

Estudio de la estructura de la Cuenca de Almazán a partir de datos geofísicos.

Study of the Almazán Basin structure through geophysic data.

Rey Moral, C., Tejero López, R. y Gómez Ortiz, D.

Dpto. Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Ciudad Universitaria 28040 Madrid. (e-mail: reymoral@eucmos.sim.ucm.es)

ABSTRACT

A combined analysis of two different geophysic sources (seismic profiles and Gravity Anomaly Map), has been worked out in the Almazán Basin. A top Albian isobath map has been drawn through restitution of seismic reflexion profiles. A gravity survey, covering an area of 8000 Km², has been carried out obtaining a Gravity Anomaly Map. The study of the Gravity Anomaly Map shows that Gravity Anomaly distributions are due to superficial structures, seated in the basin filling and deeper structures, seated in the basement. The gravity modelling of three profiles supported on wells, seismic and geologic data allows us to suggest the existence of three different bodies in the basement.

Key words: Almazán Basin, gravity anomaly map, gravity modelling, seismic profiles.

Geogaceta, 24 (1998), 259-262
ISSN: 0213683X

Introducción

Durante las etapas de deformación alpina se produce la inversión de la cuenca de sedimentación mesozoica, creándose los relieves de la Sierra de Cameros y de las Ramas Aragonesa y Castellana de la Cordillera Ibérica. Rodeada por estos relieves se encuentra la Cuenca de Almazán, que constituye el sector más oriental de la Cuenca del Duero (Fig. 1). La cuenca está rellena por sedimentos continentales terciarios, de los cuales los de edad paleógena alcanzan más de 3000 m. de espesor y los sedimentos neógenos no sobrepasan los 500 m. de potencia (ITGE, 1990, Bond, 1996). La Cuenca de Almazán está limitada al norte por la Sierra de Cameros y su zona de unión con la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. Este margen está caracterizado por la presencia de un sistema de cabalgamientos (Platt, 1990; Casas, 1992; Guimerá *et al.* 1995) con una dirección media E-O que se inflexionan en las proximidades de Quintana Redonda adquiriendo una dirección NE-SO siguiendo la traza de la falla de Soria, hasta las proximidades de esta ciudad (Maestro, *et al.* 1994). La Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica constituye el límite oriental de la Cuenca, definido por pliegues y cabalgamientos de dirección NO-SE. La Rama Castellana y su zona de enlace con el Sistema Central forman el límite meridional de la Cuenca de Almazán de orientación media ONO-ESE; en este área las estructuras tienen orientaciones NO-SE, ONO-ESE y NE-SO.

