

Investigación Geofísica en el borde septentrional de los Puertos de Beceite (Cuenca del Ebro)

Resumen

Introducción

Marco geológico

Estudio geofísico

Métodos de prospección seleccionados

Investigación gravimétrica

Investigación mediante SEDT

Resultados

Conclusiones

Referencias bibliográficas

Investigación Geofísica en el borde septentrional de los puertos de Beceite (Cuenca del Ebro)

Arqued Esquía, V. M. ⁽¹⁾, de Toledo Ubieta, F. O. ⁽²⁾

RESUMEN

A raíz de la elaboración del estudio de regulación del río Matarraña (C.H.E.-D.P.T., 1985) se levantó un mapa geológico del sector aragonés de los Puertos de Beceite (Teruel). Estudiando su estructura se comprendió que el límite de los afloramientos mesozoicos, que forman parte de la zona de enlace entre la cadena Ibérica y la Catalana, está formado por una sucesión de láminas cabalgantes imbricadas vergentes hacia el norte. Los trabajos de Guimerá (1983 y 1984) hablan de una flecha cabalgante de 1 a 10 kilómetros que se generó sincrónicamente con la sedimentación terciaria de la zona.

Los cabalgamientos que en superficie aparecen como frontales se interpretaron como de rampa de bloque superior, siendo con ello posible la existencia de frentes cabalgantes más avanzados, dentro de la depresión, que situasen los materiales mesozoicos acuíferos a una profundidad alcanzable para la captación y explotación de sus recursos hídricos subterráneos. Todo ello motivó que el Servicio Geológico de la Dirección General de Obras Hidráulicas a petición de la Confederación Hidrográfica del Ebro abordase un estudio geofísico general de la zona con el objeto de localizar las citadas estructuras en profundidad bajo el relleno terciario de la depresión. El trabajo se desarrolló durante el año 1991 con la colaboración de la Compañía General de Sondeos bajo la dirección de los autores de este resumen.

Las técnicas utilizadas fueron la gravimetría y la prospección electromagnética. El mapa de anomalías de Bouguer construido permite observar la tendencia estructural de la zona; con los de anomalía residual se observa la existencia de máximos y mínimos coherentes con la estructura. Algunos de ellos se han interpretado como frentes de cabalgamiento de rampa superior que, investigados más tarde con la prospección electromagnética citada, se sitúan efectivamente a una profundidad nada descabellada para su investigación con métodos directos.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Matarraña, con su afluente el Algás, y la del Canaleta, están situadas en la parte baja de la margen derecha de la cuenca del Ebro, dentro del entorno hidrogeológico que denominamos Dominio Hidrogeológico Maestrazgo – Catalánides (CHE, 1998). Cubren parte de las provincias de Teruel y Tarragona. En estas subcuencas las demandas para regadío suponen unas necesidades hídricas valoradas en 55 hm³/año para atender 5.700 ha. de superficie dedicada, en buena parte, a cultivos arbóreos entre los que destaca el del melocotonero. Las otras demandas, abastecimientos urbanos y ganaderos y usos industriales, son de muy pequeña magnitud. El déficit medio se ha valorado en 10.33 hm³ anuales (CHE, 1996a). Para poder atender estas demandas se han considerado distintas opciones de regulación superficial (CHE-DPT, 1985; CHE, 1996a) y complementariamente se trabaja en el estudio de regulación utilizando los acuíferos (CHE, 1991).

Por la cabecera de las citadas cuencas se extiende la unidad hidrogeológica de Los Puertos de Beceite en la que existen niveles acuíferos en materiales del Jurásico marino que resultan de notable entidad,

tanto por su almacenamiento como por su transmisividad. Así, la descomposición del hidrograma (CHE, 1996b) registrado en la estación de aforos del río Matarraña en Beceite, viene a indicar que el 87% de la aportación que por allí pasa se debe a mecanismos de escorrentía lentos, con coeficiente de agotamiento de una centésima, que atribuimos a la descarga de los acuíferos de la unidad de Los Puertos.

Considerando la hipótesis de que los cabalgamientos aflorantes en el borde septentrional de Los Puertos, respondan a geometrías de rampa de bloque superior, resulta posible la existencia de frentes más avanzados dentro de la depresión del Ebro que sitúen los materiales mesozoicos acuíferos a una profundidad adecuada para la explotación y captación de sus recursos hídricos subterráneos en la zona en que se produce la demanda.

