

# CARTOGRAFÍA GEOFÍSICA EN CATALUÑA.

## II: EL MAPA GRAVIMÉTRICO

M. Torné (\*), A. Casas (\*\*), y E. Banda (\*\*\*)

### RESUMEN

El mapa gravimétrico de Cataluña se ha elaborado mediante el procesado de 2.366 estaciones apoyadas en 35 bases gravimétricas. El 65% de las observaciones han sido realizadas específicamente para este proyecto, mientras que el resto son datos disponibles de organismos públicos y compañías privadas. Estos datos han sido cuidadosamente controlados y homogeneizados para su integración en el conjunto de las observaciones.

Las observaciones han sido realizadas con dos gravímetros astáticos (Scintrex y Lacoste and Romberg) en una acción conjunta del Servei Geològic de Catalunya y el Departamento de Prospección Geológica y Geofísica de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona, durante el período 1981-1985. El sistema de referencia adoptado ha sido el International Gravity Standardization Net (IGSN, 1971), tal como recomienda la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica, acompañado del Geodetic Reference System (GRS, 1967) para el cálculo de la gravedad teórica. La influencia del relieve en las observaciones ha sido reducida hasta una distancia de 167 km de los puntos de medida, considerando una densidad media del terreno de  $2,67 \text{ g. cm}^{-3}$ .

El mapa de anomalías de Bouguer se ha trazado automáticamente a partir de una matriz regular generada por ajuste de una parábola biquadrática local sobre los puntos de medida que se encuentran en el interior de un círculo de 20 km de radio.

La principal característica del mapa es el acusado gradiente regional producido por el aumento de grosor de la corteza terrestre desde la costa hacia el NW y la de raíz de los Pirineos.

Algunas de las anomalías residuales calculadas por sustracción de una superficie de tercer grado pueden fácilmente relacionarse con estructuras geológicas conocidas, tal es el caso de los mínimos gravimétricos que pueden explicarse por cuencas sedimentarias, diapiros salinos o intrusiones graníticas, mientras que, el origen de los máximos gravimétricos no es evidente ya que pueden ser debidos a la presencia de rocas más densas en el basamento o bien a la morfología del mismo.

**Palabras clave:** Cartografía gravimétrica, Anomalía de Bouguer, Anomalía Residual.

### ABSTRACT

The gravity map of Catalonia has been elaborated from 2.366 gravity measurements. These have been carried out with the aid of 35 gravity bases. Sixty five per cent of the measurements have been specially performed for this project, whereas the rest comes from public institutions and private companies. The data have been properly contrasted and homogenized with our own measurements. The gravity measurements have been carried out with astatic gravimeters (Scintrex and Lacoste and Romberg) by the Geological Survey of Catalonia and the Department of Geological and Geophysical Prospecting between 1981 and 1985.

The computation of the gravity values has been done according to the recommendation of the International Gravity Standardization Net (IGSN, 1971) with the Geodetic Reference System (GRS, 1967). The topographic relief has been reduced to a distance of 167 km considering a mean density of  $2,67 \text{ g. cm}^{-3}$ .

The Bouguer anomaly map has been plotted interpolating a two-dimensional cubic spline under tension from a regular grid generated by fitting a local biquadratic parabola to the experimental point enclosed within a circle of 20 km radius.

The most prominent characteristic of the Bouguer gravity map is the regional trend produced by the crustal thickening towards the NW and the root of the Pyrenees.

Some of the residual anomalies calculated by subtracting a third degree surface can easily be related with known geologic features. Gravity lows can be explained by sedimentary basins, diapiric salt structures or intrusive felsic rocks. On the other hand the nature of gravity highs is not evident, since they could be due to the presence of high-density rock units or to the morphology of the Paleozoic basement.

**Key words:** Gravimetric Survey, Bouguer anomaly, Residual anomaly.

Torné, A., Casas, A. y Banda, E. (1988): Cartografía geofísica en Cataluña. II: El mapa gravimétrico. *Rev. Soc. Geol. España*, 1, (1-2), 81-87.

Torné, A., Casas, A. y Banda, E. (1988): Geophysical mapping in Catalonia. II: Gravimetric map. *Rev. Soc. Geol. España*, 1, (1-2), 81-87.

(\*) Servei Geològic de Catalunya, Travessera de Gràcia, 56, 08006 Barcelona.

(\*\*) Departamento de Prospección Geológica y Geofísica, Facultad de Geología, Universidad de Barcelona, Gran Vía, 585, 08007 Barcelona.

(\*\*\*) Institut Jaume Almera, C.S.I.C., Martí i Franqués, s/n, 08028 Barcelona.

## 1. INTRODUCCIÓN

La medida y análisis de la gravedad sobre la superficie terrestre es una de las técnicas fundamentales para el estudio de la forma, estructura y composición de la Tierra.

El interés que presentan los estudios de gravimetría en Geología se basa en el hecho de que reflejan en forma de anomalías las inhomogeneidades en la densidad de las rocas en profundidad, y por tanto, permiten deducir las variaciones litológicas y las características estructurales, complementando así la información obtenida por la geología de superficie. La interpretación de las anomalías gravimétricas es de gran utilidad en la determinación de las estructuras regionales, como, por ejemplo, definir la morfología del basamento de las cuencas sedimentarias petrolíferas o la extensión posible de las provincias metalogénicas. Los mapas gravimétricos regionales tienen también otras aplicaciones como el estudio de la corteza profunda y el manto o la determinación del gradiente regional en estudios gravimétricos de detalle.