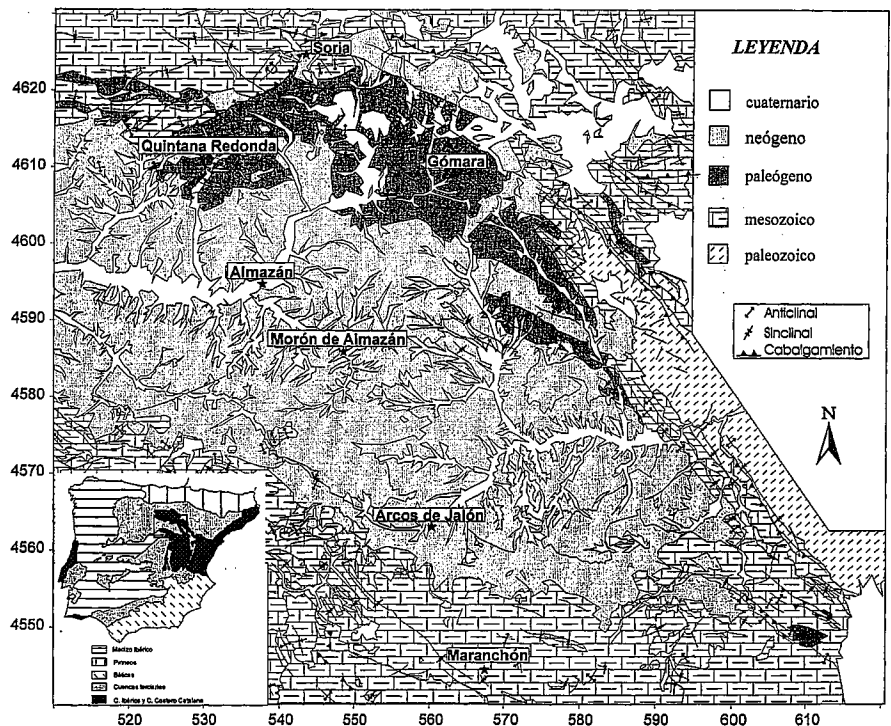


Fig. 1- Mapa geológico de la Cuenca de Almazán. En el recuadro situación de la zona estudiada. Coordenadas UTM en metros.

Fig. 1- Geologic map of the Almazán Basin and situation map of the studied area. UTM coordinates in metres

La Cuenca de Almazán es una cubeta sinclinal, de dirección ONO-ESE, en cuyo núcleo se encuentra la mayor potencia de sedimentos terciarios (ITGE, 1990; Bond, 1996). Basándose en datos de perfiles sísmicos de reflexión

ITGE (1990) sitúa el depocentro de la Cuenca en el bloque hundido de una falla inversa de alto ángulo, de dirección NO-SE y buzamiento al SO, que afecta al sinclinal y es paralela a la dirección de esta estructura, señalando ade-

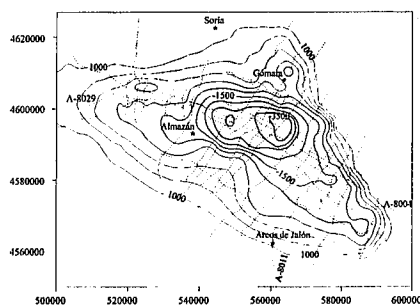


Fig. 2- Mapa de isobatas de la superficie de un horizonte estratigráfico correspondiente al techo del Albiense. Datum nivel del mar. Equidistancia entre isobatas 500 m. En trazo discontinuo líneas sísmicas restituidas. Coordenadas UTM en metros.

Fig. 2- Top Albian isobath map. Sea level datum. Equidistance between isobaths 500 m. Shaded line represent seismic profiles restituted. UTM coordinates in metres.

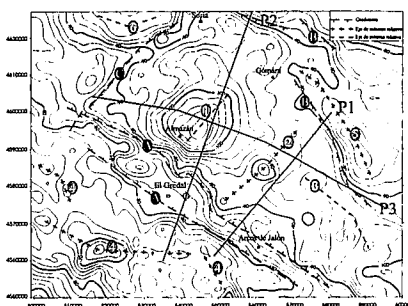


Fig. 3- Mapa de anomalía de Bouguer. Los números y las letras designan los máximos y mínimos relativos y los gradientes descritos en el texto. Las líneas representan las trazas de los perfiles gravimétricos modelizados. Intervalo entre isoanómalas 2 mGal. Coordenadas UTM en metros.

Fig. 3- Gravity anomaly map. Numbers and letters are the maximums and minimums named in the text. Heavy lines represent gravimetric profiles modelled. Isonanomals interval 2 mGal. UTM coordinates in metres.

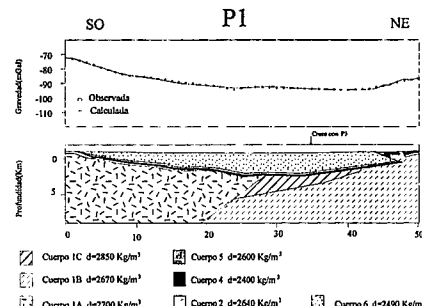


Fig. 4 - Perfil 1. Perfil transversal a la Cuenca de Almazán. Anomalía observada, anomalía calculada y modelo de densidades ajustado. Al igual que en los perfiles 2 y 3, para satisfacer la anomalía observada ha sido necesario introducir cuerpos de distinta densidad en el basamento.

