif	CALIPER_0000-0885.las
Medición del diámetro	1:500	1	1370	1800		-cali	PcaL_Pcorte.tif	CALIPER_1650-1800.las
Log fundamental	1:500	1	0	200			LITOLOGIA-4625.tif	
Log fundamental	1:500	2	200	400			LITOLOGIA-4625-3699.tif	
Log fundamental	1:500	3	400	600			LITOLOGIA-4625-37023.tif	
Log fundamental	1:500	4	800	1000			LITOLOGIA-4625-3691.tif	
Log fundamental	1:500	5	1000	1200			LITOLOGIA-4625-3696.tif	
Log fundamental	1:500	6	1200	1400			LITOLOGIA-4625-3700.tif	
Log fundamental	1:500	7	1400	1600			LITOLOGIA-4625-3701.tif	
Log fundamental	1:500	8	1600	1800			LITOLOGIA-4625-3697.tif	
Log fundamental	1:500	9	1800	2000			LITOLOGIA-4625-3692.tif	BOBALAR-GR-NEUTRON.las
Gamma rey-neutorn	1:500	1	10	850			GR_NEUTRON.tif	BOBALAR-GR-NEUTRON.las
Gamma rey-neutorn	1:500	2	850	1850			GR_NEUTRON-4614.tif	
Laterolog	1:500	1	1000	1650			res_res_sp4617.tif	

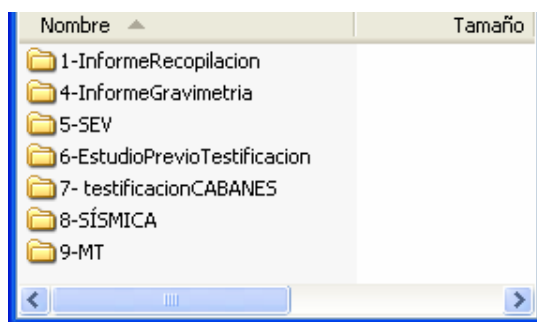
BOBALAR-2

TÍTULO	ESCALA	RUN	TECHO	MURO	TIFF	CURVAS	LONGITUD	LAS
MICROCAPLIPER	1:500	1	1100	1750	MICROCAL_RES_RES-4692.tif			
MICROCAPLIPER	1:200	1	1150	1375	MICROCAL_RES_RES-4693.tif			
Gamma rey-neutrón	1:500	1	50	1050	GR_NEUTRON-4689.tif			
Log fundamental	1:500	1	0	200	LITOLOGIA-3720.tif			
Log fundamental	1:500	2	200	400	LITOLOGIA-3713.tif			
Log fundamental	1:500	3	400	600	LITOLOGIA-3708.tif			
Log fundamental	1:500	4	600	800	LITOLOGIA-3706.tif			
Log fundamental	1:500	5	800	1000	LITOLOGIA-3715.tif			
Log fundamental	1:500	6	1000	1200	LITOLOGIA-3712.tif			
Log fundamental	1:500	7	1200	1400	LITOLOGIA-3709.tif			
Log fundamental	1:500	8	1400	1600	LITOLOGIA-3707.tif			
Log fundamental	1:500	9	1600	1800	LITOLOGIA-3710.tif			
Log fundamental	1:500	10	1800	2000	LITOLOGIA-3723.tif			
Log fundamental	1:500	11	2000	2200	LITOLOGIA-3719.tif			
Log fundamental	1:500	12	2200	2400	LITOLOGIA-3711.tif			
Log fundamental	1:500	13	2400	2600	LITOLOGIA-3717.tif			
Laterolog	1:500	2	1100	1750	SP_RES_RES4691.tif			
Laterolog	1:500	1	50	1050	SP_RES_RES4691.tif			
Temperatura	1:500	1	500	1050	TEMPERATURA-4965.tif			

ANEXO IV

Contenido del Anexo Informático (CD adjunto)

ANEXO IV- CONTENIDO DEL ANEXO INFORMÁTICO (CD)



INFORME DE RECOPIACIÓN:

