

CARTOGRAFÍA GEOFÍSICA EN CATALUÑA. I: EL MAPA AEROMAGNÉTICO

H.J. Zeyen (*) y E. Banda (**)

RESUMEN

Se presentan los resultados del reconocimiento aeromagnético de Cataluña que se realizó durante los veranos de 1984, 1985 y 1986. El vuelo se realizó a 2.500 m de altura para el 75% del territorio y a 3.700 m en la zona pirenaica. Se realizaron líneas N-S cada 2,5 km. y líneas de control E-W cada 10 km. El intervalo de muestreo fue de 60 m y la localización se efectuó mediante ortofotos. Una estación de base registró el campo magnético durante el vuelo para la reducción de variaciones del campo y como nivel de referencia. Los resultados se presentan en un mapa de campo magnético total. A partir de éste, y mediante sustracción de un campo de tendencia regional se ha obtenido un mapa de anomalías residuales en el que destacan anomalías asociadas con afloramientos de rocas volcánicas. Otras anomalías se asocian a afloramientos del basamento paleozóico. Algunas anomalías no se corresponden con estructuras superficiales.

Palabras clave: Cataluña, Aeromagnetismo, Campo magnético total, Anomalia residual.

ABSTRACT

The results of the aeromagnetic reconnaissance of Cataluña are presented. The survey was carried out in the summers of 1984, 1985 and 1986. Part of the survey, covering 75% of the territory, was flown at a height of 2,500 m and the Pyrenean area at 3.700 m. N-S flying lines were spaced 2.5 km whereas E-W control lines were flown every 10 km. The sampling rate was 60 m and orthophotos were used for positioning. A base station was installed during the survey to correct for variations of the magnetic field and was also used as reference level. The results of the survey are given in form of total intensity field map. From this map, a residual anomaly map has been obtained by subtracting a regional trend. The residual anomalies show an outstanding correlation with outcrops of volcanic rocks. Other anomalies are associated with Paleozoic basement outcrops. Some of the anomalies do not seem to correspond with surface features.

Key words: Catalonia, Aeromagnetism, Total magnetic field, Residual anomaly.

Zeyen, H.J. y Banda E. (1988): Cartografía geofísica en Cataluña. I: El mapa aeromagnético. *Rev. Soc. Geol. España*, 1, (1-2), 73-79.

Zeyen, H.J. y Banda, E. (1988): Geophysical mapping in Catalonia. I: Aeromagnetic Map. *Rev. Soc. Geol. España*, 1, (1-2), 73-79.

1. INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico en instrumentación geofísica ha permitido, a partir de la década de los cincuenta, el uso del aerotransporte en la adquisición de datos geofísicos. En particular, el aerotransporte es imprescindible para la realización de reconocimientos magnéticos de áreas extensas.

La principal ventaja de los reconocimientos magnéticos aéreos es, sin lugar a dudas, la rapidez de adquisición de datos. Esto supone una reducción considerable del coste de la campaña, además de reducir de ma-

nera significativa la corrección de las variaciones temporales del campo magnético terrestre y de la deriva de los instrumentos.

El hecho de realizar las mediciones a cierta altura supone poder reconocer zonas que de otra forma serían inaccesibles y conseguir, al mismo tiempo, el filtrado de altas frecuencias que generalmente corresponden a ruidos y perturbaciones.

Existen en la actualidad reconocimientos aeromagnéticos de la mayoría de países desarrollados, y ciertamente de la mayoría de países europeos, que forman parte de la infraestructura geofísica y geológica necesaria

(*) Servei Geològic de Catalunya, Diputació 92, 08015 Barcelona.

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

para el desarrollo de estas disciplinas. Por esta causa, la necesidad de disponer de documentos básicos, públicos y de calidad, llevó al «Servei Geològic de Catalunya» a la realización del proyecto de Mapa Aeromagnético de Cataluña, a escala 1:250.000, cuya elaboración se describe en este trabajo y del Mapa Gravimétrico a escala 1:500.000 que se presenta en un trabajo paralelo (Torné et al., este volumen; Casas et al., 1987).

2. EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE. ANOMALÍAS RESIDUALES

El campo magnético de la Tierra, que corresponde en un 99% a un campo de origen interno, queda definido por su intensidad y dirección, esta última expresada en función de la inclinación y declinación magnéticas. Una gran proporción del campo interno (95%) puede considerarse como un campo creado por un dipolo axial inclinado unos 11° con relación al eje de rotación de la Tierra. La componente externa del campo magnético terrestre está asociada con corrientes eléctricas en las capas ionizadas de la atmósfera exterior.

Las variaciones de la componente externa del campo magnético pueden estar relacionadas con ciertos periodos de actividad de las manchas solares, con variaciones diurnas de periodo de 24 horas o bien con tormentas magnéticas que llegan a producir fuertes y rápidas variaciones del campo total. La identificación de estas variaciones es de una importancia fundamental para la corrección de datos destinados a cartografía magnética.

Las variaciones temporales lentas del campo geomagnético, conocidas como variaciones seculares, tienen su origen probablemente en perturbaciones de las corrientes del núcleo y tienen un marcado carácter regional. Estas variaciones deben ser tenidas en cuenta para la elaboración de cartografía magnética, si las mediciones no se efectúan en un periodo corto de tiempo.