Con el ánimo de proporcionar una infraestructura geofísica y geológica de calidad, el «Servei Geològic de Catalunya» impulsó la realización del Mapa Gravimétrico de Cataluña a escala 1:500.000 cuya realización se describe aquí y del Mapa Aeromagnético cuya elaboración se presenta en un trabajo paralelo (Zeyen y Banda, 1988).

El Mapa Gravimétrico de Cataluña a escala 1:500.000 tiene una cobertura homogénea de todo el territorio, con un total de 2.366 estaciones, de las cuales 35 corresponden a la Red de Bases Gravimétricas, punto de partida para la obtención de todas las observaciones gravimétricas. Teniendo en cuenta que la superficie de Cataluña es de 31.900 km<sup>2</sup> la cobertura media es de una estación cada 13,5 km<sup>2</sup>.

Las principales características del mapa son:

- International Gravity Standardization Net (IGSN, 71) como sistema de referencia de la gravedad observada.
- Geodetic Reference System (GRS, 67) como sistema de referencia de la gravedad teórica.
- Densidad media de 2,67 g.cm<sup>-3</sup> para todas las reducciones.
- Corrección topográfica hasta 167 km.
- Presentación del mapa con un intervalo entre isólinas de 5 miligales.

## 2. ADQUISICIÓN DE DATOS

Uno de los objetivos fundamentales de este proyecto era obtener un mapa de anomalías de Bouguer lo más preciso posible con una prudente economía de medios. Para ello se prestó una especial atención a la elección del emplazamiento de las estaciones, según los siguientes criterios:

a) Distribución tan homogénea como fuese posible de las estaciones, para lo cual después de haber dado pre-

ferencia, en una primera fase, a las estaciones de más fácil acceso situadas en carreteras y caminos transitables, se llevó a cabo una campaña utilizando el helicóptero del Parque de Bomberos de Bellaterra de la Generalitat de Catalunya, que nos permitió llegar a zonas del Pirineo inaccesibles por métodos convencionales.

b) Máxima precisión en la determinación de las alturas, para lo cual se situó el mayor número de estaciones en puntos de cota conocida tales como los de la red de nivelación de alta precisión (NAP), vértices geodésicos de 1º, 2º y 3º orden, vértices topográficos y puntos acotados.

c) Minimización de la corrección topográfica más próxima, para lo cual se intentó situar el máximo número de estaciones de forma que el relieve en un radio de 25 a 50 m fuese lo más llano posible, disminuyendo de este modo los errores al cuantificar este efecto.

A causa de la escasez de puntos de cota conocida nos vimos obligados a determinar numerosas altitudes mediante un altímetro barométrico Paulin modelo MD-5. Sin embargo, a pesar de la influencia de las variaciones de presión y temperatura sobre este tipo de instrumentos, consideramos que el error máximo cometido es de  $\pm 5$  metros, lo que representa, teniendo en cuenta el gradiente vertical medio de la gravedad, un error en el cálculo de la anomalía inferior a 1 miligal.

## 3. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Los instrumentos de medida utilizados en la determinación de los valores de la gravedad observada han sido dos gravímetros, un Scintrex modelo CG-2 y número de serie 370 y un Lacoste and Romberg modelo G. Ambos instrumentos son de los denominados inestables o astáticos, ya que tienden a modificar su estado de equilibrio con el fin de aumentar su sensibilidad, que en el caso del Lacoste and Romberg es de  $\pm 0,01$  mgal con una deriva inferior a 1 miligal al mes, mientras que el Scintrex tiene una sensibilidad de  $\pm 0,01$  mgal con una deriva media inferior a 1 mgal/día.

Al ser los gravímetros instrumentos mecánicos de medida relativa sujetos a variaciones en sus propiedades se han calibrado periódicamente entre dos bases, próximas, con gran desnivel y de valor conocido, situadas en el Observatorio Fabra de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona y en la Facultad de Ciencias Químicas y Físicas de la Universidad de Barcelona.

## 4. TRATAMIENTO DE LOS DATOS PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA

Para poder comparar los distintos valores de gravedad observada y deducir la distribución de masas en profundidad, es necesario efectuar una serie de correcciones o reducciones para obtener la anomalía de Bouguer, que puede definirse como la diferencia entre el va-

lor observado y la componente normal del campo deducida a partir de un modelo teórico. La anomalía en cada punto se obtiene mediante la expresión siguiente:

$$A = G_O - (G_t - \Delta g_F + \Delta g_B - \Delta g_T)$$

donde

$G_O$  es la gravedad observada en el sistema IGSN 71

$G_t$  es la gravedad teórica en el elipsoide calculada a partir de la fórmula de GRS 67 (Elipsoide de Woolard)

$$G_t = G_e (1 + \alpha \sin^2 \vartheta - \beta \sin^2 \vartheta)$$

donde

$G_e = 978031,846$  mgal, valor teórico de  $g$  en el ecuador

$$\alpha = 0,0053024$$

$$\beta = 0,0000058$$

$\vartheta$  = latitud geográfica de la estación

$\Delta g_F = 0,3086 h$  ( $h$  = altitud sobre el nivel del mar). Es la corrección de aire libre que reduce el valor de  $g$  por efecto de la altitud, sin tener en cuenta la masa existente entre el elipsoide de referencia y el punto de observación.

$\Delta g_B = 0,04191 \rho h$  ( $\rho$  = densidad media, en este caso  $2,67 \text{ g.cm}^{-3}$ ). Es la corrección de Bouguer que compensa el efecto producido por la masa de los materiales que hay entre el elipsoide de referencia y el punto de observación.