El hoy extinto Servicio Geológico de Obras Públicas vino colaborando en sus últimos años con la Confederación Hidrográfica del Ebro en el desarrollo de distintos trabajos encaminados a profundizar en el conocimiento hidrogeológico de la cuenca. Entre estos trabajos se llevaron a cabo diversas campañas de prospección geofísica aplicando técnicas eléctricas, electromagnéticas, sísmicas, gravimétricas y diafragmas. En este artículo se resume unos de esos trabajos: Estudio (12/91) Geofísico del Sector Occidental de los Puertos de Beceite, realizado con la asistencia técnica de la Compañía General de Sondeos que aportó un equipo de técnicos geofísicos encabezado

⁽¹⁾ Oficina de Planificación Hidrológica. Confederación Hidrográfica del Ebro.

⁽²⁾ Subdirección General de Planificación Hidrológica. MIMAM.

por D. Luis Savirón Cidón y de geólogos entre los que cabe citar expresamente a D. Joan Guimerá (Universidad de Barcelona) y a D. Mariano Álvaro. Los trabajos desarrollados se prolongaron durante diez meses y fueron dirigidos por los autores de esta comunicación.

MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio se encuentra en lo que Guimerá (1983, 1984) denominó Zona de Enlace entre la cadena Ibérica y los Catalánides, que en este sector señala el límite sur de la depresión del Ebro. Esta Zona de Enlace es una unidad triangular desarrollada sobre la interferencia de las estructuras NO-SE ibéricas y SE-NO catalanas, marcando así las aristas SE y SO de la citada unidad triangular. Su límite septentrional viene dado por la existencia de un sistema de cabalgamientos imbricados, vergentes hacia el norte y de dirección meridiana, extendiéndose desde Portalrubio (Teruel) hacia el oeste, hasta Vandellós (Tarragona) al este. Mediante dicho sistema (Cinturón de Cabalgamientos Portalrubio - Vandellós) las láminas cabalgantes de la Zona de Enlace se disponen sobre los materiales de la cadena Ibérica, de la depresión del Ebro y de la cadena Catalana. La flecha de estos cabalgamientos meridianos oscila entre 1 km y 10 km, su dirección varía debido a dos virgaciones en que toman una orientación próxima a NE-SO, coincidiendo la más oriental de ellas con la prolongación hacia el sur de las fracturas de zócalo NE-SO sinestrales de los Catalánides. Para Guimerá (1988) su formación es debida a la acción de las fallas del zócalo indicando una simultaneidad entre ambos tipos de estructuras. En esta Zona de Enlace la cobertera mesozoica es mucho más potente que en la mayor parte de las zonas del resto de las cadenas Ibérica y Catalana: hasta 6.500 m de materiales mesozoicos, 4.000 de los cuales son del Jurásico terminal y del Cretácico inferior (Salas, 1987).

Durante el Terciario la sedimentación estuvo condicionada por la citada deformación compresiva; ahora bien, a partir del Mioceno inferior tuvo lugar la distensión neógena que aprovechó nuevamente las fracturas del zócalo para desarrollar fosas limitadas por fallas normales superpuestas a las estructuras compresivas (Guimerá, 1988).

El área de estudio se encuentra en el borde sur de la cuenca terciaria del Ebro, próxima al contacto de ésta con el sistema frontal de cabalgamientos de la Zona de Enlace. En este sector una parte de los materiales terciarios aflorantes se sedimentó sincrónicamente con el emplazamiento de las láminas frontales. Sin embargo, la geología de superficie no permite localizar la situación de los frentes situados a cierta profundidad ya que los depósitos neógenos discordantes ocultan la estructura profunda.

ESTUDIO GEOFÍSICO

La combinación de métodos, gravimetría y prospec-

ción electromagnética en el dominio de tiempos, persigue el análisis de la estructura con el primero y el cálculo de espesores y profundidades con el segundo.