Una pequeña parte del campo magnético corresponde a la propia magnetización de las rocas y de la corteza terrestre. La mayoría de las rocas tienen un porcentaje más o menos elevado de minerales ferromagnéticos lo que equivale, en términos magnéticos, a una gran variabilidad de la susceptibilidad magnética de las rocas. Cuando los minerales se enfrían por debajo de la temperatura de Curie adquieren una magnetización paralela al campo geomagnético, contribuyendo por tanto al campo magnético total en una posición dada. A esta magnetización se la conoce como magnetización termoremanente. Nótese que la dirección de la magnetización remanente corresponde a la dirección del campo geomagnético en el momento del enfriamiento o formación de la roca (en el caso de rocas sedimentarias). Así, el movimiento de placas litosféricas o de bloques corticales puede hacer que el vector de magnetización remanente cambie de dirección.

Existe además el fenómeno de inducción magnética por el que las rocas expuestas a un campo magnético

adquieren una cierta magnetización paralela o antiparalela al campo inductor.

Sólo la magnetización remanente e inducida son de importancia para la interpretación geológica. Por lo tanto las mediciones del campo total deben reducirse para conseguir un mapa de anomalías residuales que se obtiene restando del campo total la contribución del campo de referencia (y sus variaciones) y la tendencia regional. De esta forma se consigue individualizar la contribución magnética de las rocas de la corteza terrestre lo que permite abordar una interpretación geológica.

3. REALIZACIÓN DEL VUELO

El vuelo aeromagnético de Cataluña se planificó en dos partes: a) vuelo sobre el territorio de topografía moderada; b) vuelo pirenaico (Fig. 1). El primero, que cubre un 75% del territorio se realizó en dos campañas durante los veranos de 1984 y 1985. El segundo se efectuó en verano de 1986. En cada periodo se realizó un vuelo en cruz antes y después de la última línea de vuelo en un lugar de fácil localización para controlar derivas de los instrumentos y variaciones seculares del campo magnético, puesto que no pudieron utilizarse los datos del Observatorio del Ebro por problemas técnicos (Fig. 2). La realización de las líneas de vuelo se organizó en base a los aeropuertos disponibles: Barcelona, Sabadell, Reus y Gerona.

3.1. Control de variaciones temporales. Estación de base

Una de las mayores dificultades en la corrección de los datos magnéticos es el conocimiento de las variaciones del campo magnético terrestre durante el vuelo. Las variaciones seculares son lentas y difícilmente afectarán las mediciones hechas en periodos cortos de tiempo (días). De mucha mayor importancia son las variaciones de alta frecuencia (de un segundo a un año). Estas variaciones no suelen ser periódicas por lo que durante el tiempo de vuelo debe instalarse una estación fija en tierra. Se admite que una estación puede cubrir suficientemente una zona de unos 300 km de diámetro para la posterior corrección. Para el reconocimiento magnético de Cataluña se utilizó una estación de base situada en el Monasterio de Puiggraciós (La Garriga) para la primera parte del vuelo y en el Laboratorio de Investigaciones de Alta Montaña de la Universidad de Barcelona en la boca sur del Túnel de Viella para el vuelo pirenaico (Fig. 1). El intervalo de muestreo de la estación base se fijó en una lectura por minuto.

3.2. Características del vuelo

Existen diferencias básicas en la preparación de un vuelo dependiendo de los objetivos que se pretenden cu-