$\Delta g_T$  = corrección topográfica.

## 5. RED DE BASES GRAVIMÉTRICAS

Debido a que las medidas absolutas de la gravedad son escasas y difíciles de realizar, se asume el resultado de una medida absoluta como valor de referencia para las mediciones relativas realizadas en todo el mundo. Así, en el año 1930 se adoptó el Sistema de Potsdam, basado en las medidas pendulares de Kuhnen y Furtwangler (1906). Más tarde, en el año 1971 se definió el International Gravity Standardization Net (IGSN, 71), sistema absoluto descrito por Morelli et al. (1974) y recomendado para todos los estudios gravimétricos por la International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG).

El IGSN 71 está basado en las medidas absolutas de catorce bases distribuidas por todo el mundo y particularmente en ocho determinaciones de Hammond y Faller (1971) utilizando un sistema de medida de la gravedad por caída libre de una masa en el vacío y control de tiempo por interferometría con láser. Este nuevo sistema requiere una corrección sobre el antiguo Sistema de Potsdam de  $-14 \pm 0,03$  mgal.

En el año 1973 el Instituto Geográfico Nacional estableció mediante 4 gravímetros Lacoste and Romberg la «Red Gravimétrica Fundamental Española», red de

2º orden que está enlazada con el IGSN 71 en las bases situadas en los siguientes aeropuertos:

Barcelona	980306,23 ± 0,025
Lisboa	980075,73 ± 0,022
Madrid	979955,61 ± 0,020

A esta red de 2º orden pertenecen las bases catalanas de:

Gerona	980330,87 ± 0,03
Barcelona	980297,81 ± 0,03
Lérida	980250,69 ± 0,03
Tortosa	980217,00 ± 0,03
Seo de Urgel	980135,69 ± 0,03

A partir de estas cinco bases, y con el fin de facilitar la obtención de las observaciones gravimétricas mediante itinerarios de corto recorrido, se ha establecido una «Red de Bases Gravimétrica de Cataluña». Esta red de 3º orden está formada por 35 bases, situadas preferentemente en las capitales de comarca.

El enlace de la red de bases se ha hecho utilizando el método clásico de ida y vuelta. Para conseguir la máxima precisión en los valores de  $g$  en los diferentes nudos, se han medido las diferencias entre bases vecinas un mínimo de cuatro veces y un máximo de ocho, utilizando siempre el gravímetro Lacoste and Romberg.

La diferencia de gravedad para cada itinerario se ha calculado teniendo en cuenta el efecto de marea, y a cada uno de los lados de los diferentes polígonos formados se le ha asignado la media aritmética de las diferencias obtenidas en los distintos itinerarios.

La figura 1 muestra la red de bases ajustada, por el método clásico de los engranajes (Newman, 1974), que consiste en compensar sucesivamente los polígonos que presentan un mayor error de cierre. El criterio de ajuste adoptado se basa en repartir el error de cierre de cada polígono entre sus lados con un peso proporcional a la desviación estándar del conjunto de medidas de cada lado, fijándose además que el valor compensado esté comprendido entre el máximo y el mínimo medido.

## 6. CORRECCIÓN TOPOGRÁFICA

La corrección topográfica es el término de la anomalía de Bouguer más difícil de calcular, ya que requiere el conocimiento del relieve alrededor de la estación en un círculo de 167 km de radio, distancia máxima utilizada internacionalmente en estudios de carácter regional.

El control del error introducido en el cálculo de este parámetro es limitado, dada la imposibilidad de eliminar el factor subjetivo propio del método. Es obvio, también, que este error será mayor en zonas de relieve accidentado, mientras que en zonas llanas es prácticamente nulo. A pesar de estos factores, el error se sitúa alrededor del 5%.

La figura 2 muestra que el 80% de las estaciones tienen reducciones topográficas inferiores a 5,0 mgal y que un 10% superan los 10 mgal.

