

Estudio gravimétrico de la depresión del Penedès

Emilio HERNANDEZ CHIVA ⁽¹⁾ y Alberto CASAS PONSATI ⁽²⁾

(1) Instituto de Geología «Jaime Almera», C.S.I.C., Martí i Franqués s/n Barcelona 08028.

(2) Departamento de Prospección Geológica y Geofísica de la Universidad de Barcelona, Gran Vía de les Corts Catalanes, 585, 08007 Barcelona

RESUMEN

La finalidad de este trabajo ha sido, en primer lugar, la elaboración del mapa de anomalía de Bouguer de la Depresión del Penedès. Posteriormente se ha realizado una interpretación de éste con el fin de determinar los principales rasgos estructurales de la zona y estimar el grosor de sedimentos que rellenan la fosa.

La principal característica gravimétrica observada es el gradiente regional negativo, de dirección SE-NW, que confirma el aumento de grosor de la corteza en esa dirección. Para eliminar este efecto regional e individualizar la anomalía de la depresión, se ha utilizado la técnica del ajuste polinómico por mínimos cuadrados.

En el mapa de anomalía residual obtenido se pueden observar los efectos producidos por la existencia de horsts y graben de dirección ENE-WSW. Se presentan, además, tres modelos estructurales de la depresión basados en el ajuste automático entre los valores de anomalía observados y los teóricos del modelo gravimétrico inicial.

Palabras clave: Gravimetría. Depresión del Penedès.

ABSTRACT

The Bouguer gravity anomaly map of the Penedes basin is presented and interpreted. The principal aim of this study is to delineate the structural features related with the principal geological fractures and to estimate the thickness of the sedimentary rocks filling the basin.

A SE-NW negative regional gradient is the main characteristic of the map and confirms the earth's crust thickening towards the NW. In order to eliminate this effect the polynomial surface fit technique is used to obtain the short wavelength anomalies which are due to the structure of the basin itself.

The residual anomalies are closely related to the structure and morphology of the basement, which is characterized by a succession of horsts and graben following mainly the NW-SE direction. Structural sections along certain profiles, deduced through the fit between residual anomalies and calculated from gravity models, are presented.