Métodos de prospección seleccionados

Para abordar este trabajo en busca de estructuras desarrolladas a cierta profundidad dentro de una zona de unos 250 km² de extensión, se recurrió al estudio de los materiales del subsuelo mediante el empleo de dos técnicas geofísicas combinadas: la prospección gravimétrica y el sondeo electromagnético en el dominio de tiempos (en adelante SEDT). Mediante la gravimetría se persiguió la localización regional de edificios que señalen un alto estructural de los materiales calcáreos mesozoicos bajo la sucesión samítico - pelítica terciaria. En una segunda fase se utilizó el SEDT para precisar la geometría de los altos estructurales que se consideraron de interés a la vista de los resultados aportados por la gravimetría.

Los datos de gravimetría se registraron en 400 puntos, distribuidos lo más homogéneamente posible por todo el territorio considerado, lo que viene a suponer una densidad aproximada de una lectura de gravimetría por cada 0.625 km² de superficie estudiada. A la luz de los resultados aportados por la prospección gravimétrica se seleccionaron dos zonas para su estudio mediante 90 SEDT; estos se llevaron a cabo a lo largo de perfiles (P-1, P-2 y P-3, en el mapa de la Fig. 1) con un espaciado entre sondeos consecutivos del orden de los 1.000 metros.

Investigación gravimétrica

Para la toma de estos datos se utilizó un gravímetro SODIN 420T con sensibilidad de 0,01 miligales. Al no existir dentro de la zona de estudio bases gravimétricas del Instituto Geográfico Nacional, se instalaron cuatro bases propias a partir de la más próxima del IGN, que se encuentra en Alcañiz (Teruel) donde la gravedad presenta un valor de 980.145,15 miligales. Para ello se realizó un doble itinerario de ida y vuelta, con un recorrido de cierre entre las bases para su mejor ajuste.

Durante los trabajos, la deriva del gravímetro fue baja, habitualmente inferior a 0,03 miligales/hora, y nunca superó los 0,05 miligales/hora en programas de recorrido que tenían una duración máxima de 3 horas. Fue necesario repetir el 11% de las lecturas; es decir, las de 44 estaciones.

El cálculo de la gravedad normal se realizó utilizando la Fórmula Internacional de la Gravedad del Sistema de Referencia de 1.967. Se aplicaron las correcciones correspondientes: lunisolar y efecto topográfico según el método de Kron (1976), para lo que fue preciso realizar cuidadosos trabajos de topografía. La estimación de la densidad de reducción se efectuó por el método propuesto por Plata (1983), obteniéndose un resultado medio de 2,6 gr/cm³, valor que ha sido el utilizado para el cálculo de la anomalía de Bouguer. La anomalía regional se evaluó por ajuste