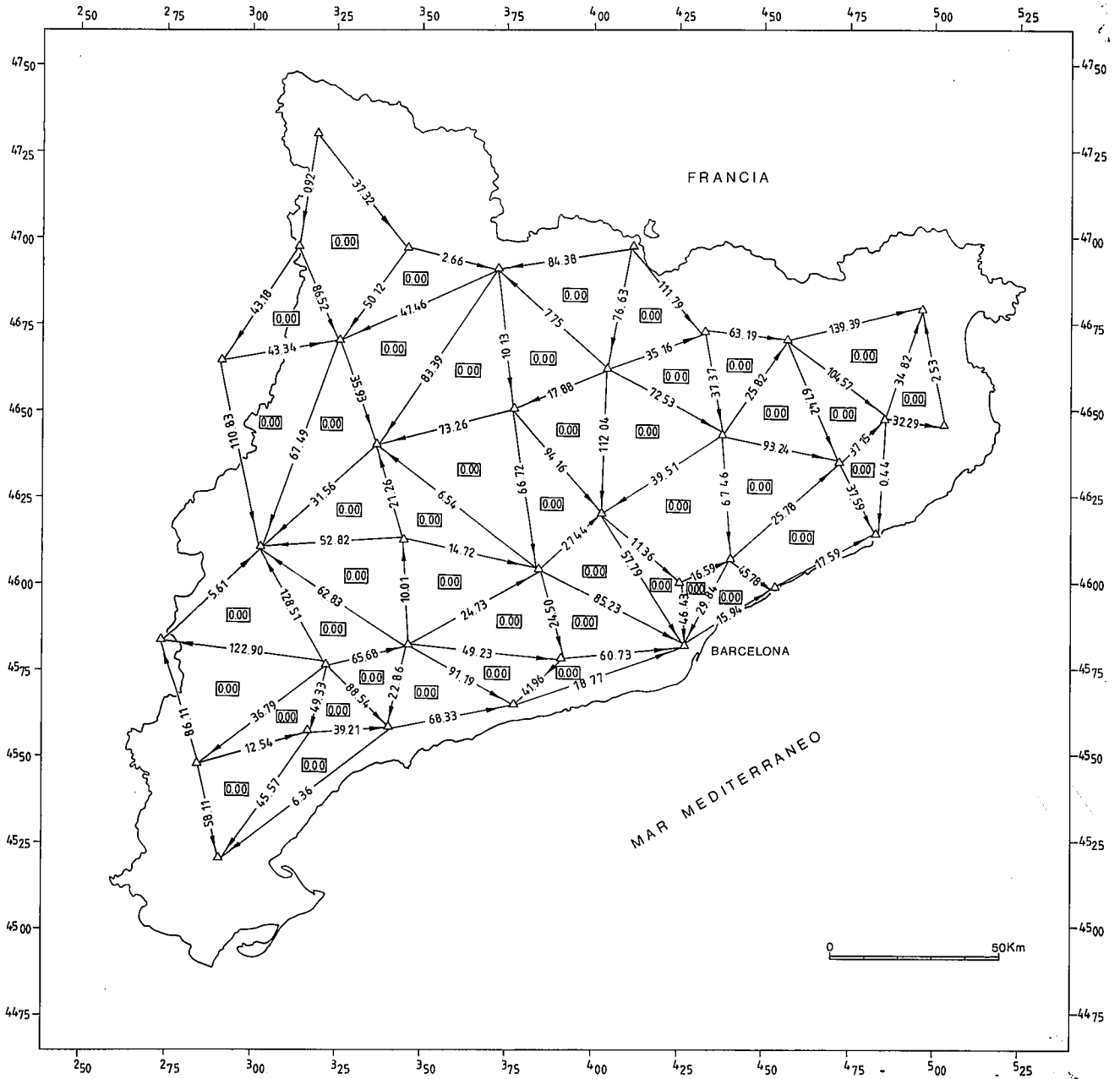


Fig. 1.—Red de bases ajustada de tercer orden de Cataluña.

Fig. 1.—Third order gravity bases network.

Debido al distinto detalle con que hay que conocer el relieve se ha modelizado la topografía alrededor de la estación de la siguiente manera:

	<i>Radios</i>	<i>Método de cálculo</i>
Corrección muy próxima	0-25/50 m	Prismas verticales de sector de corona
Corrección próxima	25/50-1.530 m	Método de Hammer Zonas D, E, F y G
Corrección media	1,35-20 km	Líneas de masa de prismas de sección trapezoidal
Corrección lejana	20-167 km	Líneas de masa de prismas de sección trapezoidal

### 6.1. Corrección muy próxima

En esta corrección el relieve alrededor de la estación ha sido evaluado por el propio operador en el terreno hasta un radio de 20 m o en algunas zonas de relieve muy accidentado hasta 50 m. El método de cálculo empleado es el propuesto por Klingelé (1980) que consiste en sustituir un sector circular conteniendo paredes y taludes por un sector circular homogéneo que produce el mismo efecto sobre la estación.

El cálculo del sector homogéneo de altura equivalente se obtiene gráficamente a partir de la distancia a la pared y de la pendiente del talud mediante un conjunto de curvas patrón obtenidas por integración numérica.