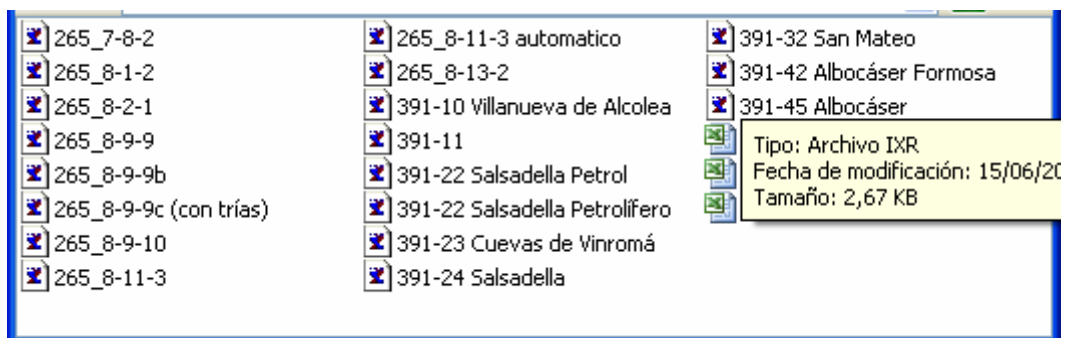
Contiene el texto del *Informe de la recopilación y análisis de la información geofísica previa en el Maestrazgo para el Proyecto HIPROMA. IGME* en formato pdf, y la tabla resumen de todos los ficheros (de datos y documentos escaneados) generados, clasificados por métodos geofísicos e informes de procedencia. Atención: los ficheros con los datos (tanto digitales como imágenes) sólo están archivados en el CD que acompaña al informe referido.

INFORME GRAVIMETRÍA:

Contiene el texto del *Informe de los trabajos de Gravimetría en el Maestrazgo para el Proyecto HIPROMA.IGME*, en formato pdf. Atención: los ficheros con los datos (tanto digitales como imágenes) generados en el trabajo de Gravimetría sólo están archivados en el CD que acompaña al informe referido.

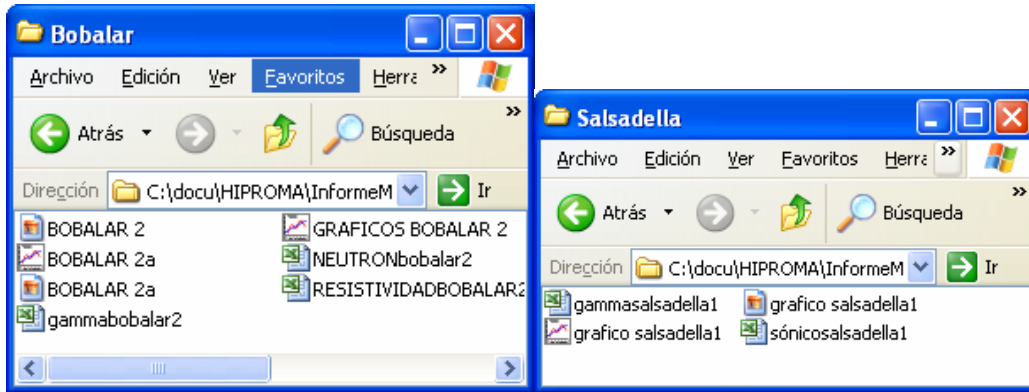
DATOS DE LA REVISIÓN DE SEV:

Contiene los ficheros con los datos de campo, modelo interpretado y curva de ajuste para los SEV revisados, en formato IXR, que precisa para ser leído la aplicación 1XID de Interpex. También se conservan los ficheros con los cálculos de distancias entre los SEV analizados y los sondeos mecánicos utilizados.



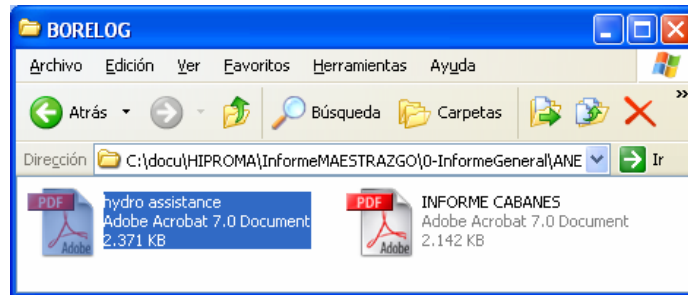
ESTUDIO PREVIO DE LAS TESTIFICACIONES DE LOS SONDEOS DE HIDROCARBUROS:

Contiene los ficheros Excel, y Grapher de los esquemas simplificados de las testificaciones de los sondeos Bobalar y Salsadella, correspondientes a las figuras 6, 8 y 9 del capítulo 6 del presente informe.