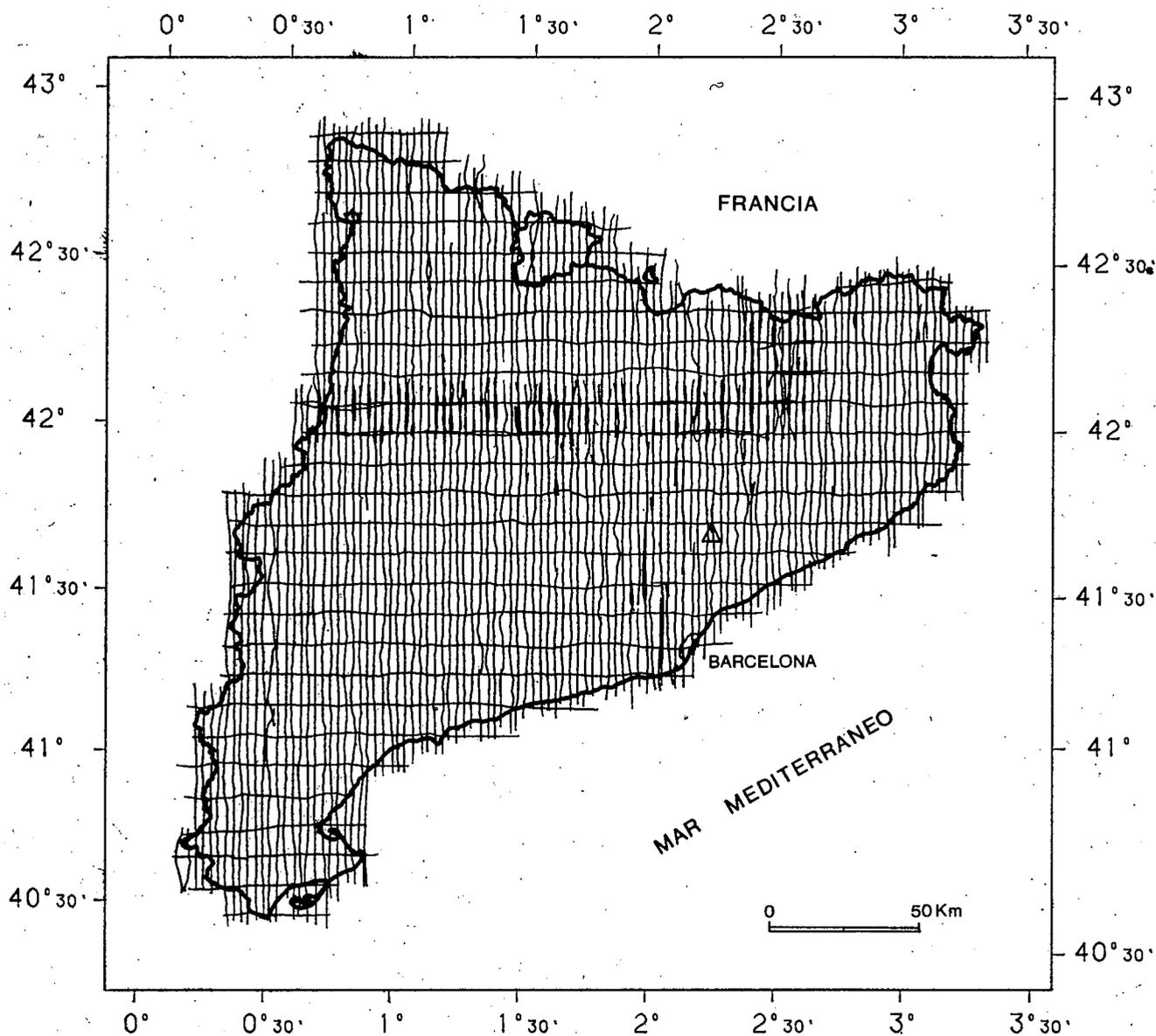


Fig. 1.—Líneas de vuelo. Δ = Estación de base 1984 y 1985. ☆ = Estación de base 1986.
 Fig. 1.—Flight lines. Δ = Base station 1984 and 1985. ☆ = Base station 1986.

brir. Así, un vuelo destinado a investigar un área por sus depósitos minerales tiene una planificación diferente de un vuelo de reconocimiento regional. En el caso que nos ocupa tiene mucha importancia la escala a la que se pretende cartografiar ya que ello predetermina algunos de los parámetros fundamentales del vuelo.

3.2.1. Distancia entre las líneas de vuelo y su dirección

La distancia entre las líneas de vuelo debería ser la mitad de la longitud de onda de las anomalías esperadas. Sin embargo, en vuelos de reconocimiento éstas son desconocidas por lo que la distancia entre líneas depende de la escala y del presupuesto. En nuestro caso, escala 1:250.000, se realizó una línea cada 2,5 km. (Fig. 1) lo que equivale a una línea cada cm en el mapa. Las anomalías que esperamos reconocer tendrán una longitud de onda mínima de $D = 5$ km.

La dirección de las líneas de vuelo fue N-S ya que en nuestras latitudes en Europa las isolíneas del campo magnético terrestre son aproximadamente E-W.

3.2.2. Distancia entre las líneas de control y su dirección

Las líneas de control se realizan para comprobar las mediciones a lo largo de las líneas de vuelo (N-S) y se realizan perpendicularmente a éstas. Una regla generalmente admitida es realizar una línea de control cada cuatro líneas de vuelo (Reid, 1980). En este caso las líneas de control se realizaron cada 10 km en dirección E-W (Fig. 1).

3.2.3. Medición del campo magnético terrestre

Para un reconocimiento aeromagnético puede medirse el campo total, las tres componentes del campo o

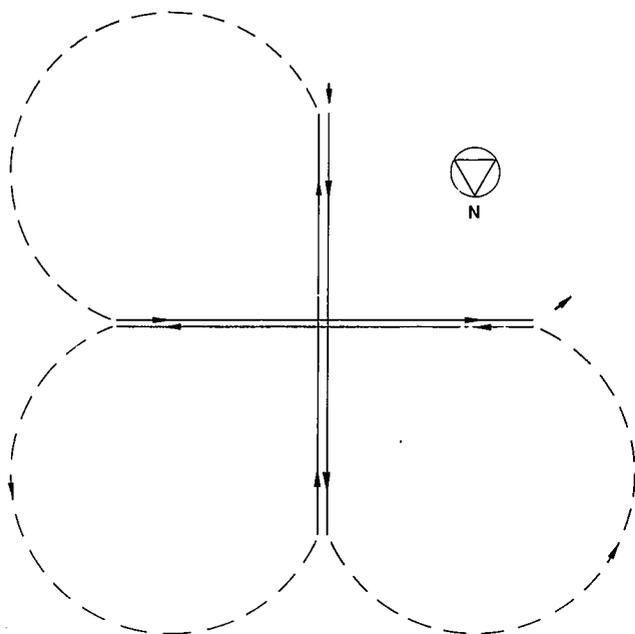


Fig. 2.—Esquema de un vuelo en cruz para la calibración de los instrumentos y la reducción de las variaciones seculares.