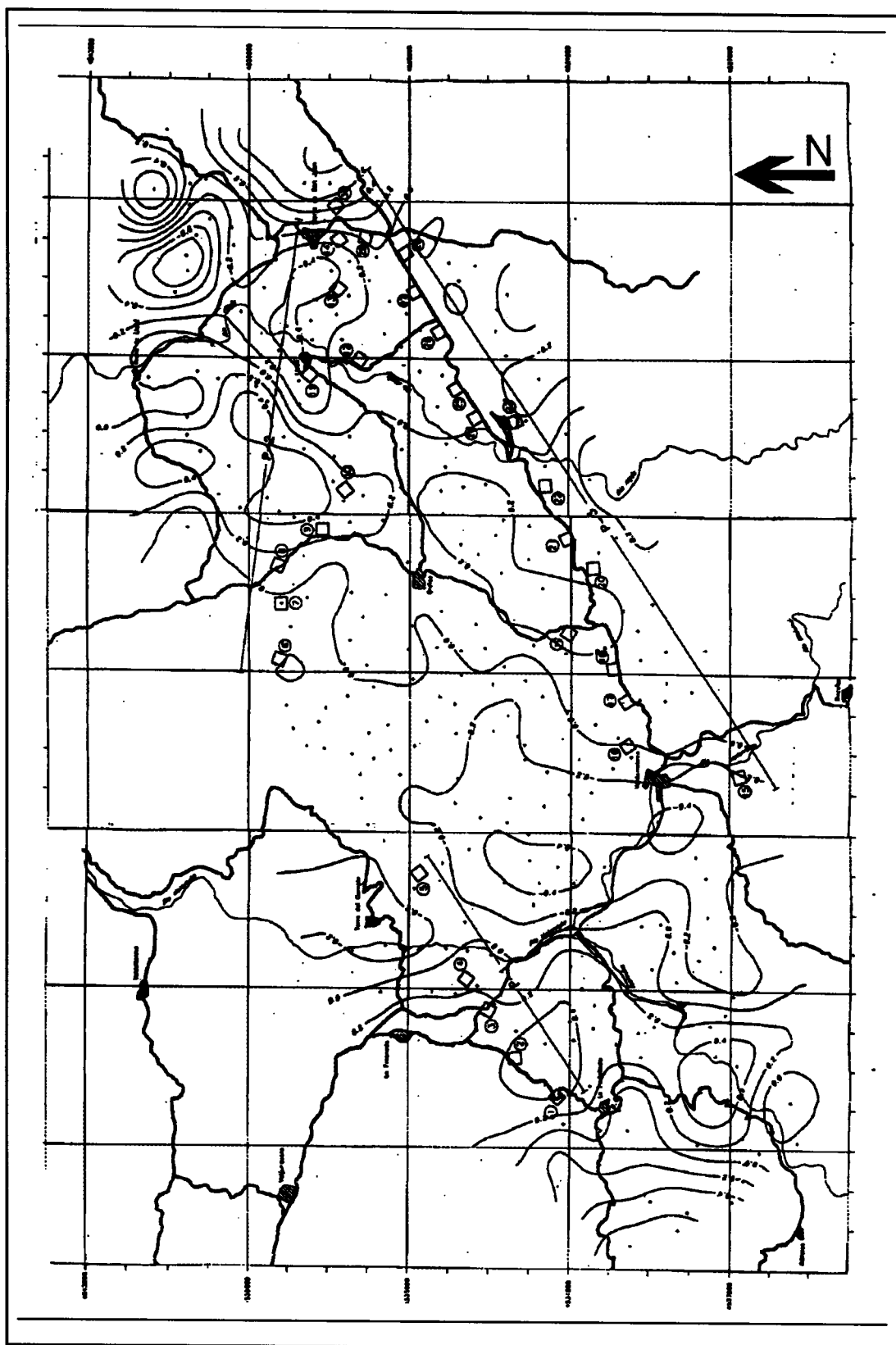


Fig. 1. Mapa de situación escaneado del original. Se indican con puntos las estaciones gravimétricas y con cuadrados los SEDT. Las isolíneas muestran el valor de la anomalía residual ajustada a una superficie de cuarto orden. También se señala la traza de los perfiles.

de superficies de tercer, cuarto y quinto orden a los valores de la anomalía de Bouguer, resultando más expresiva la correspondiente al cuarto orden. La anomalía residual correspondiente se presenta en la Fig.1. Este análisis estuvo apoyado por el paquete informático que la compañía CGS tiene diseñado para este fin.

Investigación mediante SEDT

El registro de datos se llevó a cabo con un equipo SIROTEM MKII SE operando en la modalidad de bucle único, es decir, que se utiliza el mismo lazo para la emisión que para la recepción. Se realizaron 90 SEDT, 60 con bucles de 100x100 metros y 30 con bucles de 200x200 metros, distribuidos en dos zonas seleccionadas a partir de los resultados de la prospección gravimétrica.

El dispositivo emisor-receptor se alimenta por baterías de 24V. Durante las determinaciones las medidas de la rampa de disparo no tuvieron variaciones significativas, estando comprendidas entre 490 μ s y 500 μ s. El **stacking** se dispuso en 512 sumas. En presencia de alto nivel de ruido se aumentó a 1.024 y a 2.048 sumas, según los casos. En general el nivel de ruido fue bajo. Este ruido se genera cuando se encuentran determinados niveles resistivos muy próximos a la superficie o cuando hay ciertas complejidades geológicas bajo el área de trabajo del bucle.

El procesamiento de los datos obtenidos, correspondientes a los datos del transitorio medido en cada SEDT, se realizó con un programa automático que, introduciendo un modelo geológico inicial, permite realizar la inversión de las curvas de resistividad utili-

zando técnicas de regresión y retrayendo el efecto debido a la rampa de disparo. El primer paso para ese procedimiento consiste en la revisión de los datos brutos con el objeto de eliminar las lecturas más ruidosas y promediar las diferentes repeticiones realizadas en un mismo punto hasta obtener una sola curva que se entiende representativa. Seguidamente se construye la curva de resistividad aparente en función del tiempo. Esta curva se interpreta automáticamente ajustándola a un modelo geológico predeterminado, que en este caso perseguía la identificación de un nivel de alta resistividad a gran profundidad, en general a más de 500 metros.