Fig. 4- Profile 1, transversal to Almazan Basin. Observed and calculated anomaly and density model adjusted. As well as profiles numbers 2 and 3, to satisfy the observed anomaly has been necessary to introduce different density bodies in the basement.

más que los materiales pertenecientes al Triásico, Jurásico y Cretácico inferior están ausentes en la parte central de la cuenca, lo que indica que este área podría haber funcionado como un bloque elevado hasta comienzos del cretácico superior. Posteriormente Bond (1996), presenta un nuevo mapa de isobatas del techo del Albiense, en donde la estructura de la cuenca está caracterizada por bloques limitados por fallas NO-SE a ONO-ESE y NE-SO, de las cuales la más importante es la Falla de Almazán, con dirección NE-SO y buzamiento al SE, en cuyo bloque hundido se sitúa el mayor espesor de sedimentos terciarios. La Cuenca de Almazán se generó durante las etapas de deformación alpina, en un régimen tectónico en el que las principales direcciones de compresión son NNE-SSO, NO-SE y NE-SO (Maestro, 1993).

El objetivo de este trabajo es estudiar la estructura profunda de la Cuenca de Almazán mediante el análisis combinado de datos sísmicos y gravimétricos. La existencia de una serie de líneas sísmicas de reflexión realizadas por la compañía SHELL (1980) con fines de exploración de petróleo permite obtener una imagen de la geometría de la cuenca y contrastar estos datos con la distribución de las anomalías del Mapa de Anomalías de Bouguer elaborado a partir de un levantamiento gravimétrico llevado a cabo para esta investigación. Mediante la modelización de tres perfiles gravimétricos se va a intentar establecer las fuentes que dan origen a las anomalías gravimétricas.

Datos sísmicos

Las profundidades puntuales a lo largo de los perfiles sísmicos de reflexión se han calculado a partir del CDP (Common Depth Point) de cada perfil. Conocida la velocidad de transmisión de las ondas en un reflector y en función del tiempo se estiman los valores de profundidad a lo largo de la línea sísmica. El reflector elegido en las 26 líneas sísmicas restituidas ha sido identificado en el sondeo El Gredal (SHELL, 1982) como el horizonte estratigráfico correspondiente al techo de la Formación Arenas de Utrillas. La densidad y la distribución de las líneas sísmicas permite obtener una imagen bastante precisa de la forma de la superficie de este reflector por lo que, a partir de los datos de profundidad, se ha construido un mapa de isobatas del mismo mediante la interpolación por *kriging* a una malla cuadrada de 2000 m. de lado. Las mayores profundidades se disponen según una orientación E-O alcanzando los 3500 m. bajo el nivel del mar, en las proximidades con el límite oriental de la cuenca (Fig. 2). Aunque los valores de profundidades son ligeramente mayores, el mapa de isobatas obtenido es similar al realizado por Bond (1996) tomando como referencia el mismo reflector.

Mapa de anomalías de bouguer

Para la obtención del Mapa de Anomalías de Bouguer se ha llevado a cabo un levantamiento gravimétrico que cubre la Cuenca de Almazán adentrándose en sus márgenes. Se han tomado un total de 907 estaciones distri-

buidas con la mayor homogeneidad posible en una área de 8000 Km² lo que proporciona una densidad de 0.11 estaciones por Km². Las medidas experimentales se han realizado con un gravímetro *Lacoste & Romberg*, modelo G-953, con una precisión teórica de ± 0.01 mGal, y derivas inferiores de ± 1 mGal al mes. La cota de cada estación se ha medido con un altímetro barométrico Pauling modelo MD-5, con una precisión de ± 1 m. Se ha aplicado una densidad de reducción de la lámina de Bouguer de 2670 Kg/m³. La corrección topográfica se ha efectuado hasta 22 Km, siendo los primeros 170 m. estimados en campo y desde 170 m. a 22 Km. a partir de un modelo digital del terreno, elaborado mediante la digitalización de la base topográfica 1: 50.000 del Servicio Geográfico del Ejército. Mediante la interpolación con el método de *kriging*, se ha obtenido una malla cuadrada de 2000 m. de lado. El error medio cuadrático del mapa es de ± 0.52 mGal.

