

243

D.I.N.A.M.I.G.E.
División
GEOFISICA

DIRECCION NACIONAL de
MINERIA y GEOLOGIA
MONTEVIDEO

MISION GEOFISICA ALEMANA
en el URUGUAY

Informe

Levantamiento gravimétrico y magnético sobre

las rocas ultramáficas de CERRO CHATO

Autor :	Dr. G.Reitmayr
	Montevideo
	Octubre 1988
Paginas:	24
Figuras:	15

BUNDESANSTALT für GEOWISSENSCHAFTEN
und ROHSTOFFE
HANNOVER

Indice

Resumen	2
1. Antecedentes	3
2. Las mediciones	3
3. Procesamiento de los datos	5
Datos gravimétricos	5
Datos magnéticos	6
4. Resultados	7
Gravimetria	7
Magnetometria	8
Bibliografía	10
15 Figuras	

Resumen

Con la intención de investigar las rocas ultramáficas de Cerro Chato (Dep. Durazno) fue realizado un relevamiento gravimétrico y magnético .

La zona de las ultrabásicas aflorantes se destaca por un mínimo gravimétrico, con una amplitud máxima de approx. -1.5 mGal. El déficit de masas se explica por procesos de alta alteración de las rocas ultramáficas. El cuerpo distorsionante se desarrolla en dos cuencas, interrumpido por un umbral, que coincide con leptinitas y leucogranitos mapeados. El buzamiento del Norte y del Sur hacia el centro es muy suave, en dirección EW los bordes parecen más pendientes. La profundidad de las rocas más livianas llega hasta approx. 300m. Si existen masas más pesadas - como rocas ultrabásicas deberían que ser - debajo del cuerpo liviano superficial, no se puede responder con los datos disponibles.

El campo magnético permite una interpretación cuantitativa pero previamente requiere un procesamiento adecuado: filtración, continuación por arriba, reducción a polo y derivación. Los cuerpos magnéticos coinciden más o menos con los gravimétricos.

1. Antecedentes

En la zona de las rocas ultramáficas de CERRO CHATO (Fig. 1) un levantamiento geofísico fue realizado en 1985 por la División Geofísica de la DiNaMiGe en el marco de la Misión Geofísica Alemana. Una malla rectangular de 1*1.5 km había sido instalada para las mediciones del campo magnético, y en cuatro perfiles se midió la polarización inducida (IP - disposición gradiente) y en tres perfiles pulso electromagnetismo (PEM), así como un sondeo Schlumberger. Los resultados de estas medidas fueron presentados y descriptos cualitativamente en un informe (*Haut et al.*, 1987). Específicamente, los datos magnéticos medidos se destacaban salvo por amplitudes extremadamente altas, por una heterogeneidad grande, la cual casi impedía una graficación en forma planar y una interpretación cuantitativa.

Se realizaron también mapeos geológicos, e investigaciones petrográficas y geoquímicas así como una perforación de 58m profundidad. Informes finales sobre estos trabajos todavía faltan, y por causa de bases topográficas distintas usadas por las diferentes disciplinas resulta muy difícil coordinar los resultados.

Como método adecuado para el estudio del cuerpo potencialmente intrusivo fue seleccionado el de gravimetría. Rocas ultrabásicas se distinguen normalmente por un peso específico más alto. Un contraste de 0.2 a 0.5 g/cm³ entre las rocas cajas del tipo gneisico y las ultrabásicas descriptas como meta-harzburguitas (*K. Burgath* en *Haut et al.* 1987) parecía razonable. Ejemplos de pesos específicos en la literatura son: Gneis 2.6 - 3.0; Peridotita (como representante de ultrabásicas 3.15 - 3.28; (*Dürbaum & Fritsch* 1985). En una publicación, reciente se encuentran específicamente datos sobre Harzburguitas de diferentes zonas: 2.74 - 2.94 (*Dohme-Wigger* 1987). Estos últimos valores no serían tan favorables para nuestras investigaciones.