RESULTADOS

Con los datos aportados por la prospección gravimétrica se pudo elaborar un mapa de anomalías de Bouguer en el que se observa la tendencia estructural de la zona. Se identificaron las direcciones ibérica, en el sector occidental, y catalana, en el oriental. Pero fue el mapa de anomalía residual de orden 4 (Fig. 1) en el que se identificó la existencia de máximos y mínimos dispuestos según dos direcciones: NO-SE en la parte occidental del mapa y NE-SO en la parte oriental del mismo. Estas formas pueden atribuirse a la presencia de conglomerados del Terciario, de elevada densidad, o a la presencia de altos estructurales mesozoicos debidos a formas anticlinales o pliegues-falla en cabalgamientos de bloque superior.

Considerando dos sectores sobre el mapa de anomalía residual, uno en la mitad oriental y otro en la occidental, se aprecia que las estructuras se ordenan de distinto modo. En el sector oriental, entre Cretas y Horta de San Juan, las isolíneas tienen una orienta-

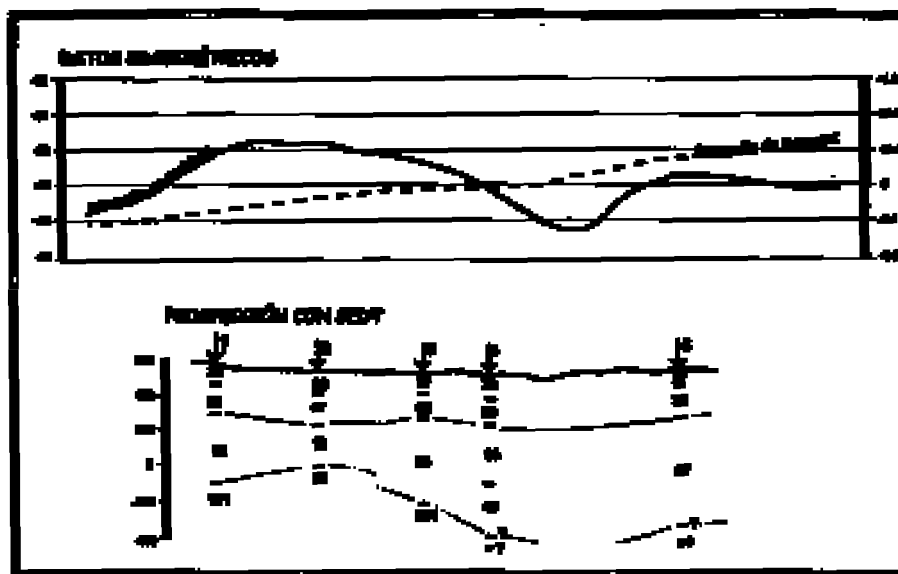


Fig. 2. Datos de gravimetría y de los SEDT a lo largo del perfil 1. Se observa una buena correspondencia entre la curva de anomalía residual y el contacto con el nivel resistivo de fondo que atribuimos a los carbonatos del Jurásico en los que cabe esperar su desarrollo como acuífero.

ción dominante SO-NE; aquí los valores máximos aparecen entre Cretas y Lledó y también, aunque con menor intensidad, entre Arnés y Horta de San Juan. Entre ambas zonas aparece un surco gravimétrico con el mínimo en las cercanías de Lledó. Aparece también un máximo puntual unos 4 km al norte de Horta de San Juan coincidente con la Mola de Pessels.

En el sector occidental la disposición de las anomalías toma una dirección NO-SE. Se reconoce un claro máximo al sur de La Fresneda y otro al sur de La Portellada. Hacia el este se identifica un surco de mínimos situado entre Torre del Compte y Valderrobres, aproximadamente sobre el curso del río Matarranya.