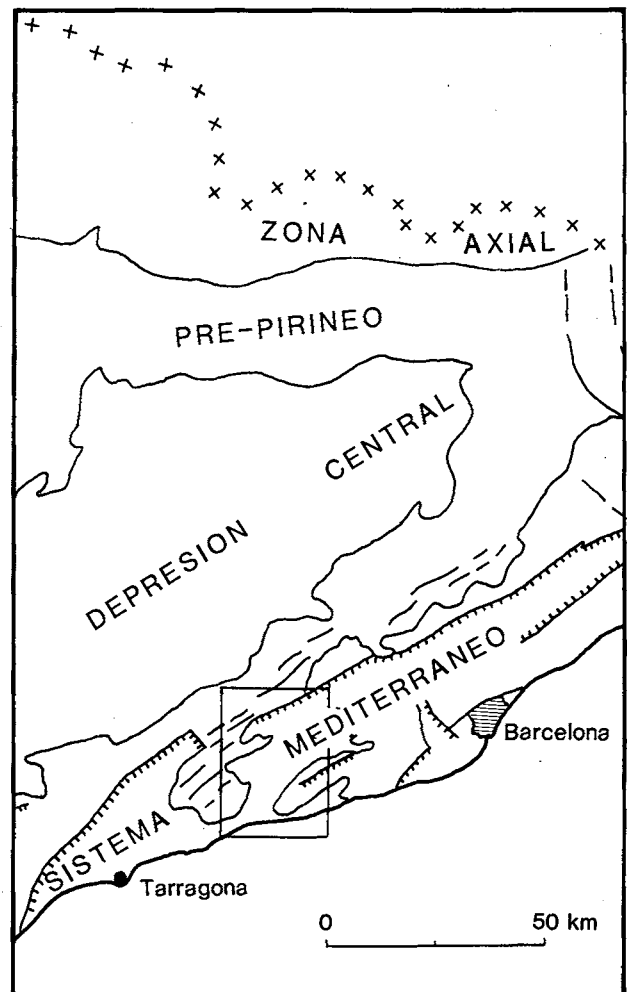
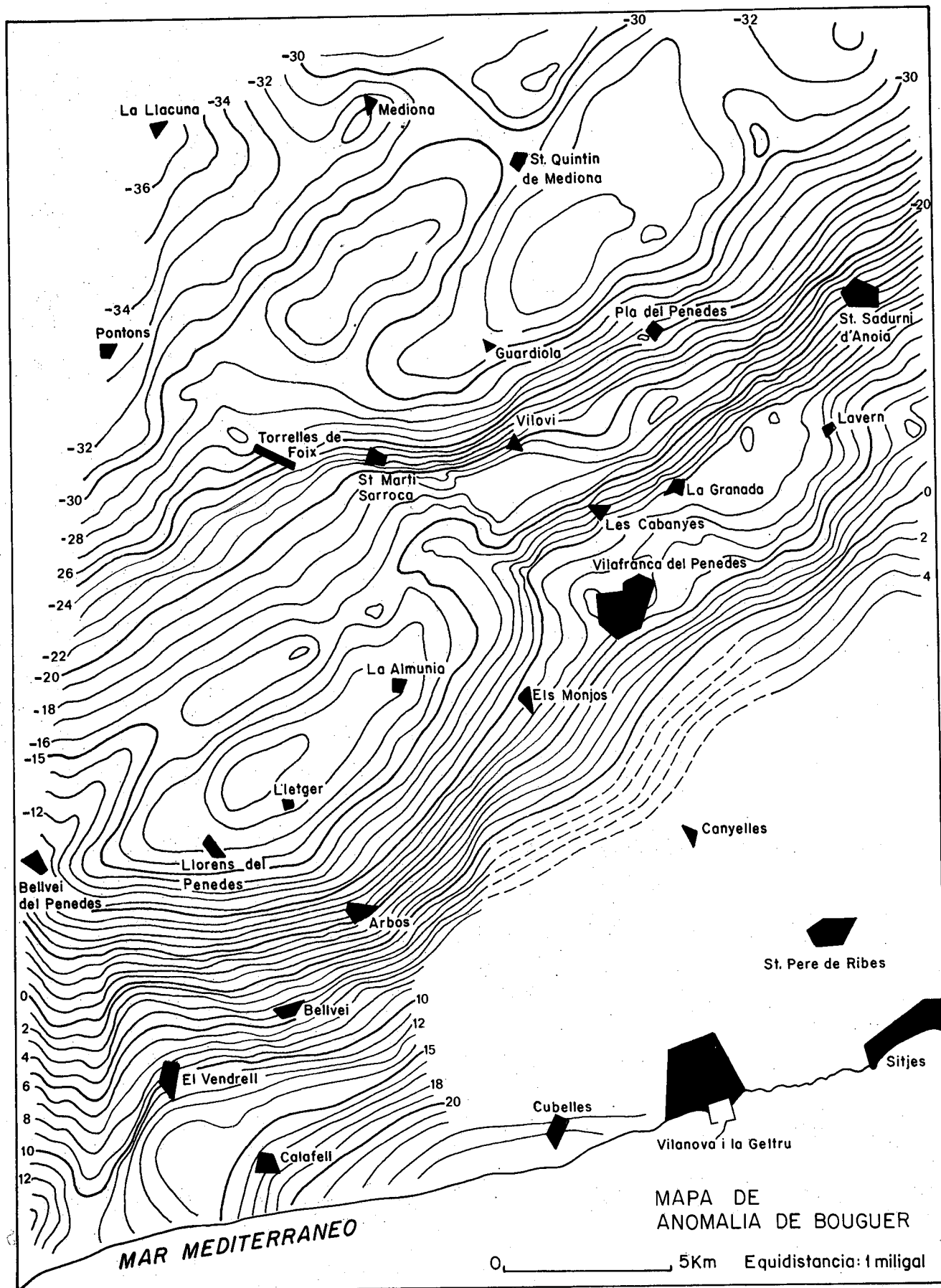


Figura 1.- Situación geográfica y marco geológico.

Figure 1.- Geographical location and geological setting.



INTRODUCCION

El elevado contraste de densidad existente entre los materiales que constituyen los límites de una fosa tectónica y los que la rellenan, hace posible abordar la interpretación estructural de la misma a partir de las anomalías gravimétricas negativas que aquéllas presentan.

La Depresión del Penedès, fosa tectónica limitada por fallas maestras de dirección ENE-WSW, presenta las características adecuadas para su estudio mediante la prospección gravimétrica, como se puso de manifiesto en el estudio gravimétrico preliminar, basada en la interpretación de cuatro perfiles transversales, realizado por Casas y Permanyer (1980), que permitió ya definir sus principales rasgos estructurales.