Fig. 2.—Scheme of a cross-line flight for calibration of instruments and reduction of secular variation.

bien el gradiente vertical. En este caso se ha medido el campo total. El magnetómetro utilizado (Geometrics G801/3) es un magnetómetro de precesión de protones (PPM) (Redford and Summer, 1964), que mide la frecuencia de precesión del eje de giro de una cierta cantidad de iones alrededor de la dirección del campo magnético terrestre (Fig. 3).

3.2.4. Intervalo de muestreo

El intervalo de muestreo está condicionado por la precisión que se desea obtener. El magnetómetro utilizado tiene una precisión de 0,12 nT midiendo cada 3 s y 1 nT midiendo cada 0,5 s. Además, la relación entre la velocidad del avión y el intervalo de muestreo no debe ser mayor que la mitad de la longitud de onda de la anomalía esperada ($D/2$). En este caso se ha realizado una medida por segundo con una precisión de 0,25 nT. Dado que la velocidad media del avión es de 220 km/h (60 m/s) se ha obtenido una medida cada 60 m.

3.2.5. Altura del vuelo

El filtro de paso bajo más eficaz en un vuelo aeromagnético para evitar el efecto «aliasing» es la altura sobre la fuente de la anomalía puesto que las frecuencias más altas del espectro tienen menor energía. La distancia del sensor a la anomalía debe ser mayor que la cuarta parte de la longitud de onda de la anomalía (Reid, 1980), que en nuestro caso sería mayor que 1.250 m. En la práctica el vuelo de Cataluña se ha dividido en dos regiones (Fig. 1), una a la altura de 2.500 m y la parte pirenaica a 3.700 m lo que cumple el requisito de que la distancia entre las fuentes de anomalía y el sensor sea

mayor de 1.250 m, sobre todo si se tiene en cuenta que la fuente de anomalías está generalmente localizada en la base de la cobertera sedimentaria.

3.2.6. El avión

La elección del avión más apropiado para el reconocimiento aeromagnético depende también de los objetivos. En el caso de reconocimientos regionales un avión rápido ahorrará tiempo de subida y bajada y permitirá realizar las líneas en menos tiempo. El avión debe disponer de espacio suficiente para el piloto, un navegante, un operador y los instrumentos de medición. En nuestro caso se dispuso del avión Partenavía Observer del «Institut Cartogràfic de Catalunya».

3.2.7. Sensor

El sensor puede fijarse en el avión, preferentemente en un extremo del ala o en la cola, o bien puede transportarse suspendido detrás del avión. La decisión depende del tipo de sensor y del tiempo de uso. En el caso de un «fluxgate» debe montarse solidario con el avión para poder reconstruir las tres componentes del campo magnético. Ello implica un estudio de la influencia magnética del avión. En nuestro caso se utilizó el sensor suspendido a unos 30 m detrás del avión con lo que la influencia de éste es despreciable.

3.2.8. Posicionamiento del avión

Se utilizó la orientación visual con mapas de escala 1:50.000. Para el posicionamiento se realizaron ortofotos cada 30 s de vuelo con una cámara Hasselblad 500 EL. Teniendo en cuenta la velocidad del avión, la altura real sobre el terreno (ca. 1.500 m), el tamaño de la película (60 × 60 mm) y el foco utilizado (objetivo 50 mm), las fotos se superponen a lo largo de la línea, lo que facilita la identificación. La desviación con respecto a las líneas programadas no debe superar un 20% de la distancia entre líneas (500 m en nuestro caso) aunque desviaciones mayores pueden ser aceptadas siempre que no exista un punto de cruce con líneas adyacentes, lo que complicaría el tratamiento numérico de los datos. Las líneas de vuelo se han realizado siempre con nubosidad inferior a 3/8 y con una visibilidad mínima de 5 km.

Durante el periodo del vuelo un operador identificó diariamente las fotos de las líneas tomadas con el fin de controlar e identificar la validez de éstas. Para el conjunto del vuelo se han identificado unas 15.000 fotos.

4. TRATAMIENTO DE DATOS Y CARTOGRAFÍA

Una vez adquiridos los datos durante el vuelo debe efectuarse el tratamiento que permite obtener la cartografía correspondiente. El proceso se realizó inicialmente