A la vista de estos resultados se programaron los SEDT que aparecen señalados en la Fig. 1. En la información aportada por los perfiles geoelectrónicos aparecen variaciones en la resistividad del subsuelo que pueden interpretarse a partir de los datos de la geología de superficie y relacionarlas con las anomalías de gravedad descritas (Fig. 2). Con todo ello, el máximo gravimétrico local situado entre La Portellada y Ráfales se debería a la presencia de conglomerados masivos del Terciario, en coincidencia con los materiales aflorantes. Y el máximo gravimétrico identificado entre La Fresneda y La Portellada, que viene a corresponder en profundidad con una zona de alta resistividad (Fig. 3), se interpreta como consecuencia de la presencia de una culminación anticlinal en el substrato mesozoico que estaría asociada a un cabalgamiento no aflorante con base en los materiales plásticos del Triás, litofacies Keuper y tramo medio de

la litofacies Muschelkalk. Para dicho cabalgamiento se considera una orientación NO-SE sensiblemente paralela a la del cabalgamiento de La Ginebrosa, situado al SE de éste y que viene a señalar la última estructura frontal aflorante en la Zona de Enlace.

La propagación de estos cabalgamientos es de bloque superior (Guimerá, 1988), de esta forma puede explicarse su existencia por debajo de los que en superficie aparecen como frontales, cuyos anticlinales de rampa no afectan a las unidades terciarias superficiales, que sí están cabalgadas por las láminas frontales aflorantes cuyo emplazamiento es posterior.

En el sector oriental de la zona estudiada la disposición de las anomalías gravimétricas también puede explicarse por la existencia de pliegues relacionados con cabalgamientos no aflorantes que, al igual que en el caso anterior, no afectan a los materiales terciarios superficiales. La orientación de las estructuras en este caso es SO-NE, paralelas al sistema de cabalgamientos imbricados que existe al sur de Horta de San Juan, que en su parte más adelantada se muestran con pliegues de dicha orientación afectando a los materiales terciarios. Desgraciadamente estas estructuras se encuentran aquí a una profundidad mayor de la alcanzada con los SEDT, que en ningún caso llegaron a identificar el substrato mesozoico en el sector. El resto de las anomalías de máximos identificados en la zona se interpreta como debida a la presencia de conglomerados terciarios, igual que ocurrió con el máximo situado al NE de Ráfales en el sector occidental.