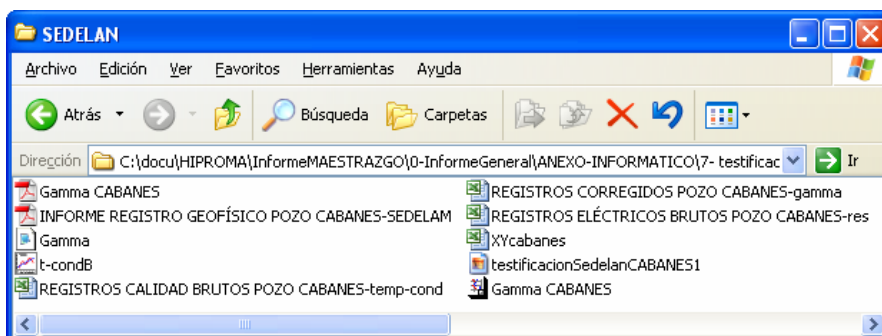


TESTIFICACIÓN DEL POZO SAN JUAN (CABANES):

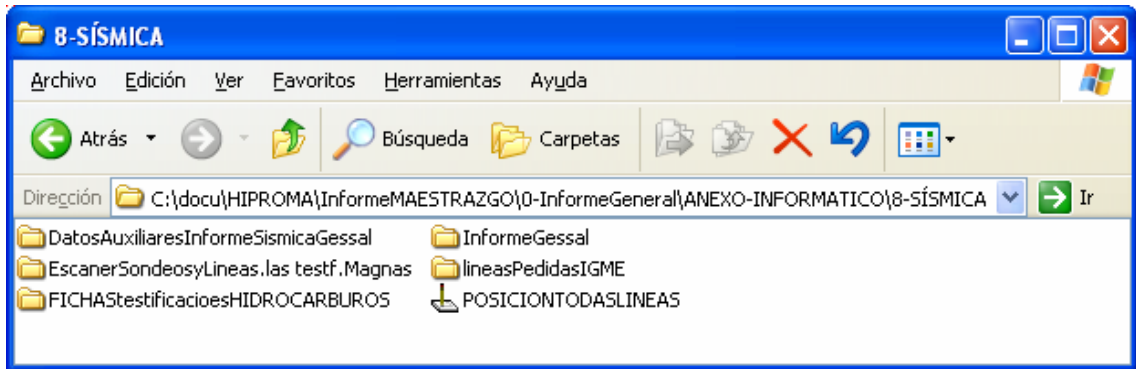
La carpeta Borelog contiene el texto del Informe sobre la *Testificación geofísica del pozo San Juan, Cabanes (Castellón).Borelog*, así como el texto del Informe facilitado por la casa HydroAssistance, responsable de la toma de muestras de agua y de la operación de testificación. Ambos en formato pdf. Atención: los ficheros con los datos (tanto digitales como imágenes) sólo están archivados en el CD que acompaña al informe referido.



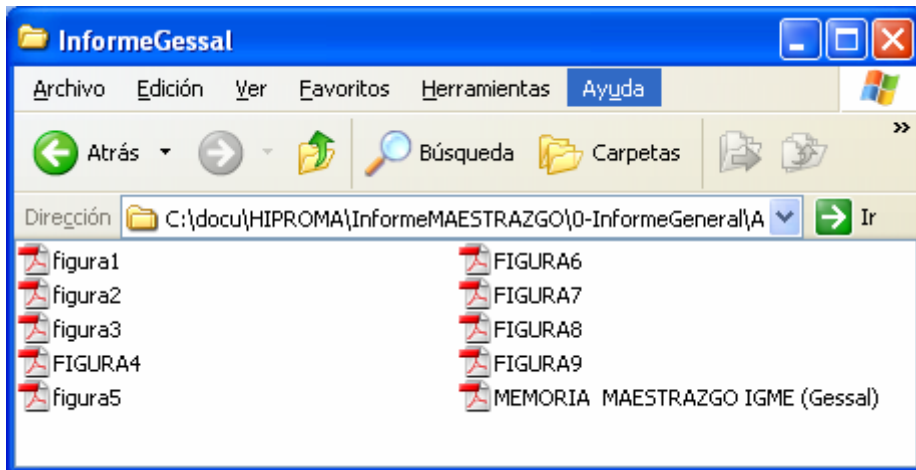
La carpeta Sedelan contiene el informe (formato pdf), así como los ficheros de la testificación que hizo Sedelan en 2003 de este pozo (gamma natural, temperatura y conductividad del fluido, y resistividad de la formación en cuatro espaciados).