2. Las Mediciones

Intentando replantear la malla establecida en 1985 en el campo, al principio no pudimos localizar la perforación ni ninguna estaca de los perfiles. Usando el esbozo geológico del informe mencionado (Fig.2)

seleccionamos como punto fijo la confluencia de dos cañadas (80W/180S primera malla) y el azimut de la línea de base marcado N125°E como orientación. Así estaquemos una nueva malla con 15 perfiles: 700W hasta 700E con puntos 500S hasta 500N. En el proceso de las mediciones finalmente encontramos: la perforación (el agujero tapado con una roca y raramente sin otras indicaciones de los trabajos anteriores) en el punto 105W/75N (malla nueva) y tres estacas viejas: una con numeración 100E/200S, otra solamente con un valor 500S sin perfil y la tercera sin ninguna numeración legible. La reconstrucción de la posición relativa de las dos mallas con ayuda de esta información resultaba que la malla vieja estaba girada por 35° en el sentido de las agujas del reloj (azimut verdadero de la línea base N160°E) y la perforación se encontraba en el punto aproximadamente 300W/0 de la malla vieja. En el informe mencionado se nota que la perforación estaba ubicada en el punto 0/0. Asumiendo esto como correcto, la numeración en la estaca encontrada 100E/200S realmente era 400E/200S, el número cuatro aparentemente había perdido una parte. Sin embargo, incorrecta en el plano de ubicación del informe geofísico (Haut et al., Fig. 2) es la dirección Norte y seguramente la posición de la malla relativa a los detalles geológicos y topográficos.

Las mediciones del campo gravimétrico se realizaron del 11. al 17.11.1987 y una repetición de algunos perfiles tuvo lugar el 10. y 11.12.1987. Fueron medidos 15 perfiles, separados 100m entre sí, y con puntos cada 50m. Con el fin de poder corregir la deriva del instrumento se estableció una base en el campo mismo, y otra en el local del alojamiento. Antes y después de una serie de mediciones en el campo - normalmente medio día - se midió cada vez en las bases.

A nuestra disposición estaba el gravímetro Lacoste&Romberg G-666, prestado por la *BGR, Hannover*. El relevamiento fue realizado por *Mario Terterolo* y el informante: en una segunda etapa participó también *Ing. Carlos Conzalez*. La nivelación estuvo a cargo de *Miguel Gonzalez y Julio Rocha*.

Con el motivo de obtener valores gravimétricos absolutos hicimos la conexión a un punto de la red gravimétrica del país existente establecida por el *Servicio Geográfico Militar* (1986). El punto JL07 se encuentra aproximadamente a 9km de la zona medida. Su valor de la gravedad publicado es 979.529,64 mGal. Las medidas en ese punto fueron repetidas unas veces para que se sepa el valor determinado con mayor exactitud. Para la altura absoluta pudimos usar un punto topográfico fijo en las

cercanías de la zona medida.

Adicionalmente a las medidas gravimétricas se efectuaron medidas magnéticas en toda la malla con el instrumento Geometrics G 812. La esperanza era, que una reconstrucción independiente de la posición relativa de las dos mallas, sea posible, con ayuda del mapa magnético del relevamiento en 1985 y el en 1987.

3. Procesamiento de los datos

Datos gravimétricos

La primera corrección aplicada a los datos de campo es la eliminación de la deriva del instrumento. Con la ayuda de los valores medidos en las bases se realiza una corrección lineal con el tiempo durante una serie de medidas, y un ajuste de los cambios ocurridos de un día al otro. Los datos leídos se transforman después en datos expresados en mGal con ayuda de los factores individuales del instrumento según el manual. La diferencia del valor gravimétrico absoluto del punto fijo JL07 usado y su medición con nuestro instrumento nos sirvió para poder calcular valores absolutos. Posteriormente se aplican las correcciones aire libre y Bouguer, resultando la anomalía Bouguer según (*Servicio Geográfico Militar, 1986* o *Telford et al., 1976*):

$$g_t = g_m + (0.3086 - 0,04192 * r) * h - g_0(\phi)$$

g_m = valor medido en mGal

r = densidad media de la corteza terrestre (2.67 g/cm^3)

h = altura en metros

g_0 = gravedad normal o teórica: en Cerro Chato con la latitud de $33^{\circ}3.3'$ en el centro de la zona $g_0 = 979\ 570.89 \text{ mGal}$

Con una extensión NS de la zona de medición de casi 1.3 km, lo que corresponde a una variación en la latitud de aprox. $0.7'$, la gravedad normal varía por casi 1 mGal (gradiente = $1/1.3 \text{ mGal/km}$). Considerando la amplitud de la anomalía medida esta variación es atendible. Correcciones debidas a la topografía, sin embargo, parecían innecesarias, así como las correcciones de las mareas.

La anomalía Bouguer g_b fue graficada para cada perfil (ejemplo Fig. 2) y después el montaje bidimensional como plano de isanómalas (Fig. 3) y en una presentación casi tridimensional (Fig. 4). Como se observa en la fórmula arriba, se debe determinar la altura topográfica en cada punto. Con estos datos se obtiene automáticamente un mapa topográfico (Fig. 5).