MARCO GEOLOGICO

La Depresión del Penedès forma parte del conjunto de fosas tectónicas neógenas caracterizadas por un fuerte hundimiento del zócalo, con formación de horsts y graben asociados. Este conjunto conocido como «Sistema de Fosas del Mediterráneo» por Julivert *et al.* (1974) se extiende desde el mar de Alborán hacia el Suroeste de Francia y a través del valle del Ródano hasta la fosa del Rhin.

Más concretamente la Depresión del Penedès (Fig. 1) se enmarca en el ámbito de los Catalánides (Llopis, 1974), unidad morfoestructural que se extiende a lo largo de la costa catalana entre el Empordà y la Cordillera Ibérica y entre la Depresión del Ebro y el Mar Mediterráneo. En los Catalánides se han distinguido tradicionalmente tres subunidades paralelas a la costa: la Cordillera Prelitoral, la Depresión Prelitoral y la Cordillera Litoral.

Anadón *et al.* (1979) han propuesto, en función de variaciones de las características estratigráficas y tectónicas, la división de los Catalánides en una serie de unidades longitudinales que reflejan un diferente comportamiento paleogeográfico y estratigráfico, esencialmente durante la etapa preorogénica alpina. Según este esquema, la Depresión del Penedès se enmarca en el dominio central.

←
—

Figura 2.- Mapa de Anomalía de Bouguer.

Figure 2.- Bouguer anomaly map.

CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES

La Depresión del Penedès es una fosa tectónica constituida por un basamento predominantemente calcáreo de edad mesozoica y colmatada por sedimentos continentales y marinos atribuidos al Burdigaliense por Cabrera (1980) y Permanyer (1982). En el sector más septentrional de la depresión, entre Sant Sadurn d'Anoia y el río Llobregat, este basamento pasa a estar constituido por pizarras paleozoicas, según los datos proporcionados por el sondeo Martorell-1 (ENIEPSA), y está relacionado con los afloramientos paleozoicos de la Cordillera Prelitoral Catalana de la zona Capellades-Vallbona.

Todo este conjunto de materiales esta afectado principalmente por dos familias de fracturas de direcciones ENE-WSW y WNW-ESE, que confieren a la zona una típica estructura en bloques.

Las fracturas ENE-WSW actuaron en fase distensiva, probablemente, desde finales del Oligoceno y su acción se ha prolongado hasta nuestros días, tal como lo prueban las deformaciones de los materiales plio-cuaternaños y los registros sísmicos. No obstante, estas fracturas longitudinales habían ya actuado durante la fase compresiva anterior (Fontboté, 1954) dando lugar a fallas inversas y desgarres.

ADQUISICION Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS GRAVIMETRICOS

Los datos de base utilizados en este estudio provienen tanto de levantamiento gravimétricos anteriores como de mediciones realizadas específicamente para este estudio con el fin de obtener una cobertura uniforme.