El Mapa de Anomalías de Bouguer está caracterizado por la presencia de un conjunto de máximos y mínimos relativos y de gradientes, señalados en la figura 3 por un número y por una letra respectivamente. En función de las anomalías con mayor longitud de onda se pueden distinguir un mínimo relativo de orientación NO-SE, que corresponde a la Cuenca de Almazán, y dos máximos relativos asociados a las Ramas Aragonesa y Castellana de la Cordillera Ibérica. Dentro del mínimo relativo asociado a la Cuenca, tomando como referencia la isoanómalas de -90 mGal, se pueden diferenciar: un mínimo relativo, mínimo de Almazán (1), con orientación media NE-SO; un

máximo relativo (2) con dirección paralela al mínimo anterior, y un mínimo relativo (3) que, con orientación NO-SE, ocupa el extremo suroccidental de la Cuenca. Salvo en el caso del mínimo de Almazán que sí está relacionado con una zona de mayor espesor de sedimentos terciarios, no existe una correspondencia clara entre el mapa de isobatas y la distribución de las anomalías de Bouguer en el área constituida por los sedimentos terciarios. Este mínimo relativo asociado a la cuenca está limitado por gradientes de orientación N 110°E (A) con el máximo asociado (4) con la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica; estos gradientes están relacionados con fallas que afectan al borde suroeste de la Cuenca (Bergamín *et al.*, 1995; Bond, 1996). Su límite con el máximo asociado a la Rama Aragonesa (5) está marcado por gradientes de dirección NO-SE (B), asociados a las estructuras del margen de la Cuenca. El límite noroccidental está constituido por un gradiente de dirección NE-SO (C), relacionado con la falla de Soria (Maestro *et al.*, 1994) que corresponde al borde SE de la Sierra de Cameros prolongándose hacia la zona de unión de la Cuenca de Almazán con la Cuenca del Duero. En esta zona norte aparece un mínimo relativo (6) relacionado con la Sierra de Cameros.

Modelización gravimétrica

Se han modelizado tres perfiles gravimétricos, dos transversales a la Cuenca y uno longitudinal a la misma. Para establecer los modelos de densidades de partida se ha elaborado una serie de cortes geológicos en los que se han integrado datos geológicos de superficie (IGME, 1982 ; ITGE, 1991a,b,c,d,e,f), los resultados de la restitución de los perfiles sísmicos y los datos del sondeo El Gredal. Las densidades de los cuerpos integrantes de los modelos se han determinado a partir de su medida en muestras de las litologías con mayor representación volumétrica y del "density log" del sondeo de El Gredal.

A cada cuerpo se le ha asignado una densidad media, en la que se ha considerado las litologías y los espesores de las unidades litoestratigráficas que la componen. En función de los datos geológicos, sísmicos y de las medidas de la densidad se ha optado por definir 6 cuerpos : cuerpo 1, integrado por el basamento paleozoico de densidad media 2700 Kg/m³; cuerpo 2, formado por los materiales precretácicos de densidad media 2640 Kg/m³; cuerpo 3, constituido por la sucesión del Cretácico inferior, con una densidad media de 2600 Kg/m³; cuerpo 4, constituido por la Formación Utrillas, de densidad media 2400 Kg/m³; cuerpo 5, formado por los materiales del Cretácico Superior, de densidad media 2600 Kg/m³ y cuerpo 6, constituido por los sedimentos terciarios (Paleógeno y Neógeno), de densidad