Datos magnéticos

Como se mencionaba arriba, los datos magnéticos se destacan por sus grandes amplitudes y los extraordinarios cambios a poca distancia (Fig. 6). Un cambio en los valores por miles de NanoTesla (nT) puede ocurrir dentro de unos metros. En el largo de los perfiles se midió muy densamente cuando ocurrían tales variaciones. Por causas de tiempo no era posible sin embargo densificar tanto las mediciones entre los perfiles. Así la información obtenida es muy anisótropa: resolución grande en el largo de los perfiles, información escasa en la perpendicular a ellos. Una correlación de un perfil a otro es casi imposible con los datos originales. Una información más isotropa, pero con menos detalles, se puede lograr filtrando los perfiles. Experimentando con diferentes filtros se seleccionó al fin un simple promedio de todos los valores de un intervalo de 25 m. Así se obtuvo una malla de datos cada 100 por 25m razonablemente graficable en un plano (Fig. 7). Sin embargo este mapa aún muestra una heterogeneidad grande, la cual apenas permite un modelamiento cuantitativo. Un filtro avanzado y físicamente muy razonable es la continuación del campo por arriba. (Es una propiedad fundamental de los campos potenciales, como el magnético, el poder calcular el campo en cualquier punto del espacio, si se conoce el campo en una superficie cerrada. La continuación es realizada con ayuda de análisis de Fourier bidimensional (*Bhattacharyya*, 1965).) En la Fig.8 se graficaba el mapa, después la continuación por 100m, vale decir, el campo como se mediría en una altura de 100m. Ahora todos los detalles han desaparecido; un modelamiento con cuerpos simples parece factible.

Los datos magnéticos del primer levantamiento de 1985 fueron tratados de una manera similar. El mapa después de la continuación 100m por arriba es graficado en la Fig. 9. Superponiendo los mapas magnéticos de las dos mediciones (Figs. 8 y 9) las mismas anomalías muestran una coincidencia muy buena. La reconstrucción de la posición relativa de las dos mallas

descripta arriba confirma el desplazamiento del viejo punto 0/0 = perforación por approx. 100m al W/ 75m al N y un giro por casi 35° de las mallas (compare cap. 2). El resultado de la buena coincidencia de los dos mapas también confirma la legitimidad de la manipulación aplicada a los datos tan heterogéneos. En el primer levantamiento se había gastado mas tiempo coleccionando los datos; se habían medido perfiles intermedios (cada 50m). Para estudiar detalles se necesita esto (y probablemente una densidad mucho más grande), sin embargo el segundo levantamiento con una separación de perfiles de 100m y procesando los datos razonablemente es adecuado para investigaciones a mayor escala .

4. Resultados

Gravimetría

El resultado un poco sorprendente del levantamiento es la observación de un **minimo de la gravedad** encima de las rocas ultrabásicas. La amplitud relativa alcanza -1.5 mGal. La anomalía se desarrolla en forma de dos cuencas separadas por un umbral (ver Figs. 3 y 4); el rumbo es approx. N25°W y la parte sureste continua hacia fuera de la zona medida. La ubicación de la anomalía parece coincidir bien con las rocas ultrabásicas mapeadas (esbozo geológico preliminar de *Preciozzi, et al.*, sin fecha). El umbral mencionado está claramente relacionado con una mancha de leptinitas y leucogranitos en el mapa geológico.

Fueron sacados perfiles del mapa gravimétrico, con el motivo de explicar las anomalías con modelos. El programa del modelamiento trabaja con modelos llamados 2.5 dimensionales, es decir, los cuerpos son bidimensionales, pero se consideran las influencias de una extensión finita perpendicular al plano del dibujo. El proceso funciona interactivamente con la ayuda de la gráfica en la pantalla de la computadora. La interpretación de los dos perfiles tomados (ver Fig. 3), los cuales son perpendiculares entre sí, es graficada en las Figs. 10 y 11. Presunciones para el modelamiento fueron un nivel cero local de 6.7 mGal, un largo de los cuerpos de 500m y un contraste del peso específico de -0.3 g/cm³. Anomalías regionales de forma lineal fueron eliminadas antes del modelamiento.