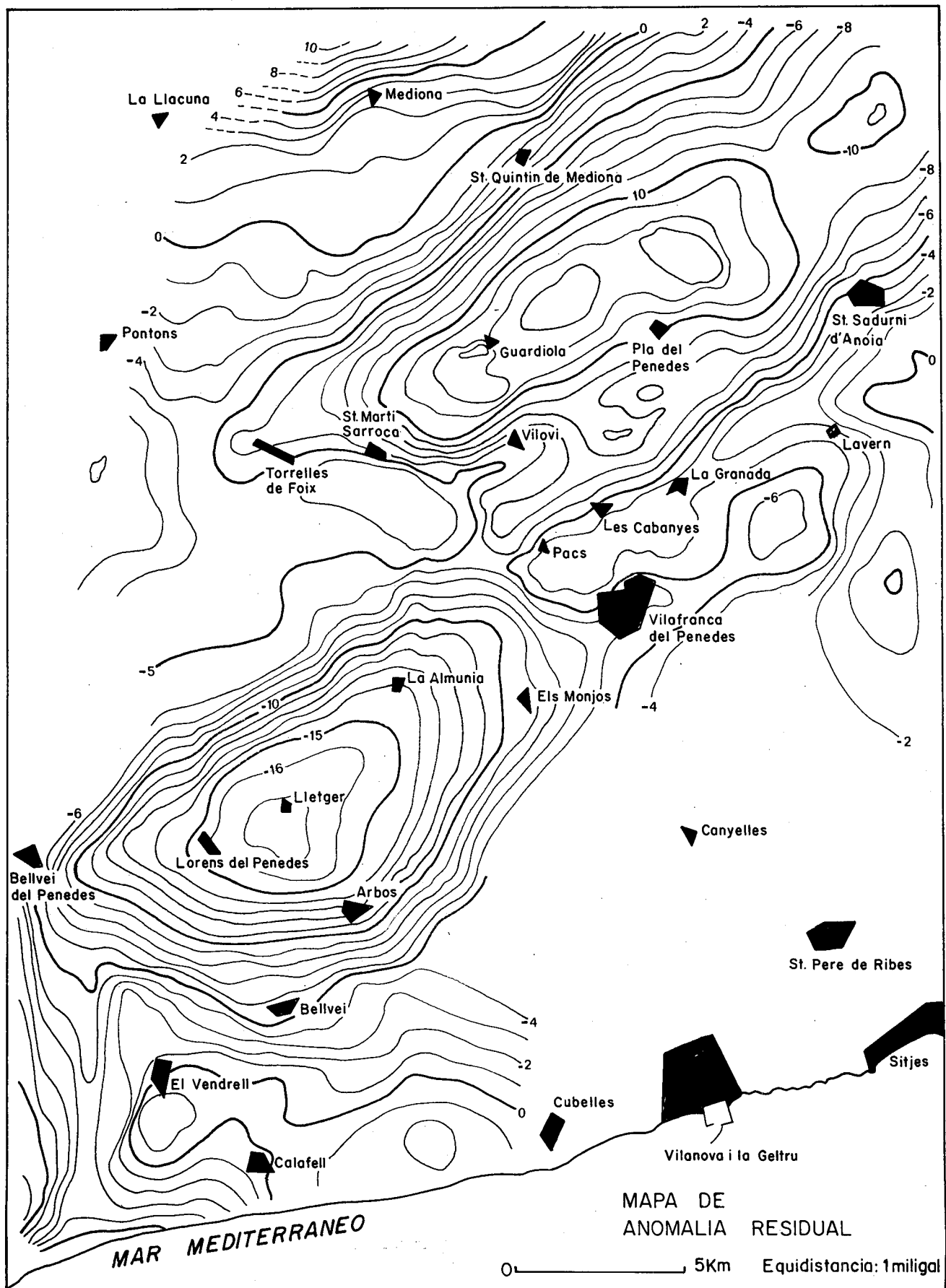
En total se han utilizado 980 estaciones sobre una superficie de 550 kilómetros cuadrados, lo que representa una distribución media de casi 2 estaciones por kilómetro cuadrado.

Las medidas se han realizado mayoritariamente con un gravímetro Scintrex, modelo CG-2. La duración relativamente corta de los itinerarios de medida ha permitido ignorar el efecto de atracción lunisolar e incluirlo en la deriva instrumental.

La anomalía de Bouguer se ha calculado mediante la comparación entre la gravedad observada en el IGSN-71 y la teórica correspondiente al sistema geodésico de referencia GRS-67 reducida a la superficie según la expresión:

$$AB = Gobs - (Gt - gf + gb - gt)$$

en donde



AB = anomalía de Bouguer
 Gobs = gravedad observada (IGSN-71)
 Gt = gravedad teórica (GRS-67)
 gf = corrección de aire libre
 gb = corrección de Bouguer
 gt = corrección topográfica

La densidad media utilizada para las correcciones han sido 2.67 g/cm^3 .

La corrección topográfica se ha realizado hasta una distancia de 20 kilómetros a partir de un modelo digital de relieve. El moderado relieve de la depresión hace que el valor medio de la corrección sea inferior al 1 mgal en el 85% de las estaciones, mientras que el máximo es de 3.0 mgals en la Cordillera Prelitoral.

El mapa de anomalías de Bouguer se ha elaborado por interpolación numérica, con una equidistancia entre isoanómalas de 1 miligal, estimando que el error máximo en el cálculo de la anomalía de Bouguer puede alcanzar los 0.4 miligales.