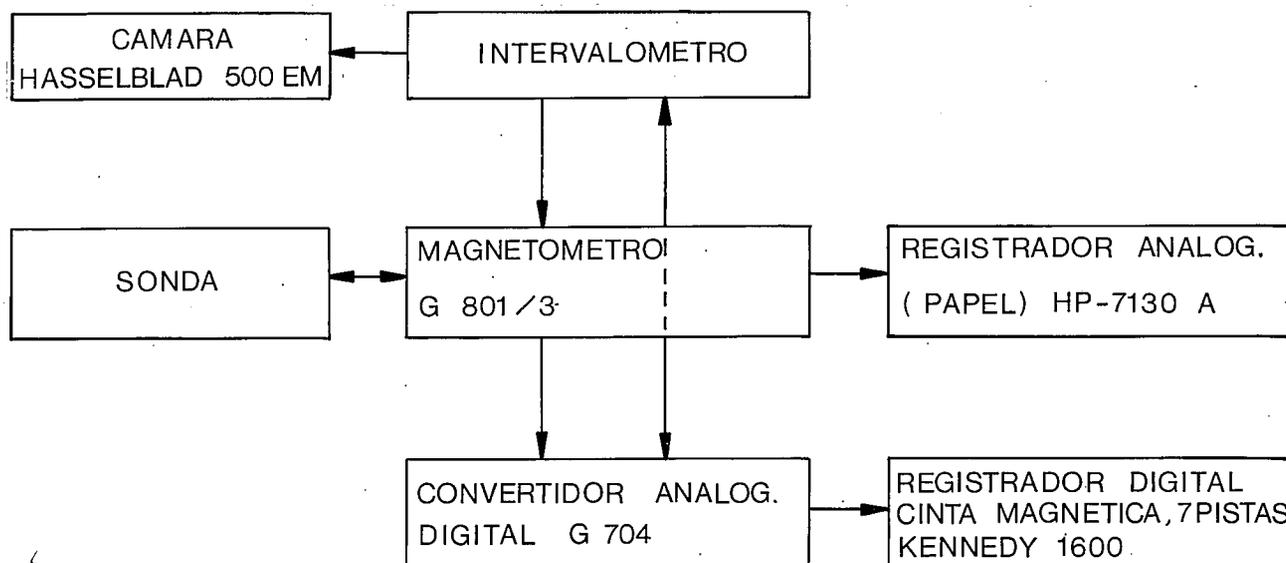


Fig. 3.—Diagrama del sistema de adquisición de datos instalado en el avión.

Fig. 3.—Scheme showing the data acquisition system installed in the airplane.

en la Escuela Politécnica Federal de Zürich (Suiza) utilizando un paquete de programas (STRADAG) elaborado por Klingelé (1985). La segunda parte del vuelo y la cartografía final pudo procesarse en el «Servei Geològic de Catalunya» una vez implementado el «software» de proceso de datos y dibujo en el IBM 4381 del «Departament de Política Territorial i Obres Públiques».

4.1. Control de datos

El primer trabajo a acometer, aún antes de terminar el vuelo, es leer y controlar las cintas de los registros del avión para determinar la eventual repetición de líneas, así como el control de *posicionamiento* del avión.

Una vez finalizado el levantamiento magnético el control de datos puede exigir la corrección de errores debidos a fallos en el registro de las cintas, presencia de zonas perturbadas o de picos de alta frecuencia (debidos a emisoras de radio, por ejemplo). Una vez eliminados o corregidos estos factores, los ficheros resultantes se almacenan en cintas que constituirán la base de datos de los trabajos posteriores.

4.2. Obtención del valor del campo reducido

Con el fin de obtener los valores del campo en un punto dado a partir de las mediciones, se comienza por digitalizar los valores obtenidos en la estación base. Para ello basta con aproximar la curva por segmentos de recta de forma que se ajusten a los datos con una dispersión menor que la resolución de la medición misma. Por otra parte se digitalizan las coordenadas de posicionamiento del avión y se interpola linealmente entre fotos consecutivas para obtener la trayectoria del avión. El control de las digitalizaciones se ha realizado gráficamente para una mejor identificación de errores.

El siguiente paso es la reducción de los datos de la estación de base a un nivel fijo para lo que normalmente se toma el promedio de un año. En nuestro caso, al no disponer de promedios anuales procedentes de un observatorio hemos referido los datos a promedios tomados en la estación base, que funcionó durante dos meses en cada una de las tres campañas. Para el vuelo de 2.500 m. se tomaron promedios en los periodos Agosto-Septiembre 1984 y Mayo-Junio 1985, para reducirlo finalmente al año 1984.7. Para el vuelo pirenaico la estación de base funcionó en Junio-Julio 1986, por lo que el mapa se ha reducido al año 1986.5.

La reducción efectuada es pues:

$$F_{x,y} = F_{x,y}(t) + F_{base}(P) - F_{base}(t)$$

siendo:

$F_{x,y}$ = valor del campo reducido en el punto (x,y).

$F_{x,y}(t)$ = valor del campo en el punto (x,y) medido en el tiempo t.

$F_{base}(P)$ = promedio del valor del campo en la estación de base para el periodo P, en este caso Agosto-Septiembre 1984 y Junio-Julio 1986.

$F_{base}(t)$ = valor del campo en la estación de base en el tiempo t.

Otra corrección a tener en cuenta es la debida a la propia deriva de los instrumentos, por lo que se realizaron los vuelos en cruz (Fig. 2).

Finalmente, se utilizan las líneas de control E-W que en sus puntos de intersección con las líneas N-S deberían coincidir. Sin embargo se detectan en general diferencias de algunos nT. Estas pueden provenir de diferencias en la altura de vuelo y/o de errores en la localización. Las correcciones se calcularon mediante un formalismo que toma como referencia un promedio de las

diferencias cuadráticas de las correspondientes líneas se calcula un peso por el que se multiplica la diferencia medida y se resta del valor de la línea de medición. Entre las intersecciones se interpolan linealmente las diferencias ponderadas.