La sorpresa inicial sobre el mínimo gravimétrico encima de las ultrabásicas nos llevó (salvo el chequeo de los programas evaluatorios por errores de signos) a medir los pesos específicos en los testigos de la perforación existente. Examinamos 22 muestras distribuidas más o menos homogéneamente por los 55 m disponibles. El valor promedio resultaba $2.56 \pm 0.22 \text{ g/cm}^3$, con una tendencia a aumentar hacia la base: promedio de los primeros 35m, 2.46 y el resto 2.64. Con esto se explica la falta de masa comparando pesos específicos plausibles de los gneises en los alrededores. Una estimación de toda la masa faltante en la zona medida resulta un déficit en el orden de magnitud de 25 millones de toneladas. (Método de cálculo del superávit de masas, en *Grant & West* 1965; pp. 227)

Los modelos 2.5 dimensionales resultaban en la dirección perpendicular al rumbo (Fig.11) esencialmente las dos cuencas con bordes casi verticales. Eso, un contraste de -0.3 g/cm^3 y una profundidad hasta 250 - 300 m eran indispensables para poder aproximar la curva medida. El contraste del peso y la profundidad igualmente parecen un poco altos, considerando las observaciones del peso específico (ver arriba). La interpretación del perfil a lo largo del rumbo (Fig.11) muestra un buzamiento muy suave de ambos lados hacia el centro, recordando en su forma a un embudo. Claramente lo que vemos en la anomalía gravimétrica, es en el primer instante una falta de masas por causa de una alteración fuerte de las rocas ultrabásicas. Queda la pregunta, de si existe solamente esta capa superficial o si abajo de ella existe una intrusión masiva de rocas más pesadas. En la fig. 12 se dibuja un modelo gravimétrico, que esencialmente es el modelo interpretado (fig. 11), pero amplificado por un cuerpo más pesado abajo con una profundidad casi infinita. Este cuerpo se expresa en una anomalía campaniforme con un ancho de tal vez mil metros. De nuestras medidas no podemos decidir, si una anomalía tan ancha podría estar escondida en ellas. Para este fin necesitaríamos perfiles de unos kms de largo. Nosotros conocemos valores absolutos y para el modelamiento usamos un nivel cero local de 6.7 mGal, es decir regionalmente nos ubicamos en una anomalía positiva. No obstante, el valor de 6.7 parece muy alto para atribuirlo a una intrusión ultrabásica masiva en Cerro Chato. Lamentablemente el levantamiento gravimétrico del país posee pocos datos en la zona en consideración, para que pueda auxiliar en esta discusión.