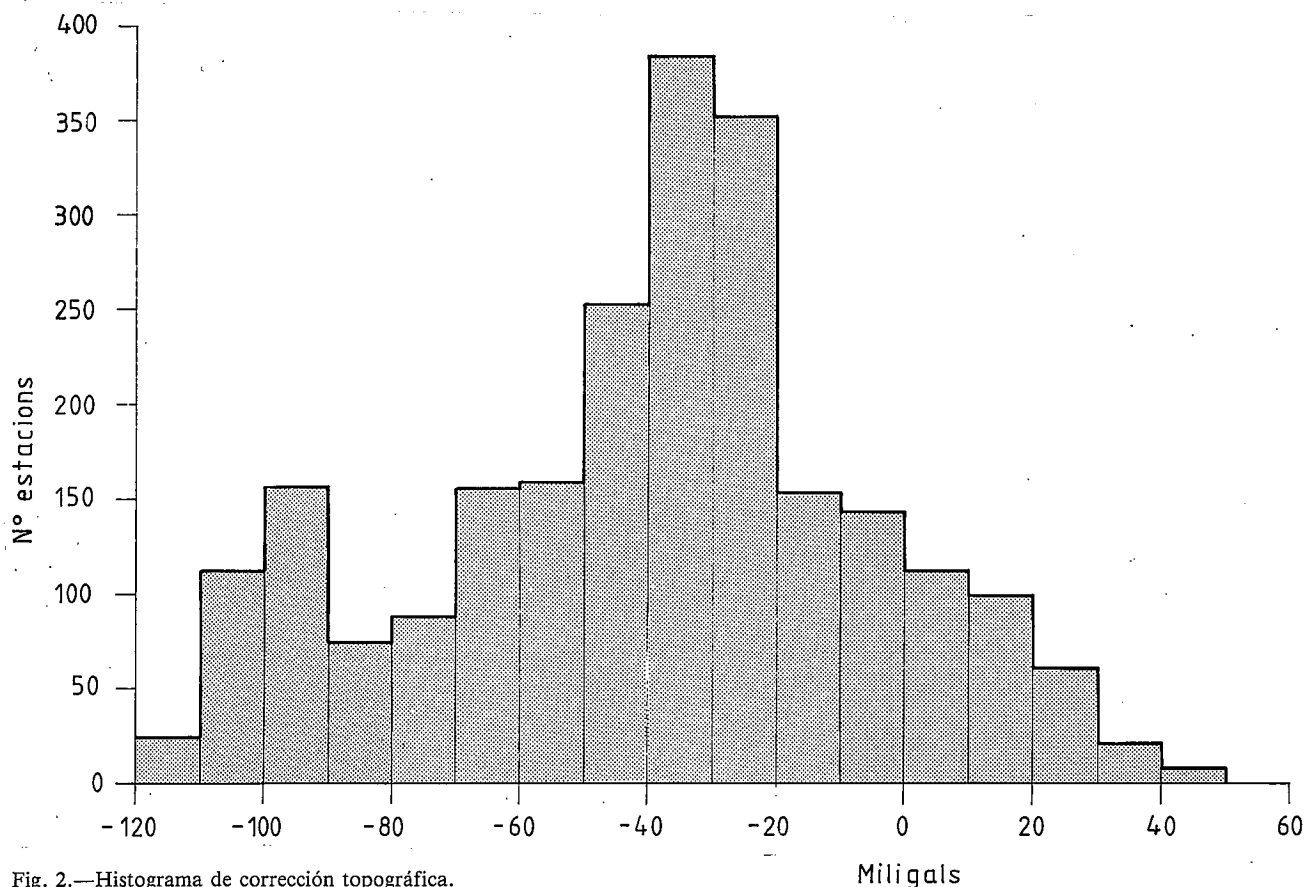


Fig. 2.—Histograma de corrección topográfica.

Fig. 2.—Topographic correction histogram.

### 6.2. Corrección próxima

Para esta zona que abarca desde los 50 a los 1.530 m se ha utilizado el método clásico de Hammer (1939). El método está basado en dividir el terreno alrededor de la estación en un conjunto de anillos circulares subdivididos en sectores de corona de la forma siguiente.

La altura media de cada sector se calcula por interpolación de las curvas de nivel del mapa topográfico, quedando definidos los límites de cada sector por superposición de una plantilla de su misma escala. La influencia de cada sector se calcula a partir de la fórmula:

$$\Delta g_t = \frac{2\pi\kappa\rho}{n} (r_{m+1} - r_m + \sqrt{h^2 + r_m^2} - \sqrt{h^2 + r_{m+1}^2})$$

donde:

$\rho$  es la densidad media

$r_m, r_{m+1}$  son los radios interno y externo

$h$  es la diferencia de altura entre la estación y el sector

Zona	Radio interno (m)	Radio externo (m)	Nº compartimentos
D	53	170	6
E	170	390	8
F	390	895	8
G	895	1.530	12

### 6.3. Corrección media y lejana

La corrección de las zonas comprendidas entre 1,5 a 20 km y 20 a 167 km, se ha evaluado utilizando dos modelos digitales de alturas medias, según dos compartimentos definidos a partir de coordenadas U.T.M. y geográficas.

El modelo, definido a partir de las coordenadas U.T.M., utiliza un compartimento cuadrado de  $1 \times 1$  km cubriendo una superficie de 99.470 km<sup>2</sup> centrada sobre el territorio catalán.

En el segundo modelo se define un compartimento rectangular de  $5' \times 3'$ , cubriendo una superficie de 401.688 km<sup>2</sup> centrada sobre el territorio catalán.

En ambos casos la digitalización se efectuó manualmente utilizando como documentos bases las hojas topográficas a escala 1/50.000 y 1/200.000 respectivamente.

## 7. ELABORACIÓN DEL MAPA

Una vez calculada la anomalía de Bouguer de todas las estaciones se inició el proceso de cálculo y dibujo del mapa.

En primer lugar se trazaron las isonómalas por triangulación directamente a partir de los puntos experimentales, mediante un programa basado en el algo-

ritmo de Watson, con la finalidad de detectar rápidamente los errores cometidos durante la fase de edición del fichero y poder efectuar la correspondiente rectificación.

Posteriormente se generó una matriz regular por interpolación cuadrática mediante paraboloides móviles. En este método, desarrollado por Laporte (1962), la superficie de interpolación es una superficie polinómica de 2º grado, cuyos coeficientes se calculan de modo que la superficie generada pase lo más cerca posible de los puntos experimentales.

Para la interpolación, el valor de cada uno de los puntos está afectado por un peso  $\lambda_i$ , tanto mayor cuanto más próximo esté del punto a interpolar. Así, el criterio de ajuste por mínimos cuadrados se establece de tal modo que

$$S = \sum_{i=1}^n \lambda_i e_i^2$$

debe ser mínimo, en cuyo caso las derivadas de S respecto a cada uno de los coeficientes son cero. Siendo  $e_i$  la desviación entre el valor calculado y el observado en un punto experimental, mientras que el peso  $\lambda_i$  se calcula del siguiente modo

$$\lambda_i = [(R^2 - d_i^2) / (d_i^2 + R^2 \cdot \eta^2)]^2$$

donde R es el radio de interpolación

$d_i$  es la distancia entre un punto experimental y el punto a interpolar y

$\eta$  es el factor de suavizado. Dicho suavizado es mayor al aumentar  $\eta$ , teniendo en cuenta que no puede ser igual a cero ya que en este caso  $\lambda_i$  sería infinito cuando  $d_i$  fuese 0. Prácticamente se puede admitir que para valores de  $\eta$  muy pequeños la superficie pasa por los puntos experimentales, por tanto, en el límite este método es un método exacto. Sin embargo, es conveniente un cierto grado de suavizado para filtrar el ruido asociado a los valores experimentales.