Después de este procedimiento se tiene una red de datos uniformes, generalmente no muy densa, y sobre todo irregular. El sistema más fácil y eficaz de preparar estos datos para un mapa de isolíneas es interpolarlos a una red densa y regular (Bhattacharyya, 1969 y el sistema STRADAG), utilizando funciones «spline» bicúbicas en las dos direcciones de vuelo —primero para la dirección de las líneas de medición, donde ya hay gran cantidad de datos, y luego para la dirección perpendicular—. La densidad de la nueva red depende de la escala del mapa. Una densidad de 5 a 10 líneas por cm en el mapa cumple la exigencia de isolíneas suaves.

4.3. Estimación de errores

Con los problemas mencionados anteriormente es evidente que la exactitud del mapa no puede alcanzar la precisión del sensor (0.25 nT). Sobre todo la corrección de las variaciones temporales y la localización de los puntos de medición introducen indeterminaciones considerables.

Los problemas principales de la corrección de las variaciones temporales surgen de la digitalización de los datos de la estación de base y de la reducción a un nivel de referencia. En cuanto a la estación de base se han intentado ajustar las mediciones a 1 nT (precisión del magnetómetro de base), lo cual no siempre fue posible. Por eso se pueden esperar errores de hasta 2 nT. La falta de datos de un observatorio próximo implica la posibilidad de un error constante cuya magnitud es difícil de averi-

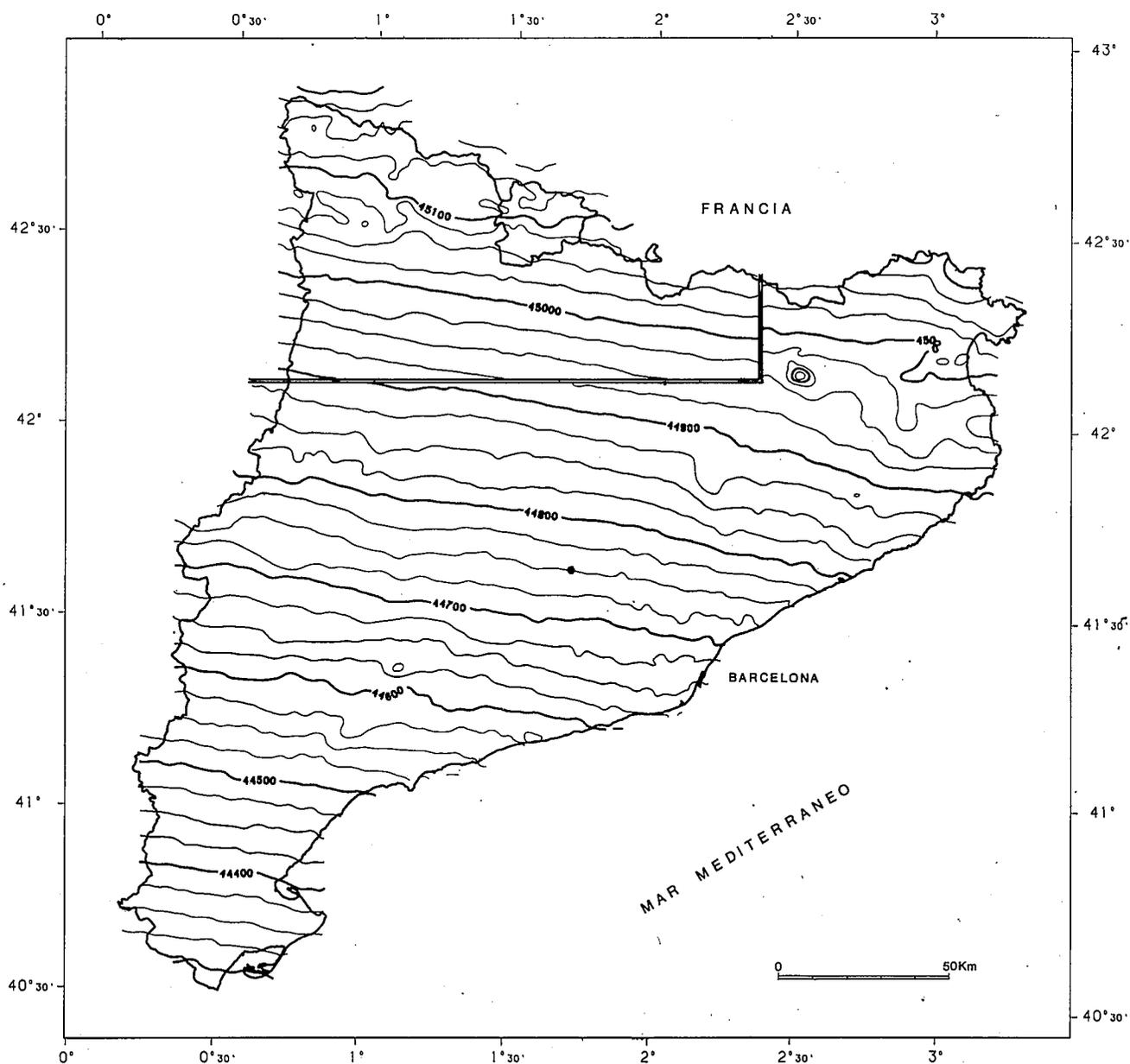


Fig. 4.—Mapa del campo magnético total. Se indica el límite entre el vuelo de 3.700 m en el norte y el de 2.500 m en el sur. Isolíneas cada 25 nT.