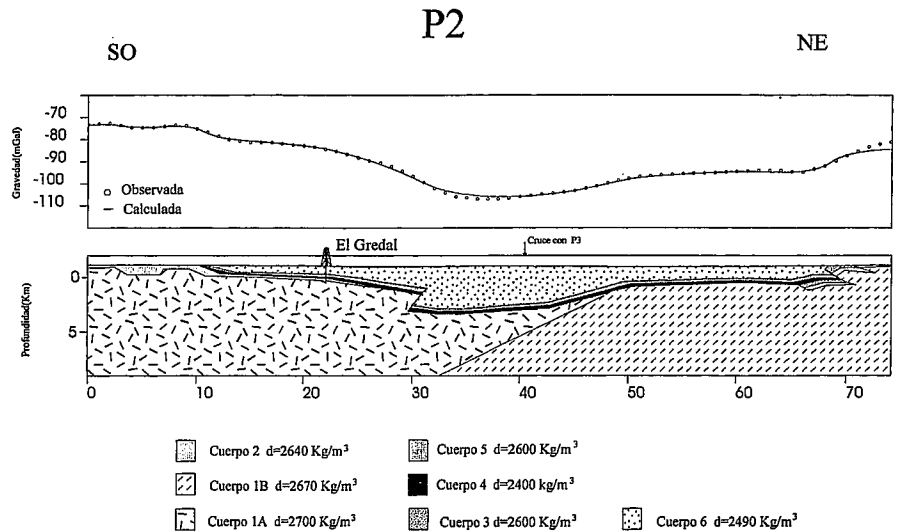


Fig. 5 - Perfil 2. Perfil transversal a la Cuenca de Almazán. Anomalía observada, anomalía calculada y modelo de densidades ajustado.

Fig. 5- Profile 2, transversal to Almazan Basin. Observed and calculated anomaly and density model adjusted.

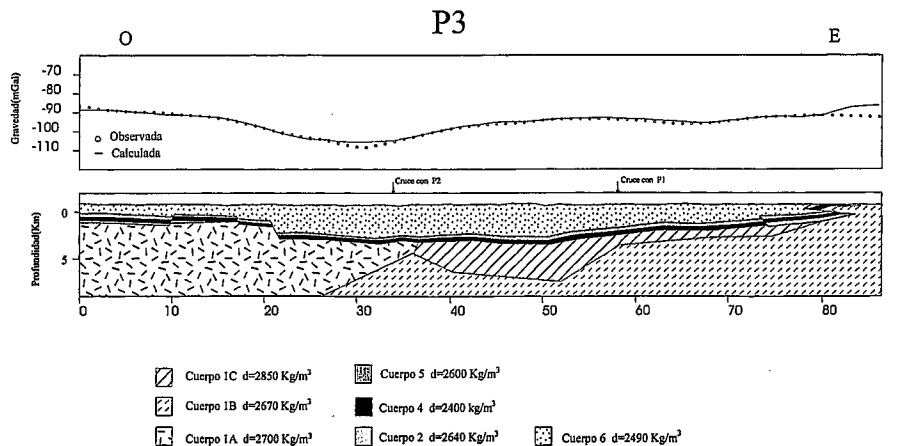


Fig. 6 - Perfil 3. Perfil longitudinal a la Cuenca de Almazán. Anomalía observada, anomalía calculada y modelo de densidades ajustado.

Fig. 6- Profile 3, longitudinal to Almazan Basin. Observed and calculated anomaly and density model adjusted.

media 2490 Kg/m³. El cuerpo 4 se ha diferenciado debido a su marcado contraste de densidad con los cuerpos adyacentes y a que es uno de los reflectores que mejor se identifican en los perfiles sísmicos de reflexión. La modelización se ha llevado a cabo con el programa GM-SYS en 2 ½ D. La profundidad de los modelos se ha limitado a 10 Km, considerando sólo las fuentes situadas en la corteza superior.

Perfil 1

El perfil 1 se extiende desde los afloramientos mesozoicos de la Rama Castellana hasta los afloramientos mesozoicos de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, atravesando la cuenca según una dirección NE-

SO (Fig. 4). Su traza coincide con la línea sísmica número A 80-11 (Fig. 2). Está caracterizado por un mínimo relativo, donde los valores de la anomalía descienden hasta -95 mGal. En este perfil el máximo espesor de sedimentos está situado en su mitad NE, en contacto mediante una falla inversa con los materiales cretácicos del borde oriental de la cuenca. El cuerpo 2 sólo está representado en los extremos del perfil, ya que las rocas jurásicas y triásicas están ausentes en el centro de la Cuenca (ITGE, 1990). En la zona SO se han reflejado las fallas de mayor salto observables en la línea sísmica. Durante el proceso de modelización se observó que el modelo de densidades elaborado satisfacía sólo en parte la anomalía, siendo necesario para el ajuste modificar en gran medida la geometría del fondo de la cuenca.