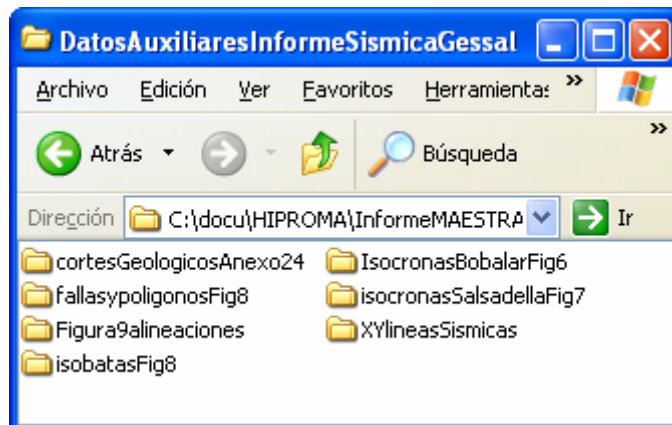
SISMICA:



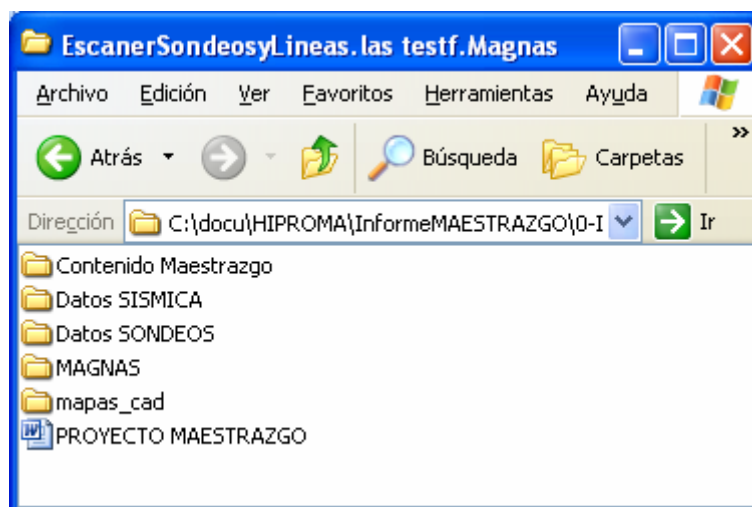
La carpeta Informe Gessal contiene el texto y figuras del informe *Interpretación de perfiles sísmicos y sondeos profundos de hidrocarburos.GESSAL* en formato pdf. Atención: los ficheros pdf. correspondientes a los anexos del informe de Gessal sólo se encuentran archivados en dicho Informe.