Fig. 4.—Total magnetic field map. The limit of the 3.700 m altitude flight and that of 2.500 m is indicated. Isoline interval is 25 nT.

guar, pero puede alcanzar valores próximos a 5 nT. No obstante, este error, constante en todo el mapa, no influye en la interpretación de las anomalías. Sin embargo, podría causar problemas al compararse con mapas en zonas adyacentes.

La localización de las fotos en un mapa 1:500.000 puede efectuarse con una exactitud de hasta 100 m. Pero, dado que la cámara es solidaria con el avión (sin placa girostática), puede haber desviaciones de hasta 400 m con el avión inclinado. Un gradiente medio de 3,3 nT/km (ver capítulo siguiente) daría un error de casi 1,5 nT.

Una tercera fuente de errores es la altura de vuelo para lo que se puede calcular una indeterminación de unos 50 m. El gradiente vertical del campo magnético alcanza en nuestras latitudes unos 20 nT/km con lo cual la exactitud de la medición se reduce a 1 nT.

Así pues el error total vendrá dado por:

$$\text{Error estación base } E_1 = 2 \text{ nT}$$

$$\text{Error localización } E_2 = 0,4 \times D \text{ nT}$$

(D = gradiente horizontal del campo)

$$\text{Error de altura } E_3 = 1 \text{ nT}$$

de donde el error cuadrático medio será:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2} = 2,5 \text{ nT}$$

tomando un gradiente normal.

4.4. Diferentes mapas

El primer producto del proceso de datos realizado es el mapa de campo total que se ha calculado por separado para las dos alturas de vuelo (Fig. 4). Sin embargo el interés geológico se centra precisamente en las anomalías del campo total que ya pueden apreciarse, en el caso de las anomalías más fuertes, en el mapa de la Fig. 4. Para destacar las anomalías se procede a una reducción del mapa de campo total a uno de anomalías residuales para ello hay que restar la tendencia regional del campo total. Este procedimiento puede realizarse de diferentes formas. Una de ellas es restar al campo total el Campo Internacional de Referencia Geomagnética (IGRF) (Peddie, 1982). No obstante, para regiones relativamente pequeñas este método puede resultar inadecuado ya que el IGRF es un campo promedio que puede desviarse considerablemente del medido. Este es justamente nuestro caso ya que hay más de 300 nT de diferencia entre los valores del IGRF y los medidos. Se trata pues de buscar un campo regional que se ajuste a los valores obtenidos, lo cual puede hacerse por medio de un plano o superficies de órdenes superiores. Para el mapa aeromagnético que se presenta ha sido suficiente ajustar una superficie plana:

$$F = 0,535 x + 3,25 (y - 4.000) + 42.552$$

para el vuelo de 2.500 m.

$$F = 0,5 x + 3,5 (y - 4.000) + 42.407$$

para el vuelo de 3.700 m.

$$x, y \text{ en km UTM.}$$

La decisión del plano de referencia se ha tomado después de múltiples pruebas, eligiéndose aquel que cum-

ple un ajuste correcto y destaca convenientemente las anomalías (Fig. 5).

5. CARACTERÍSTICAS DEL MAPA DE ANOMALÍAS RESIDUALES

En el mapa de anomalías residuales (Fig. 5) destacan una serie de anomalías que se pueden agrupar de la forma siguiente: área volcánica (NE), anomalías asociadas con la parte meridional de la Cordillera Costera Catalana, anomalías de Lérida y anomalías pirenaicas.

Las anomalías en el NE definen muy claramente una provincia magnética cuyas anomalías corresponden con afloramientos de rocas volcánicas. La más destacada de estas anomalías está asociada con la zona volcánica de Olot donde se aprecia un alto magnético de +100 nT (de -20 a +80 nT). En esta provincia magnética destaca la anomalía de Tona que no se corresponde con ningún afloramiento volcánico. Su extensión e intensidad (de 0 a 35 nT) hacen pensar en la existencia de material volcánico fosilizado por las rocas sedimentarias de la cuenca del Ebro.

Las anomalías en la parte meridional de la Cadena Costera Catalana (-10 nT a +20 nT) están asociadas con afloramientos del basamento paleozoico mientras que la fuerte anomalía al norte de Lérida (-5 nT a 20 nT) no puede asociarse con una estructura superficial reconocida.

Las anomalías pirenaicas son notables (-25 a +35 nT) y pueden asociarse con límites de mantos de corrimiento.

Los datos adquiridos para el reconocimiento aeromagnético de Cataluña son suficientes como para aplicar técnicas de interpretación como son la reducción al polo, prolongación analítica del campo y segundas derivadas. Asimismo, permitirá la interpretación en 2, 2½ y 3 dimensiones de anomalías individuales y la aplicación de algoritmos de determinación de profundidad de basamento magnético y de interpretación por el método de señal analítica.