INTERPRETACION DEL MAPA DE ANOMALIAS

Dos características principales pueden deducirse del mapa de anomalías de Bouguer (Fig. 2):

1. La existencia de un gradiente negativo de dirección SE-NW y de un valor medio de -2 mgal/km que produce la variación de los $+24 \text{ mgals}$ en la costa a los -36 mgals en el extremo NW de la zona estudiada. Este gradiente es debido al fuerte aumento de grosor de la corteza hacia el continente y que ha sido ya puesto en evidencia en el sector oriental de los Pirineos mediante estudios de sismica profunda (Gallart *et al.*, 1981).
2. La superposición a este gradiente regional de anomalías locales producidas por el contraste de densidad existente entre los sedimentos neógenos y los materiales del zócalo y de los horts marginales de la depresión.

Para separar ambos efectos se ha efectuado una residualización de las anomalías locales, sustrayendo al valor de la anomalía de Bouguer el efecto regional calculado por ajustes mínimo-cuadrático a una superficie de primer grado.



Figura 3.- Mapa de Anomalía Residual.

Figure 3.- Residual anomaly map.

En el mapa de anomalías residuales (Fig. 3), que refleja de forma más localizada los efectos producidos por las estructuras del basamento de la depresión, pueden destacarse las siguientes características:

La existencia de un mínimo gravimétrico muy acusado en el Baix Penedès de -17 mgals , y de otro mínimo en el Alt Penedès de -14 mgals , aunque la estructura del zócalo se deduce mucho más complicada en el Alt Penedès a causa de sucesión de máximos y mínimos alineados paralelamente a la estructura general.

La complicación estructural del Alt Penedès se relaciona con los afloramientos mesozoicos de Viloví y de Pacs. De modo que, en este sector, se configuran tres fosas paralelas: la de Vilafranca al sur, la de Valldosera en el centro y la Guardiola al norte, caracterizadas por sus correspondientes mínimos gravimétricos. Separando los tres mínimos aparecen dos máximos relativos centrados sobre los umbrales de Viloví y de Pacs. El de Pacs, de mayor extensión se extiende hacia el macizo del Garraf, mientras que el de Viloví está conectado con el bloque de Bonastre.

El mapa de anomalías residuales refleja, asimismo, la existencia de una serie de inflexiones transversales en las líneas isoanómalas que afectan la regularidad del trazado de los máximos y mínimos gravimétricos. Estas inflexiones son producidas por los accidentes de desgarre: falla del Llobregat falla de Capellades-Vallcarca y falla de Sant Matí Sarroca. La primera de ellas, la más característica, separa la depresión del Penedès de la depresión del Vallès, mientras que las otras dos dividen el Penedès en tres zonas de características estructurales bien diferenciadas.