Este problema también se planteó al modelizar los otros dos perfiles, por lo que se optó por diferenciar cuerpos de distintas densidades en el basamento, evitando introducir cambios importantes en los valores de profundidad calculados a partir de la restitución de los perfiles sísmicos. Para definir la geometría de estos cuerpos se han tenido en cuenta las características de las estructuras de los macizos paleozoicos aflorantes en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, donde los pliegues y cabalgamientos tienen una dirección media NO-SE y buzamientos predominantes hacia el SO. Orientaciones similares se muestran en los cortes geológicos realizados por Maestro *et al.* (1997) en el borde nororiental de la cuenca en los cuales, bajo los sedimentos paleógenos, la estructura del basamento está caracterizada por planos con buzamientos hacia el SO. De las diversas posibilidades ensayadas, el modelo que satisfacía tanto los datos sísmicos como los datos gravimétricos es el que se muestra en la figura 4. En él, el basamento está constituido por tres cuerpos: un cuerpo de densidad 2700 Kg/m³ en la zona SO y dos cuerpos de densidades 2850 Kg/m³ y 2670 Kg/m³ en la zona NE. El ajuste del modelo es de 0.57%.

Perfil 2

También transversal a la cuenca, el perfil 2 pasa por el sondeo El Gredal (Fig. 5). El perfil gravimétrico muestra un mínimo relativo muy acentuado en la zona central que corresponde al mínimo de Almazán, coincidiendo con la zona de mayor espesor de sedimentos terciarios. Esta zona de máxima profundidad de la cuenca está limitada hacia el SO por una falla inversa, estructura detectada en las líneas sísmicas, y en cuyo bloque levantado se encuentra situado el sondeo El Gredal. Los datos de profundidades de los distintos cuerpos y las densidades calculadas a partir del "density log" de este sondeo no han sido modificados durante la modelización ya que justifican con un mínimo error el valor de la anomalía de Bouguer en su entorno. El contacto entre los materiales terciarios y la cobertera mesozoica se realiza mediante fallas inversas en el extremo NE. En esta zona se ha interpretado la existencia de los cuerpos 2 y 3, correspondientes a los materiales triásicos y jurásicos y a las rocas del Cretácico inferior bajo la cuenca tal y como sugieren Maestro *et al.*, (1997). Al igual que en el perfil anterior, ha sido necesario diferenciar cuerpos de distinta densidad en el basamento para mantener la profundidad del fondo de la Cuenca en la zona NE del perfil dentro del rango de valores obtenidos en el mapa de isobatas para esta área. En este caso en la anomalía calculada existía un exceso de masa en la zona NE, por lo que bajo esta zona se ha introducido

un cuerpo de 2670 Kg/m³, cuyo límite con el cuerpo de densidad 2700 Kg/m³ presenta una geometría similar a la adoptada en el perfil anterior. El ajuste del modelo es de 0.74 %.

Perfil 3

Longitudinal a la cuenca (Fig. 6), coincide con las líneas sísmicas A 80-29 y A 80-04 (Fig. 2). En este perfil se puso de manifiesto con mayor evidencia las discrepancias entre la anomalía observada y la anomalía calculada a partir del modelo de densidades inicial. Si bien, el mínimo relativo de Almazán, centrado a 32 km. del extremo occidental del perfil, puede justificarse por el efecto gravitatorio de los mayores espesores de sedimentos terciarios (cuerpo 6), el máximo relativo adyacente al E no lo es. Como en los perfiles anteriores, ha sido necesaria la introducción de tres cuerpos de densidades 2670 Kg/m³, 2700 Kg/m³ y 2850 Kg/m³ en el basamento para ajustar el modelo. El fondo de la cuenca desciende en la zona occidental del perfil a favor de una falla, Falla de Almazán (Bond, 1996), cuyo salto estimado en este perfil es de 1200 m. La estructura de margen oriental de la cuenca está caracterizada por una serie de fallas inversas que afectan tanto a la cobertera mesozoica como al basamento. El ajuste del perfil es de 1.13 %.