Magnetometria

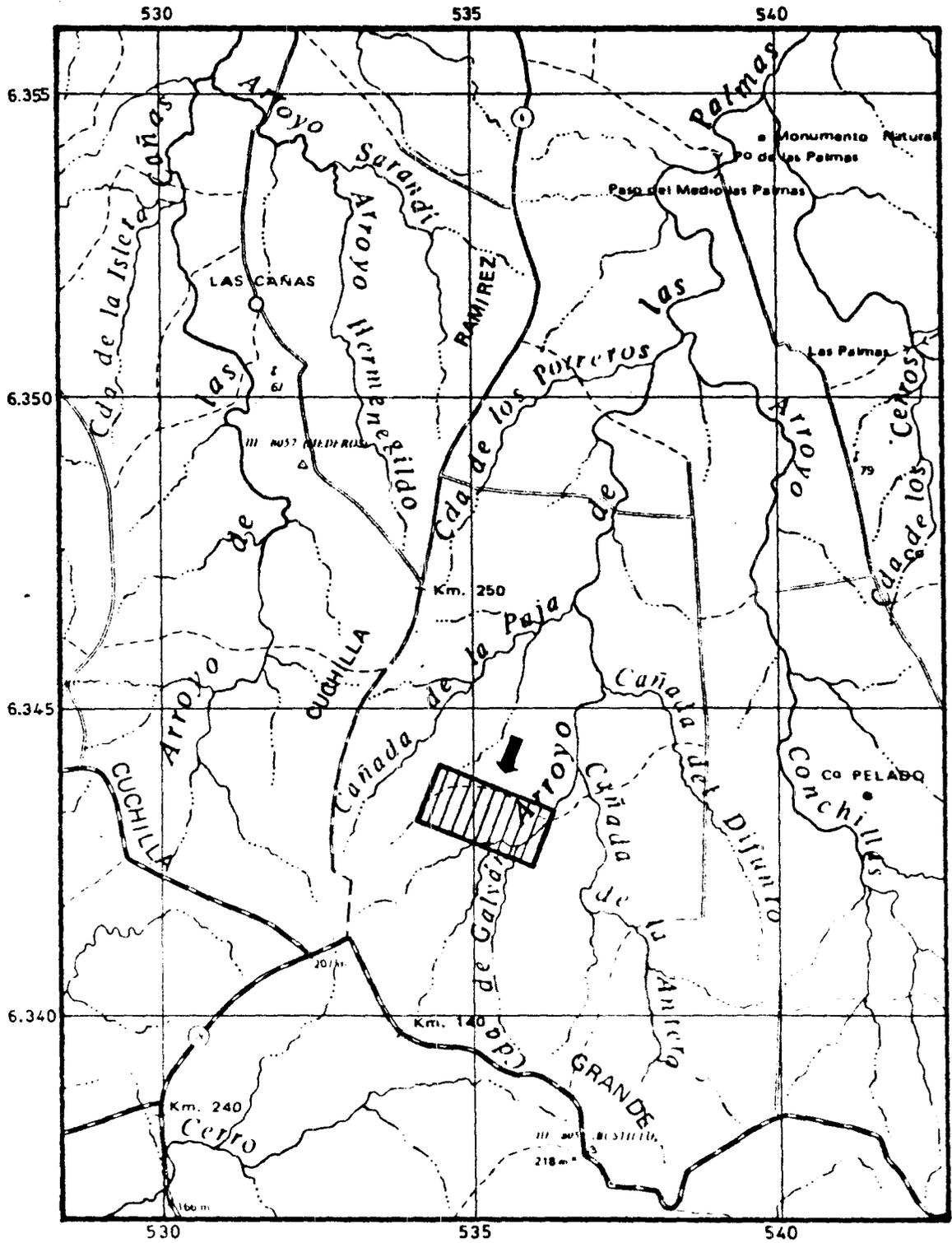
Los cambios grandes del campo magnético en poca distancia son una clara indicación de la superficialidad de las rocas magnetizadas. Como ya se mencionó, no tiene sentido interpretar los detalles de las medidas, en vista de que el campo no fue registrado enteramente a causa de la separación de los perfiles relativamente grande. No obstante, una cierta similitud entre los perfiles llama la atención, específicamente en la parte Este (perfil representativo fig. 6). Moviéndose de SW a NE (de izquierda a derecha en fig.6, o de abajo hacia arriba en fig.7) los valores disminuyen en forma relativamente suave y entre 200 y 100S comienza la zona de alta inquietud. Hacia el Este, ella es abandonada de vuelta entre 200 a 400N. Interpretando el mapa magnético continuado (fig. 8) se tendría que asumir por lo menos dos cuerpos : uno ubicado más o menos en la zona de alta inquietud descrita arriba, y el otro, modificando la anomalía principal cerca de 100E/200N. Un perfil NS, dibujado en fig. 8, fue interpretado usando los programas de inversión con modelos bidimensionales AUTINT y ITEGAE (*Bosum*, 1968). El mejor resultado se observa en fig. 13: filón ancho, aflorando, con un buzamiento hacia el sur. (Observación: la profundidad resultante es un poco menor que 100 m. Esto no es posible, porque usamos datos luego de la continuación por 100m por encima de la superficie. Pero ya se encontraría una explicación en la ignorancia del nivel cero exacto, el cual entra en el programa como parámetro a seleccionar.)

Con el motivo de visualizar mejor los cuerpos magnetizados el método de la "reducción al polo" fue aplicado (Fig. 14). Mediante esta reducción se calcula del campo magnético medido, con una inclinación conocida, el campo como se mostraría en el polo magnético, es decir, con una inclinación de 90°. Este cálculo, un poco laborioso, se logra también mediante el análisis de Fourier (*Bhattacharyya*, 1965). En el polo las anomalías magnéticas se comportan mucho más sencillo: las máximas se encuentran encima de los cuerpos (como en la gravimetría), las influencias distorsionantes de la inclinación del campo han desaparecido. Específicamente valioso en localizar los cuerpos distorsionantes es la segunda derivada del campo después de la reducción (Fig. 15). La línea cero inclina a delinear los bordes de los portadores de la magnetización en el plano de las mediciones. Comparando el mapa gravimétrico (Fig. 3) con el magnético (14) se ve claramente, salvo detalles, la buena coincidencia de los cuerpos distorsionantes de ambos métodos.