La solución de un sistema de ecuaciones con seis incógnitas permite calcular los coeficientes del paraboloides, siempre que haya más de seis puntos experimentales dentro del círculo limitado por el radio de interpolación.

El radio de interpolación debe elegirse de modo que contenga un número suficiente de puntos experimentales no alineados, ya que si los puntos están mal dispuestos el cálculo puede provocar artificios. En nuestro caso el radio de interpolación ha sido de 20 km con un factor de suavizado de 0,01.

La experiencia ha demostrado que, en general, el intervalo de malla no debe ser mayor que la mitad de la distancia entre los puntos experimentales para conseguir una representación precisa de la superficie. Esta distancia media se calcula a partir de la fórmula

$$d = \sqrt{(x_{\text{máx}} - x_{\text{mín}}) (y_{\text{máx}} - y_{\text{mín}}) / N}$$

donde N es el número de puntos experimentales.

El intervalo de malla A debe ser tal que:

$$d / 4 \leq A \leq d / 2$$

Si los puntos no cubren totalmente el área rectangular definida por  $(x_{\text{máx}} - x_{\text{mín}})$  y  $(y_{\text{máx}} - y_{\text{mín}})$  o si los puntos experimentales tienden a estar agrupados, el intervalo de malla debe reducirse proporcionalmente al peso de estos factores.

En nuestro caso la distancia media entre los puntos experimentales es de 5,6 km, por tanto teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se deduce que el intervalo de malla óptimo es de 1 km.

La matriz generada es una matriz de 260 líneas y 263 columnas y malla cuadrada de 1 km de lado. A partir de los valores interpolados se trazó el mapa de isolíneas mediante los algoritmos de dibujo del paquete gráfico INTERGRAF, obteniéndose el mapa de anomalías de Bouguer representado en la Fig. 3.

## 8. DISCUSIÓN

La principal característica del mapa de anomalías de Bouguer de Cataluña es el acusado gradiente regional desde un máximo de + 50 miligales en el extremo NE a un mínimo de - 115 miligales en el NW. Esta tendencia está producida fundamentalmente por las variaciones de espesor de la corteza terrestre, ya que el mapa no incluye la corrección isostática en el cálculo de la anomalía de Bouguer. Este hecho ha sido puesto ya en evidencia por Gallart et al (1981) en su interpretación de los perfiles sísmicos profundos de los Pirineos, donde encontraron un adelgazamiento de la corteza terrestre, que pasa desde 45 km en el Pirineo Central a 20 km en la costa. Por analogía puede deducirse que la corteza se adelgaza más rápidamente en la costa, sobre todo en el sector central de los Catalánides, debido al aumento del gradiente en las isoanómalas.

Así mismo, el mapa sugiere un adelgazamiento de la corteza en la zona de la Depresión del Ebro.

Con el fin de eliminar este efecto regional y resaltar las anomalías locales se ha obtenido un mapa de anomalías residuales calculado por sustracción a la anomalía de Bouguer de un polinomio de tercer grado.

El mapa de anomalías residuales (Fig. 4) muestra una muy buena correlación con la geología, destacando las siguientes características:

- La existencia de mínimos gravimétricos acusados en las depresiones distensivas neógenas de Reus-Valls, Vallés-Penedés y Ampurdán. La interpretación cuantitativa de algunos sectores ha sido abordada previamente por Casas y Permanyer (1981), Iglesias (1985) y Hernández y Casas.

- Los mínimos gravimétricos asociados a los anticlinales de material evaporítico, con núcleos diapirizados de Cardona, Calaf y Balaguer.

- La relación entre mínimos gravimétricos y los macizos graníticos de Andorra-MontLouis, del Montseny y de Alforja-Reus.

- La aparición de máximos gravimétricos de gran extensión en la Depresión Central, no relacionados con ningún fenómeno aparente en superficie, y consideran

do que la base del Terciario varía regularmente según evidencian los datos sísmicos y los sondeos existentes, puede afirmarse que su origen no se debe a variaciones de espesor de la cobertera sedimentaria terciaria. En consecuencia podemos establecer para la interpretación dos hipótesis: la primera de ellas supone la existencia de rocas de mayor densidad en el basamento, y la segunda requiere una estructura en bloques del mismo.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del Presidente de la Comisión Suiza de Geofísica, Profesor S. Muller y del Profesor E. Klingelé, por toda la ayuda que nos han prestado, así como al Instituto Politécnico Federal de Zurich por la cesión del gravímetro Lacoste and Romberg que nos facilitó enormemente la labor de obtención de datos experimentales.

Al Parque de Bomberos de Bellaterra que puso a nuestra disposición un helicóptero y a su piloto, lo que nos permitió hacer mediciones de estaciones en lugares que hubieran resultado inaccesibles utilizando métodos convencionales.

Al Instituto Cartográfico de Cataluña porque puso a nuestra disposición información topográfica no publicada.