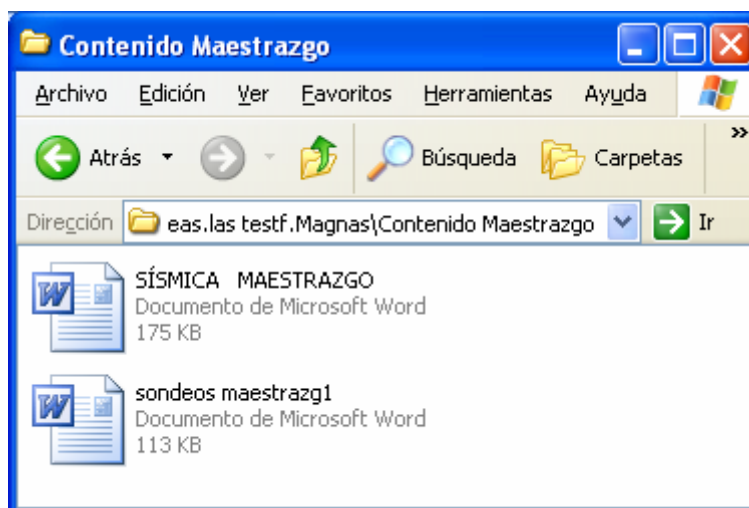
La Carpeta Datos Auxiliares contiene los ficheros digitales necesarios para la construcción de las figuras 6, 7, 8 y 9 del Informe de Gessal, así como del Anexo 24 y coordenadas de las líneas sísmicas utilizadas.



La carpeta “EscanerSondeosyLineas.las.testificacion.Magnas” contiene los ficheros digitales de la documentación generada en el informe de sismica de Gessal:



La subcarpeta Contenido Maestrazgo contiene las tablas de las líneas sísmicas de la zona del Maestrazgo (SISMICA MAESTRAZGO.doc) y las tablas de los ficheros en formato LAS generados en la digitalización de las testificaciones (sondeos maestrazgo1.doc), que se ha incluido como Anexo III del presente Informe.



Tablas de ficheros de figuras escaneadas de líneas sísmicas Maestrazgo:

**SÍSMICA PROYECTO MAESTRAZGO-IGME 2006
(EN IMAGEN .TIFF)**

CAMPAÑA	NOMBRE LÍNEA	SP INICIAL	SP FINAL	Nº SECCIONES	ESCALAS	TIPO DE PROCESADO
C	C1N	24	154	1	1:10	Stack Tr Lejanas

	C1N	24	154	1	1:10	Stack Tr Cercamas
	C1N	24	154	1	1:10	Stack interpretad
	C1N	24	154	1	1:10	Stack
	C-01S	155	333	1	1:10	Stack
	C1-01S	155	333	1	1:10	Stack interpretad
	C-03	25	245	1	1:10	Stack
	C-03	25	245	1	1:10	Stack interpretad
V	V1	25	321	2	1:10	Stack
	V1	25	321	2	1:10	Stack intrepretad
	V2C	168	204	1	1:10	Stack
	V2C	168	204	1	1:10	Stack intrepretad
	V2E	24	112	1	1:10	Stack
	V2E	24	112	1	1:10	Stack intrepretad
	V2W	252	320	1	1:10	Stack
	V2W	252	320	1	1:10	Stack interpretad
SM						
	SM-01	25-343		2	1:10, 1:5	Stack
	SM-02-24	125-322		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-02N	24-78		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-02N	24-78		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-02S	24-134		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-02S	24-134		1	1:10, 1:5	Stack interpretad
	SM-03	24-200		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-03	24-200		1	1:10, 1:5	Stack interpretad
	SM-05	131-330		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-06	126-335		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-07	128-286		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-08	126-325		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-09	25		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-10	126-302		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-11	126-295		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-12	126-359		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-13	129-374		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-14	126-321		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-15	138-338		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-16	126-251		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-16PROL	923-1123		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-17	121-251		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-17PROL	253-422		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-18	125-239		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-18PROL	1123-1012		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-19	125-263		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-20	125-705		1	1:10, 1:5	Stack
	SM-21	121-349		1	1:10, 1:5	Stack
MA	MA-06	125	649	2	1:5	Stack
	MA-12	125	247	1	1:5	Stack
	MA-13	125	495	1	1:5	Stack
	MA-14	125	459	1	1:5	Stack
	MA-15	125	287	1	1:5	Stack
	MA-19	125	235	1	1:5	Stack
	MA-20	126	235	1	1:5	Stack
	MA-21	125	235	1	1:5	Stack
	MA-29	125	231	1	1:5	Stack