Conclusiones

El análisis comparativo de la geometría de la Cuenca de Almazán establecida a partir de la restitución de los perfiles de sísmica de reflexión y el Mapa de anomalías de Bouguer de la zona muestra que no existe una relación directa entre la distribución de las anomalías y la situación del depocentro de la Cuenca, salvo en la zona central donde el mínimo relativo de Almazán está asociado a un área de mayor potencia de los sedimentos. Estas discrepancias han sido investigadas mediante la modelización de tres perfiles gravimétricos, en los cuales las profundidades de los cuerpos más superficiales han sido determinadas mediante datos sísmicos. Los resultados de la modelización gravimétrica muestran que la distribución de las anomalías de Bouguer en la Cuenca de Almazán es debida a la superposición de los efectos gravitatorios de fuentes superficiales, representadas por los sedimentos que rellenan la Cuenca, y de fuentes más profundas situadas en el basamento. El basamento está constituido por tres cuerpos de densidades 2700 Kg/m³, 2670 Kg/m³ y 2850 Kg/m³, cuyas geometrías han sido definidas en función de las características de las estructuras de los macizos paleozoicos adyacentes. En la Sierra de Cameros, Rivero *et al.* (1996) también atribuyen a heterogeneidades en el basamento algunas de

las anomalías gravimétricas de esa zona. Los modelos de densidades realizados satisfacen tanto los datos sísmicos como los datos gravimétricos. Estos resultados demuestran que el análisis combinado de datos sísmicos y gravimétricos permite interpretar aspectos de las estructuras corticales que no pueden definirse sin ambigüedades utilizando cada tipo de datos por separado.

Este trabajo ha sido financiado por la DGI-CYT (proyecto de investigación PB 94-0242).

Referencias

- Adell Argiles, F.; Tena-Dávila, M. y González Loreido, F. (1982): *Mapa geológico de España. Escala 1 :50000. Hoja nº 434*, Barahona. IGME
- Bergamín J.F., Tejero, R. y Pinto, V. (1995): *Rev. Soc. Geol. España*, 8 (3) : 251-259.
- Bond, J., (1996): *Tertiary basins of Spain*. Cambridge University Press :203-213.
- Casas, A.M. (1992) : *Zubia, monográfico*, 4, Instituto de Estudios Riojanos.
- Ferreiro, E. (1991b): *Mapa geológico de España. Escala 1 :50000. Hoja nº 377, Burgo de Osma*. ITGE.
- Guimerá, J., Alonso, A. y Más, J. R. (1995): *Basin Inversion. Geol. Soc. Spec. Publ.*, Londres, 88 :433-453.
- ITGE (1990): *Documentos sobre la geología del subsuelo de España*. Tomo V. Memoria y 20 planos.
- Lendínez, A. (1991a): *Mapa geológico de España. Escala 1 :50000. Hoja nº 350, Soria*. ITGE
- Lendínez, A. (1991c): *Mapa geológico de España. Escala 1 :50000. Hoja nº 380, Borobia*. ITGE
- Lendínez, A. (1991d): *Mapa geológico de España. Escala 1.50000. Hoja nº 408, Torrijo de la Cañada*. ITGE
- Lendínez, A. (1991e): *Mapa geológico de España. Escala 1 :50000. Hoja nº 435, Arcos de Jalón*. ITGE.
- Lendínez, A. (1991f): *Mapa geológico de España. Escala 1 :50000. Hoja nº 436. Alhama de Aragón*. ITGE.
- Maestro, A. (1993) : *Tesis de licenciatura*. Universidad de Zaragoza, 159 pp.
- Maestro, A., Casas, A.M. y Cortés, A.L., (1994): *II Congreso de G.E.T.* : 149-152.
- Maestro, A., Cortés, A.L. y Casas, A.M. (1997) : *Geogaceta*, 22 : 117-120.
- Platt, N.H. (1990) : *Jour. Geol. Soc.* (London), 147 : 165-175.
- Rivero, L., Guimerá, J. y Casas, (1996) : *Geogaceta*, 20(7) : 1695-1697.
- SHELL (1982). *Informe final del sondeo El Gredal-I*. Permiso Exploración de Almazán Shell España, N.V.