Al Instituto Geográfico Nacional, al Instituto Geológico y Minero de España y a la Dirección General de Hidrocarburos por la cesión de algunos datos gravimétricos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Casas, A. y Permanyer, A. (1981): Disposición y estructura del zócalo de la Depresión Terciaria del Penedés. *Rev. Inst. Invest. Geol.*, Dip. Prov. de Barcelona, 35, 30 págs.
- Gallart, J., Banda, E., and Daignieres, M. (1981): Crustal structure of the Paleozoic Axial Zone of the Pyrenees and transition to the North Pyrenean Zone. *Ann. Geophys.*, 37, 3, 457-480.
- Hammer, S. (1939): Terrain Corrections for Gravimeter Stations. *Geophysics*, 3: 184-194.
- Hammond, J.A., Faller, J.E. (1971): Results of absolute gravity determinations at a number of different sites. *Jour. Geophys. Res.* 76: 7850-7854.
- Hernández, E., Casas, A. (1985): Estudio gravimétrico de la Depresión del Penedés. *Acta Geol. Hispánica*. 20; 191-198.
- Instituto Geográfico y Catastral (1969): *Red de Observaciones con Gravímetro de la Provincia de Gerona*. 36 págs. 3 mapas.
- Iglesias, R. (1985): *Estudio gravimétrico de la depresión del Alt Empordà*. Tesis de Licenciatura. Fac. Geol. Univ. Barcelona, 70 p., 3 planos.
- Klingelé, E. (1980): A New Method for Near-Topographic Correction in Gravity Surveys, *PAGEOPH*, 119 (2): 373-379.
- Kuhnen, F., Furtwangler (1906): Bestimmung der absoluten Grösse der Schetekraft zu Potsdam. *Veröff Königl. Preuss. Geod. Inst.* 27: 1-397.
- Laporte, M. (1962): Elaboration rapide de cartes gravimétriques déduites de l'anomalie de Bouguer à l'aide d'une calculatrice électronique. *Geophys. Prospect.* 10: 238-257.
- Morelli, C., Gantar, G., Honkasalo, T., MC. Connel, R.K., Tanner, J.C., Szabo, G., Totila, V., Wahlen, C.T. (1974): *The international Gravity Standardization Net, 1971*. Special pub. n° 4. Int. Assoc. Geod. Geophys., 194 págs.
- Neumann, R. (1974): *Cours de prospection gravimetrique*. Institut National Polytechnique de Lorraine. 120 págs.
- Zeyen, H.J. Banda, E. (1988): Cartografía geofísica en Cataluña. I: El mapa aeromagnético (este volumen).