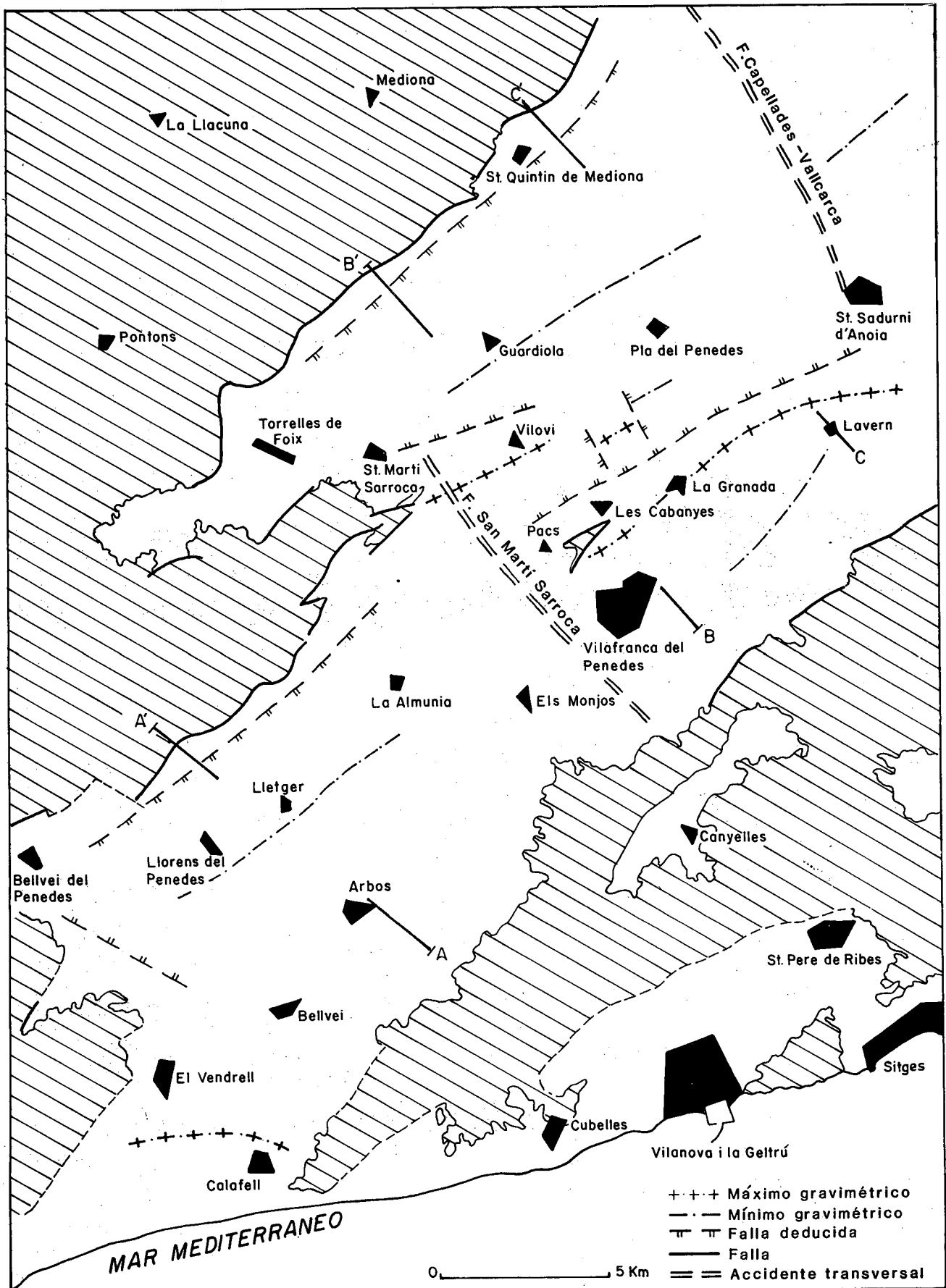
La interpretación del mapa de anomalías residuales se sintetiza en el esquema estructural de la figura 4.

MODELIZACION GRAVIMETRICA

Del mapa de anomalías residuales se han interpretado cuantitativamente tres perfiles, con el fin de verificar las estructuras del zócalo deducidas anteriormente y estimar sus profundidades.

La interpretación de los perfiles gravimétricos se ha realizado mediante un programa por ordenador que incorpora las subrutinas de Enmark (1981), basadas en los trabajos de Pedersen (1977-1979) y que utiliza el algoritmo de Marquart (1963) para regularizar la inversión.

En síntesis, el programa permite, dado un modelo inicial constituido por uno o varios polígonos de N lados, determinar, por sucesivos ajustes, un modelo tal



que presente una anomalía teórica que ajuste adecuadamente con la anomalía experimental.

Los parámetros del problema son las coordenadas de los vértices de los polígonos, existiendo la posibilidad de fijar el valor de determinados vértices en función de los conocimientos geológicos previos.

Los sucesivos ajustes consisten en minimizar la expresión:

$$Q = [\bar{y} - \bar{A} \delta \bar{p}]^2$$

en donde el vector \bar{y} es

$$\frac{1}{\sigma} [\Delta g_e(r_m) - \Delta g_t(r_m, \bar{P}_0)]$$

siendo $\Delta g_e(r_m)$ el valor de la anomalía experimental obtenidas en M puntos y $\Delta g_t(r_m, \bar{P}_0)$ es el valor de la anomalía producida por el modelo de polígono \bar{P}_0 y medida en los mismos M puntos.

La matriz \bar{A} está formada por las derivadas parciales

$$\frac{1}{\sigma} \frac{\delta g_t(r_m, \bar{P}_0)}{\delta P_n}$$

$m = 1, 2, \dots, M$

$n = 1, 2, 3, \dots, 2N$

y $\delta \bar{P}$ es el valor que se va modificando en cada interacción y que define los desplazamientos que sufren los vértices no fijados del polígono, hasta que la anomalía del modelo ajuste de un modo adecuado con la anomalía experimental. El cálculo de este vector de incrementos es la parte más laboriosa de cálculo y se realiza por medio del algoritmo de Marquart (1963).

La elección del modelo inicial es crucial en todos los métodos lineales de inversión. Es por ello que la utilización de toda la información geológica y geofísica disponible en la zona se ha tenido en cuenta en el momento de plantearlo.