Bibliografía

- Bhattacharyya, B.K.:** Two-Dimensional Harmonic Analysis as a Tool for Magnetic Interpretation; Geophysics 30, 1965
- Bosum, W.:** Ein automatisches Verfahren zur Interpretation magnetischer Anomalien nach der Methode der kleinsten Quadrate; Geophys.Pros. 16,1; 1968
- Dohme-Wigger, G.:** Geophysikalische Methoden in der Chromitexploration; Dissertation Univ. Hamburg; 1987
- Dürbaum H.-J, J. Fritsch:** Gravimetrie; en: Angewandte Geowissenschaften II, Enke Verlag; 1985
- Grant, F.S, G.F.West:** Interpretation Theory in Applied Geophysics; McGraw-Hill New York, 1965
- Haut, R., F.Lema, C.Mari, H.Cicalese & C.Valverde:** Estudios Geofísicos sobre los Ultrabásicos de Cerro Chato; informe DiNaMiGe; 1987
- Preciozzi, F., R.Arrighetti, S.Pena & J.Pias:** Carta geológica del ultrabásico de las cañas ; DiNaMiGe Montevideo, no publicada
- Reitmayr, G.:** Rechenprogramme der Geophysik für SIRIUS/VICKI; informe BGR 98944; 1985
- Servicio Geografico Militar:** Red Gravimetrico Fundamental - Resumen de Valores; Montevideo; 1986
- Telford, Geldart, Sheriff, Keys:** Applied Geophysics; Cambridge Univ. Press, Cambridge; 1976