CT-87	CT-87-01	1096	2617	1	1:10	MIGRATED
	CT-87-02	1111	1936	1	1:10	MIGRATED
	CT-87-03	1141	2931	1	1:10	MIGRATED
	CT-87-04	1095	3852	1	1:10	MIGRATED
	CT-87-05	1097	2605	1	1:10	STACK
CT-88	CT-88-01	1096	1457	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-02X	1096	1478	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-03	1096	1798	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-05	1208	1794	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-06	1096	1834	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-10	1096	1914	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-11	1096	1822	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-12	1096	2270	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-13	1096	1484	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-14	1096	1874	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-15	1096	2064	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-16	1096	1623	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-17	1096	1727	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-18	1096	1574	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-19	1096	1580	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-20	1111	1797	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-21	1096	1335	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-22	1096	2094	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-23	1096	2090	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-24	1096	1706	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-25	1096	1826	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-26	1096	1628	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-27	1096	1864	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-28	1096	1916	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-29	1096	1800	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-30	1096	1731	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-31	1096	2005	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-32	1096	1671	1	1:10	MIGRATED
	CT-88-33	1096	1578	1	1:10	MIGRATED

Las Tablas de ficheros LAS de testificaciones indican para cada sondeo (Salsadella1, Maestrazgo1 y Bobalar 1), los tramos digitalizados y los correspondientes nombres de los ficheros generados, tipo tiff y/o las. Se dispone de los *.las de las curvas digitalizadas correspondientes a los sónicos, gamma ray, y densidades.

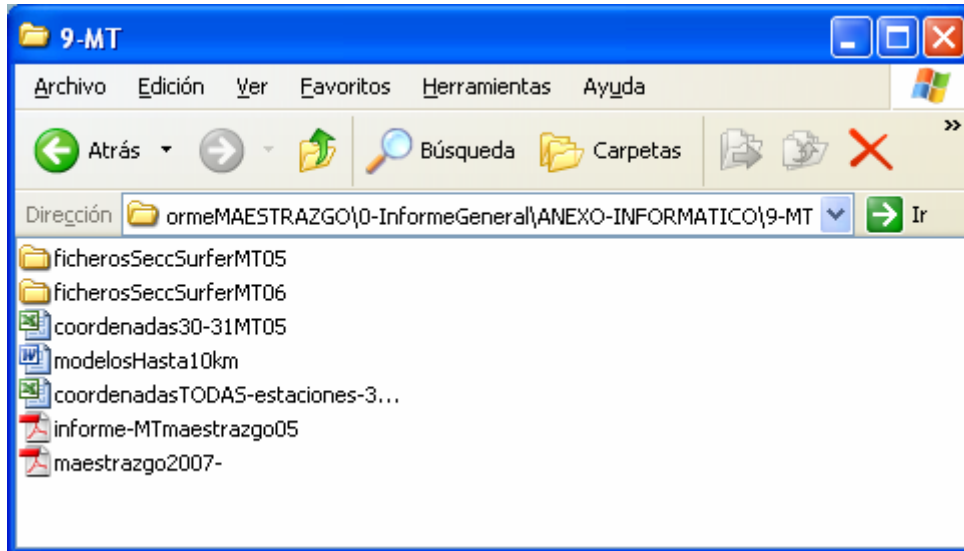
Los correspondientes datos están en las subcarpetas **Datos Sísmica** y **Datos Sondeos**.

La subcarpeta **Mapas** contiene los mapas en Auto CAD de la cuenca de Maestrazgo, donde aparecen todas las líneas sísmicas de las campañas que conforman el área de estudio, los sondeos y el límite hidrográfico de la cuenca del Maestrazgo, todo ello también editado sobre los magnas 1:50000.

La subcarpeta MAGNAS contiene las imágenes tiff de las hojas 1/50.0000 518, 519, 520, 521, 543, 544, 545, 546, 568, 569, 570, 571, 591, 592, 593, 594.

MAGNETOTELURICO:

Contiene los ficheros pdf. de los informes efectuados por la Universidad de Barcelona *Campañas de AMT (AudioMagnetoTelúrico) en el Maestrazgo para el proyecto HIPROMA. U.B.*



Se adjuntan además los ficheros de coordenadas de las estaciones medidas y los ficheros necesarios para la reconstrucción de las secciones geoelectricas en Surfer. En formato doc se incluyen las secciones geoelectricas hasta los 10 km de profundidad. Los ficheros con los valores digitales de los datos de campo sólo se encuentran en el anexo digital del mencionado informe