Recibido el 6 de mayo de 1987  
Aceptado el 17 de junio de 1987

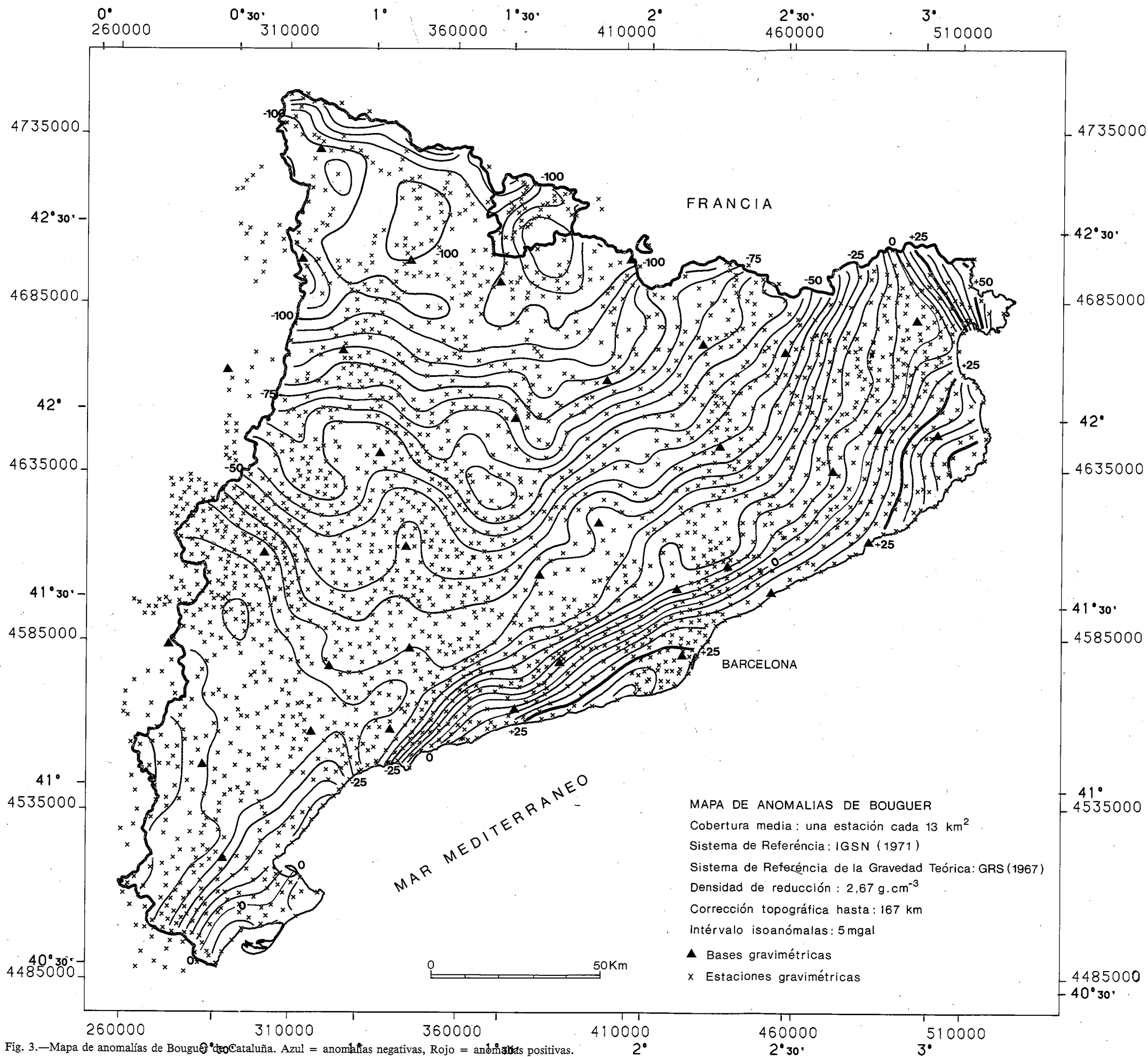


Fig. 3.—Mapa de anomalías de Bouguer de Cataluña. Azul = anomalías negativas, Rojo = anomalías positivas.

Fig. 3.—Bouguer anomaly map of Catalonia. Positive anomalies in red. Negative anomalies in blue.



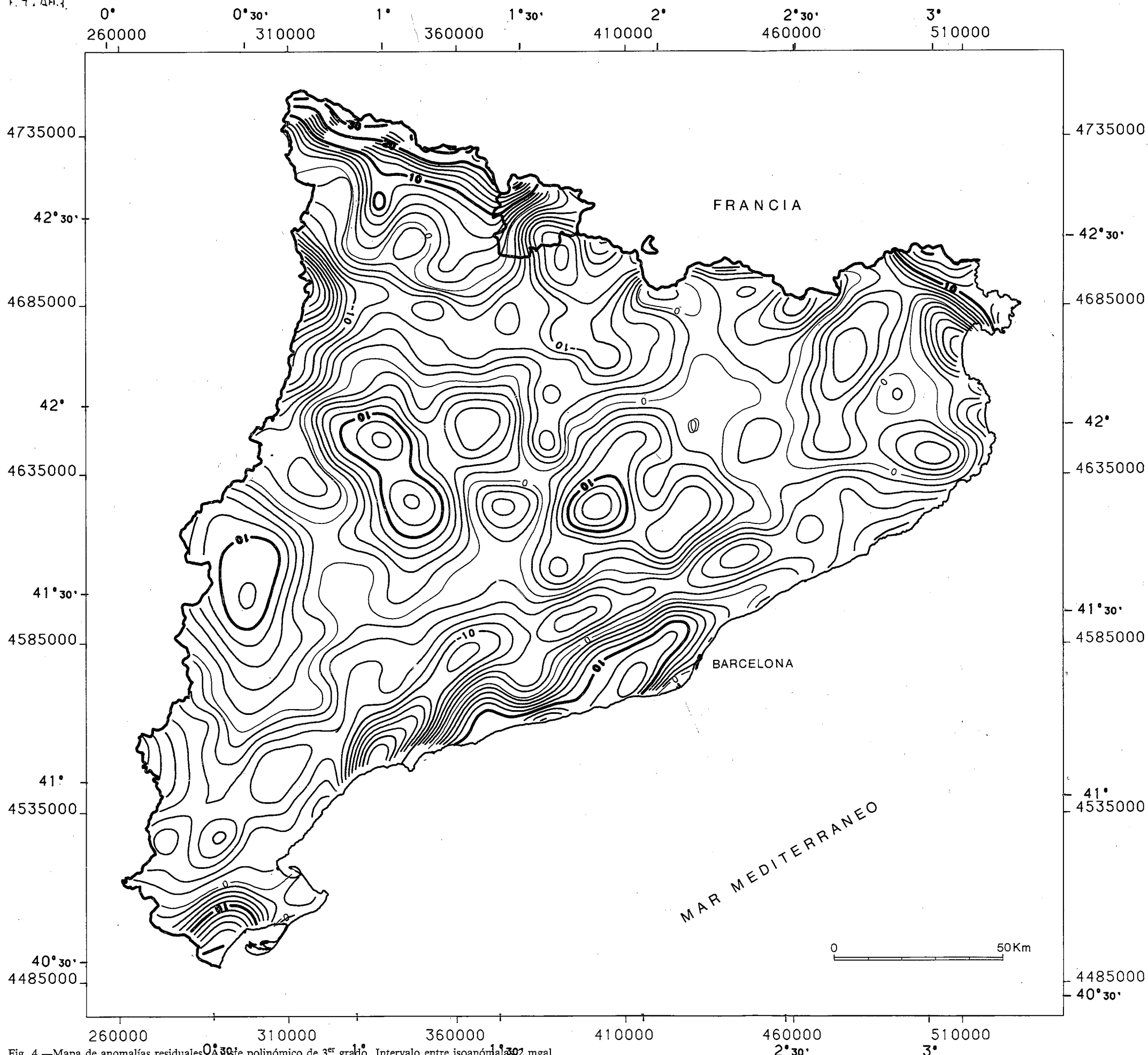


Fig. 4.—Mapa de anomalías residuales. Ajuste polinómico de 3<sup>er</sup> grado. Intervalo entre isoanomalías 2 mgal.

Fig. 4.—Residual anomaly map. Third order polynomial fit. Isoanomaly interval is 2 mgal.