PLANO DE UBICACION ULTRABASICOS DE CERRO CHATO
 FIGURA 1 ESCALA 1 / 100.000



Cerro Chato 100E Gravimetria

mgal - 545
8

Valores medidos
Anomalia BOUGUER

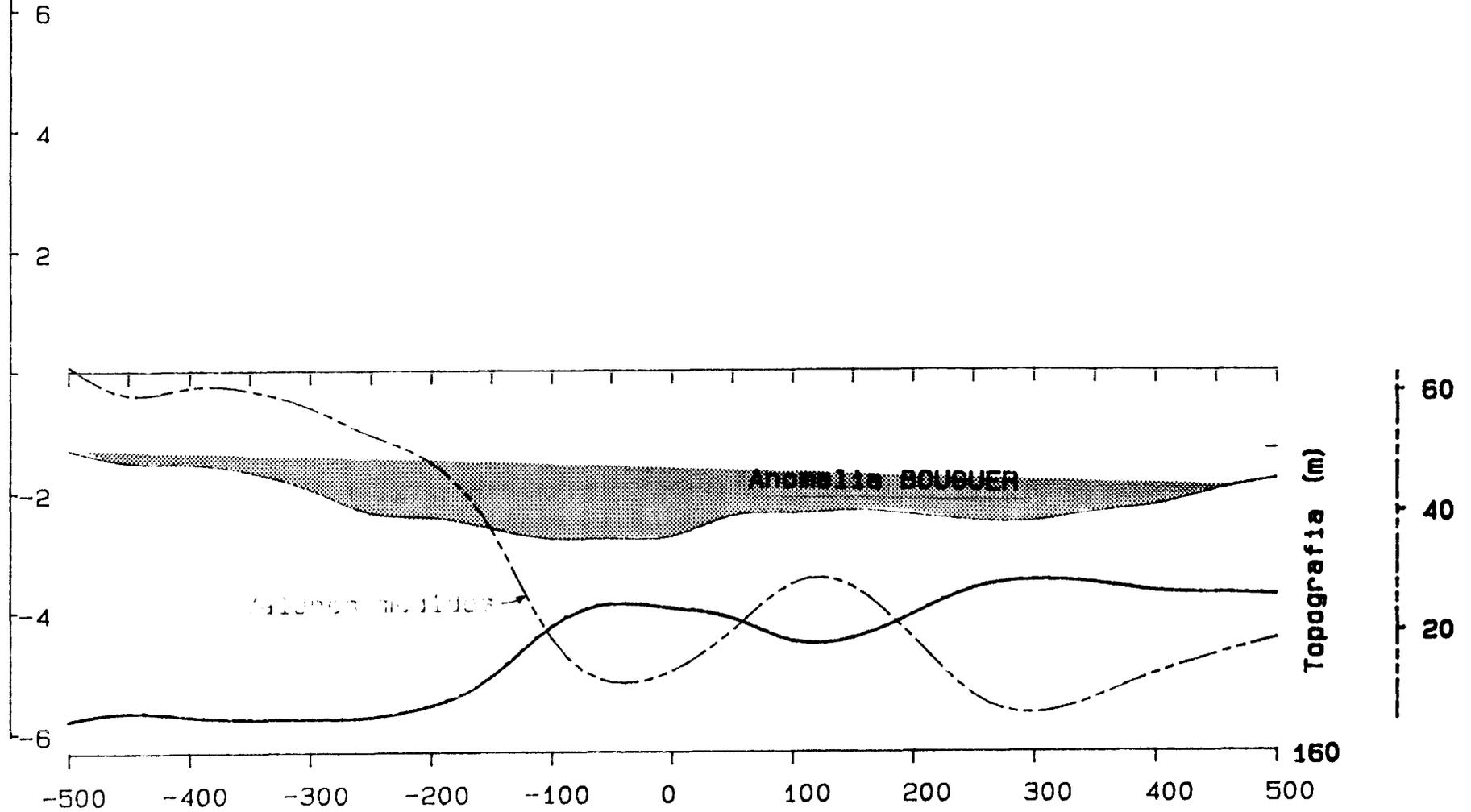