El contraste de densidad se ha considerado uniforme para todos los perfiles e igual a -0.24 gr / cm^3 . Este valor se ha adoptado, a falta de datos experimentales, en función del ajuste obtenido entre las profundidades del basamento calculadas por modelización gravimétrica utilizando dicho contraste y las conocidas de los sondeos profundos de Martorell y Granollers.

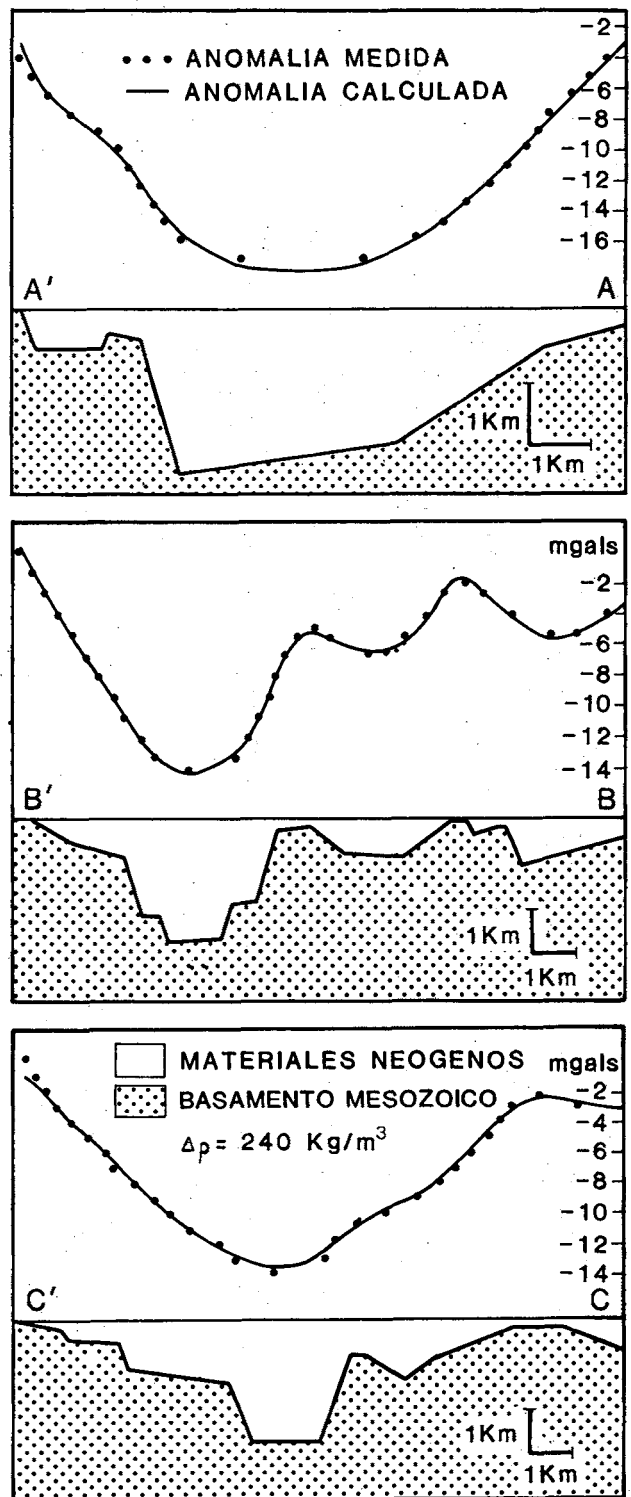


Figura 5.- Anomalía medida y calculada con su correspondiente modelo optimizado de cada perfil.

Figure 5.- Observed and computed gravity anomaly and optimized models for each profile.

Figura 4.- Esquema estructural con la localización de los perfiles interpretados.

Figure 4.- Schematic structural map also showing the interpreted profiles location.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

El perfil AA' (de dirección NW-SE) pasa por las poblaciones de L'Arboç y Lletger y tiene sus extremos en los arrecifes miocénicos de las estribaciones del Macizo del Garraf al SE y los afloramientos del Bloque de Bonastre al NW. El modelo gravimétrico obtenido refleja un hundimiento progresivo del zócalo hacia el NW donde llega a alcanzar una profundidad máxima de 3 km y una estructura en bloques escalonados en el límite con el bloque de Bonastre, de modo que la fractura principal queda desplazada más de 2 km de los afloramientos mesozoicos. Este hecho se intuye ya en la cartografía del Mapa Geológico de España. (Benzaquen *et al.*, 1973).