CONCLUSIONES

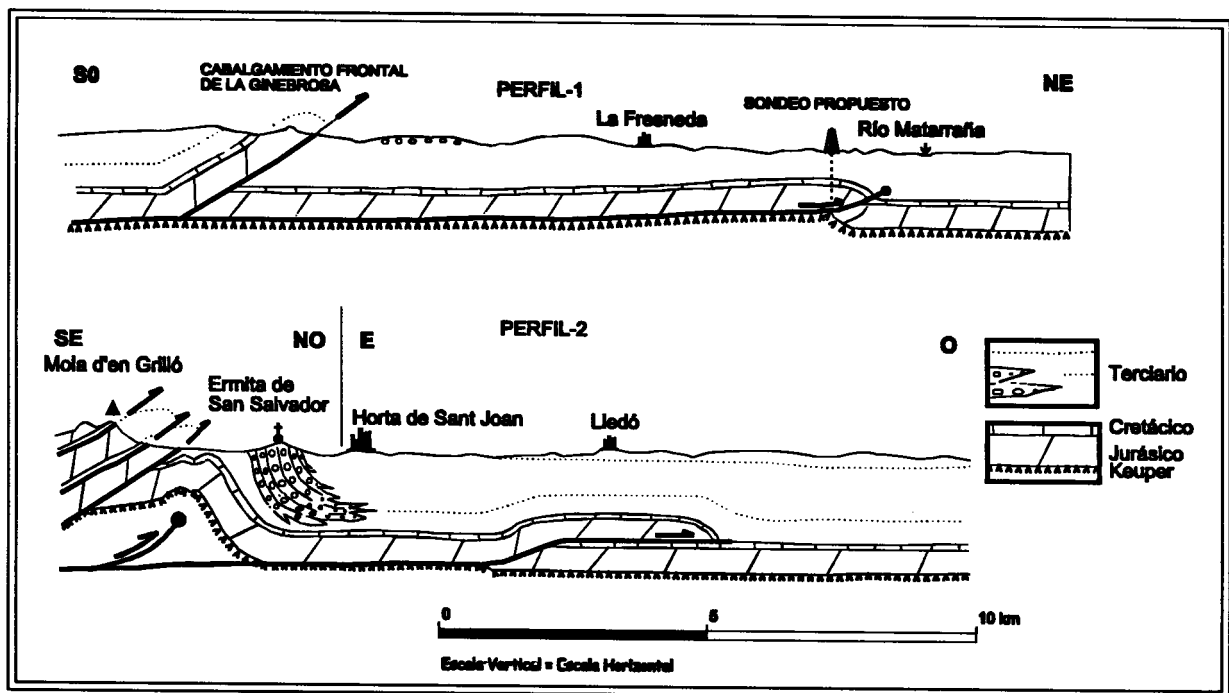


Fig. 3. Cortes geológicos correspondientes a los perfiles 1 y 2, señalados en el mapa. Dibujados a partir de los datos obtenidos con la prospección geofísica.

Como conclusión de todo lo anteriormente expuesto cabe decir que la disposición de las anomalías gravimétricas coincidentes con valores altos de la resistividad eléctrica en zonas profundas, puede ser explicada suponiendo la continuidad, bajo materiales terciarios no deformados, de láminas de cabalgamiento inferiores y más antiguas que las que en superficie marcan el frente de la Zona de Enlace definida en los trabajos de Guimerá. Así, la variación que se observa en la orientación de las anomalías gravimétricas coincide con la variación en el rumbo de las estructuras en la Zona de Enlace, haciendo la salvedad de que se reconocen otros máximos locales debidos a la existencia, en ámbitos reducidos, de conglomerados masivos. Por lo que respecta a los carbonatos del Mesozoico, atribuíbles al Grupo Renales muy extendido en el Jurásico de las cadenas implicadas, y que en principio son susceptibles de constituir acuíferos de interés para la explotación de sus recursos, cabe resaltar su identificación relativamente somera en el sector occidental de la zona estudiada. En concreto entre las localidades de La Fresneda y La Portellada, en el tramo medio de la cuenca del río Matarraña, donde el contacto con las calizas jurásicas se prevé que se encuentre a unos 500 m de profundidad. Allí la Confederación Hidrográfica del Ebro ha solicitado al Parque de Maquinaria del MIMAM abordar la investigación por métodos directos, estando prevista la próxima realización de sondeos para verificar estas hipótesis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (1991): Estudio de los recursos hídricos subterráneos de los acuíferos de la margen derecha de la cuenca del Ebro. (Zona III, Plan Hidrológico). Oficina de Planificación. Informe inédito.
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (1996a):

Propuesta de Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro. Oficina de Planificación. Informe inédito.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (1996b): Evaluación de los regímenes de compensación en los ríos de la cuenca del Ebro. Fase III. Modelo Hidrológico.. Oficina de Planificación. Informe inédito.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (1998): Los acuíferos de la cuenca del Ebro. Actualización 1998. Oficina de Planificación. Informe inédito.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO – DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE TERUEL (1985): Estudio de regulación de la cuenca del río Matarraña. Informe inédito.

GUIMERÁ, J. (1983): Evolution de la deformation alpine dans le NE de la Chaîne Ibérique et dans la Chaîne Coitière Catalane. C.R. Acad. Sc. Paris, 197: 425-430.

GUIMERÁ, J. (1984): Paleogene evolution of deformation in the northeastern Iberian Peninsula. Geol. Mag. 121: 413-420.

GUIMERÁ, J. (1988): Estudi estructural de l'encollaç entre la Serralada Ibérica i la Serralada Costanera Catalana. Tesis. Universidad de Barcelona.

KRON, D.H. (1976): Gravity terrain corrections using multi-quadratic equations. Geophysics, 41; 266-275.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (1991): Estudio geofísico sector occidental de los Puertos de Beceite (Tarragona y Teruel). Servicio Geológico – Confederación Hidrográfica del Ebro. Informe inédito.

PLATA, J.L. (1983): Nuevo método de cálculo de la densidad de reducción en gravimetría. BGM, XCIV-VI; 510-520.

SALAS, R. (1987): EL Malm i el Cretaci inferior entre el Massis de Garraf i la Serra d'Espadà. Tesis. Universidad de Barcelona. Inédito.