BIBLIOGRAFÍA

- Bhattacharyya, B.K. (1969): Bicubic spline interpretation as method for treatment of potential field data. *Geophysics*, 34, 402-423.
- Casas, A., Torné, M., y Banda, E. (1987): *Mapa gravimètric de Catalunya. Servei Geològic de Catalunya*, ICC, Barcelona, 135 p.
- Klingelé, E. (1985): *Les levés aéromagnétiques de la Suisse*, Habilitations-Schrift, ETH-Zurich, 150 p.
- Peddie, N.W. (1982): International Geomagnetic Reference Field: The third generation. *Jour. Geomagnet. Geoelectr.*, 34, 309-326.
- Redford, M.S., and Summer, J.S. (1964): Aeromagnetics. *Geophysics*, 29, 482-516.
- Reid, A.B. (1980): Aeromagnetic survey design, short note. *Geophysics*, 45, 973-976.

Recibido el 6 de mayo de 1987
Aceptado el 7 de junio de 1987

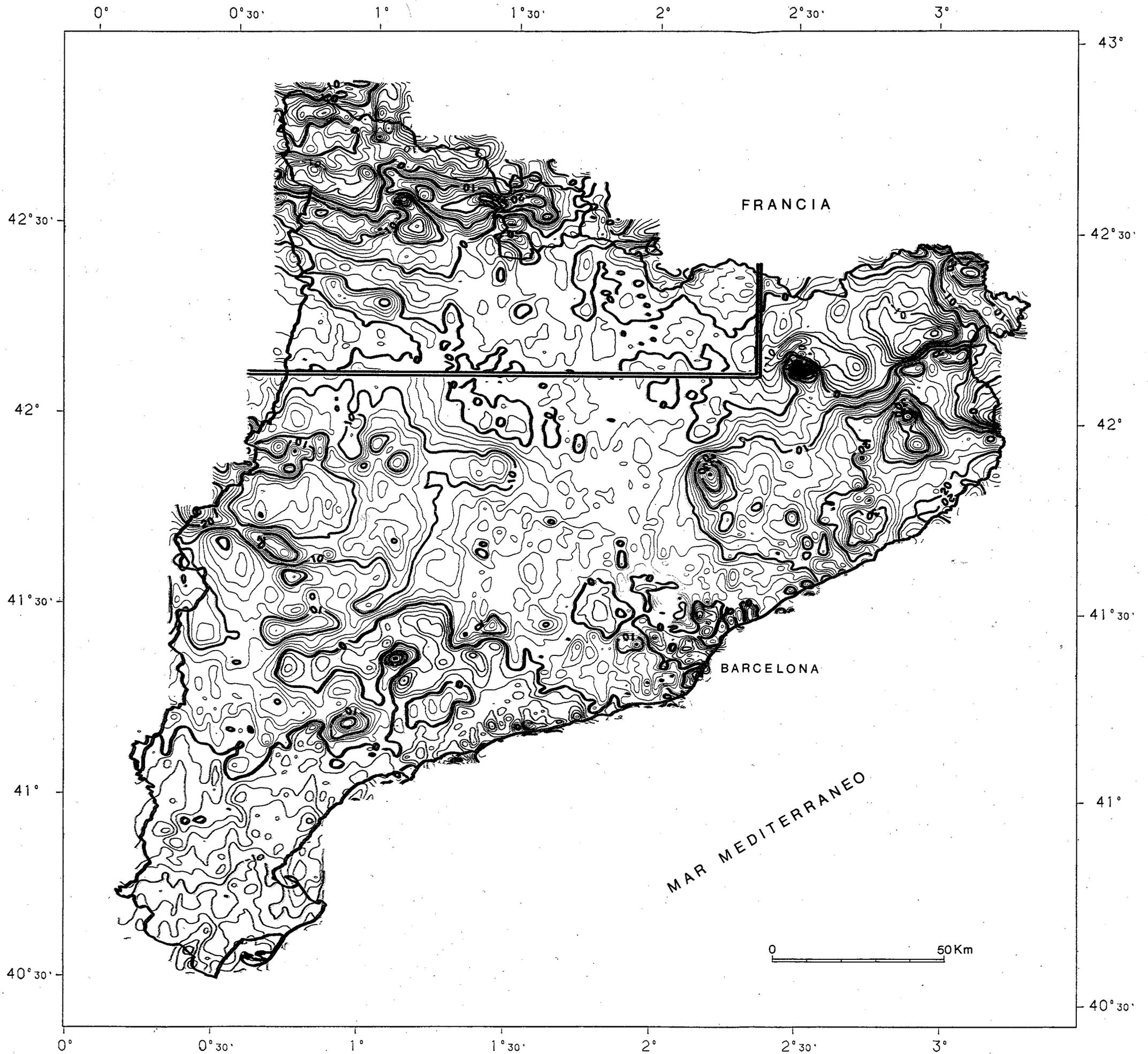


Fig. 5.—Mapa de anomalías residuales. Las anomalías positivas aparecen en rojo y las negativas en azul. Isolíneas cada 2 nT.

Fig. 5.—Residual magnetic anomaly map. Positive anomalies in red and negative anomalies in blue. Isoline interval is 2 nT.