El perfil BB', pasa por las poblaciones de Vilafranca del Penedès, Les Cabanyes y Viloví, estando limitado al SE por el Macizo de Garraf y al NW por la Cordillera Prelitoral. La interpretación del perfil de anomalías residuales muestra un zócalo estructuralmente más complicado que el anterior, con la aparición de las tres fosas paralelas, ya comentadas, separadas por los umbrales de Viloví y de Pacs. La profundidad máxima de las fosas de Vilafranca y Valldosera no alcanza los 800 metros, mientras que la de Guardiola, de mayor extensión, llega hasta los 2.5 km.

El perfil CC', situado como el anterior en el Alt Penedès, va desde Lavern, en las estribaciones de Macizo del Garraf, a Sant Quintí de Mediona. El modelo gravimétrico deducido de la interpretación de este perfil refleja una estructura semejante al anterior con una fosa principal al NW y de unos 2.5 km. de profundidad. Los dos umbrales, dada la proximidad con el corte BB', pueden considerarse como una prolongación de los de Viloví y Pacs, hundiéndose progresivamente el primero y uniéndose el segundo al Macizo de Garraf para cerrar así la pequeña fosa tectónica que transcurre entre ambos.

La exactitud de estos espesores basados en los modelos gravimétricos dependerá de la bondad del modelo geológico utilizado y del conocimiento del contraste de densidades entre los materiales de relleno y los que forman el basamento.

BIBLIOGRAFIA

- ANADON, P., COLOMBO, F., ESTEBAN, M., MARZO, M., ROBLES, S., SANTANACH, P. y SOLE SUGRANYES, LL., 1979: «Evolucion tectonoestratigráfica de los Catalánides». *Acta Geológica Hispánica*. Homenatge a Lluís Sole i Sabarís. 14: 242-270.
- BENZAQUEN, M., NUÑEZ, A. y MARTINEZ, W., 1973: Mapa Geológico de España e. 1/50.000. Hoja 419: Vilafranca del Penedès. IGME. Servicio de publ. Ministerio de Industria, 48 p.
- CABRERA, L., 1980: *Estudio estratigráfico y sedimentológico de los depósitos continentales basales del Mioceno de la depresión Vallès-Penedès*. Tesis de Licenciatura. Dpt. Estrat. Univ. de Barna. (inédita).
- CASAS, A. y PERMANYER, A., 1982: «Deposición y estructura del zócalo de la depresión terciaria del Penedès». *Rev. Inst. de Inv. Geológicas de la Dip. Prov. de Barna*. 35: 23-30.
- ENMARK, T., 1981: «A versatile interactive computer program for computation and automatic optimization of gravity models». *Geoplot* 19: 47-66.
- FONTBOTE, J.M., 1954: «Las relaciones tectónicas de la depresión Vallès-Penedès con la cordillera Prelitoral Catalana y con la Depresión del Ebro». *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.* Homenaje al Profesor E. Hernández Pacheco.
- GALLART, J., DAIGNIERES, M., BANDA, E., SURINACH, E. y HIRN, A., 1980: «The eastern Pyrenean domain: lateral variations at crust-mantle level». *Annales de Geophysique* 36 (2): 141-158.
- JULIVERT, M., FONTBOTE, J.M., RIBEIRO, A. y CONDE, L., 1974: Memoria del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. Contribución al Mapa Tectónico de Europa. IGME.
- LLOPIS, N., 1947: *Contribución al conocimiento de la morfoestructura de los Catalánides*. Ed. Ariel 372 p.
- MARQUARDT, D.W., 1963: «An algorithm of least-squares estimation of nonlinear parameters». *J. Soc. Indust. Appl. Math.* 11: 431-441.
- PEDERSEN, L.B., 1977: «Interpretation of potential field data, a generalized inverse approach» *Geophys. Prospect.* 25: 199-230.
- PERDERSEN, L.B., 1979: «Constrained inversion of potential field data». *Geophys. Prospect.* 27: 726-748.
- PERMANYER, A., 1982: *Sedimentologia i diagenesi dels esculls miocens de la conca del Penedès*. Tesis Doctoral. Dpt. Petrol. y Geog., Univ. de Barna. (inédita).

Recibido, mayo 1986