Fig. 2

Cerro Chato Anomalia Bouguer 2

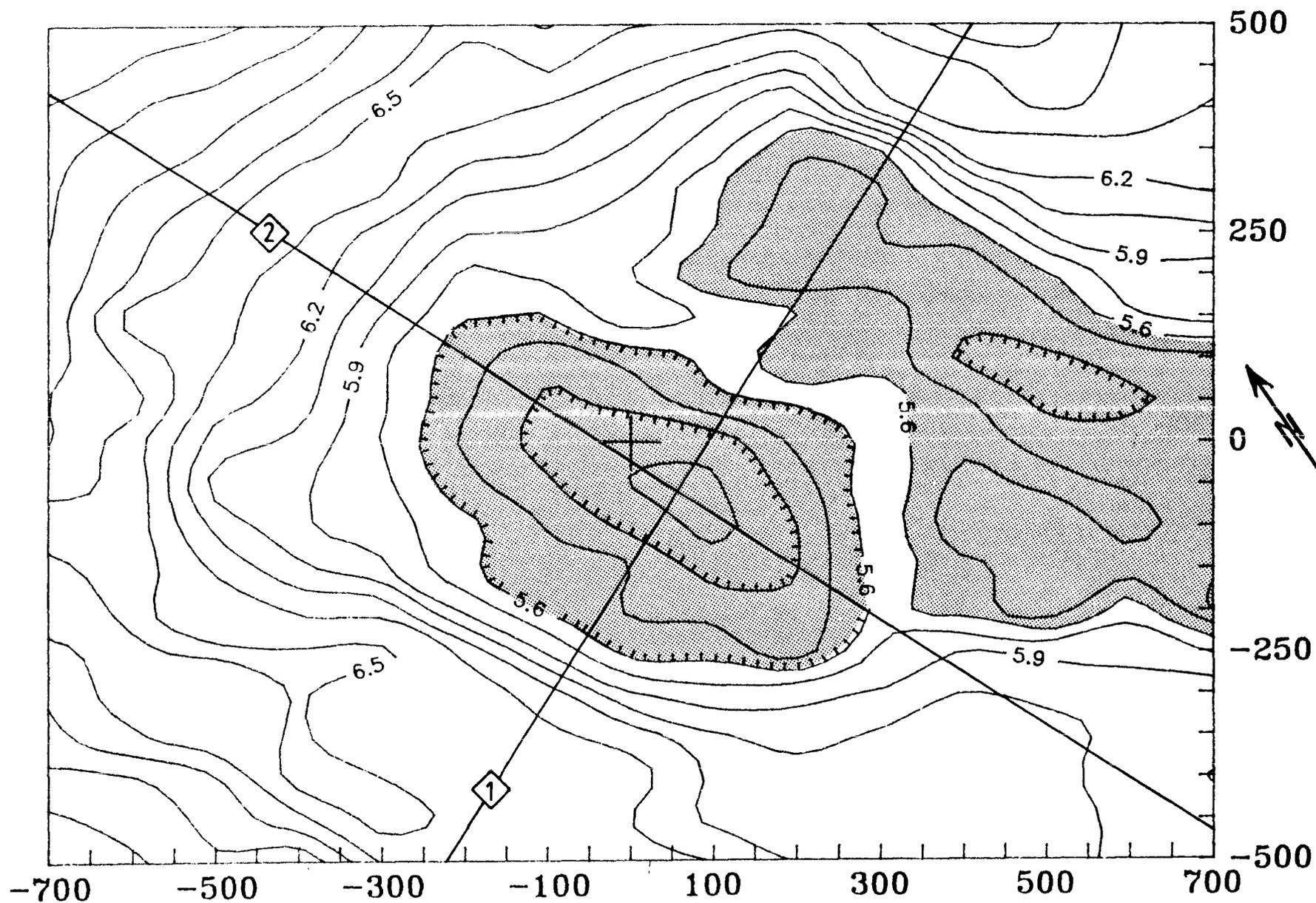


Fig. 3

Cerro Chato Anomalia BOUTHER

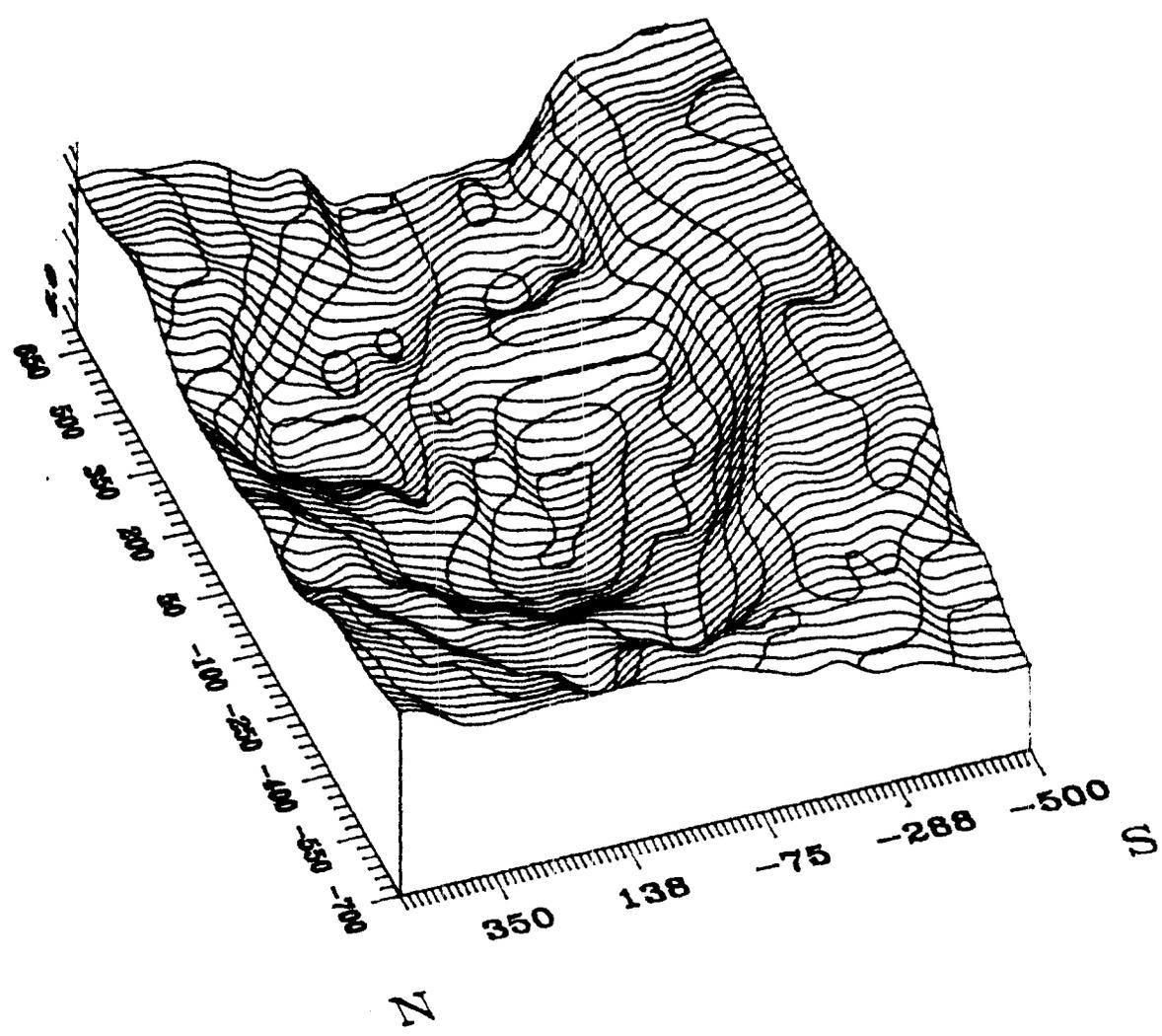


Fig. 4

Cerro Chato Topografia

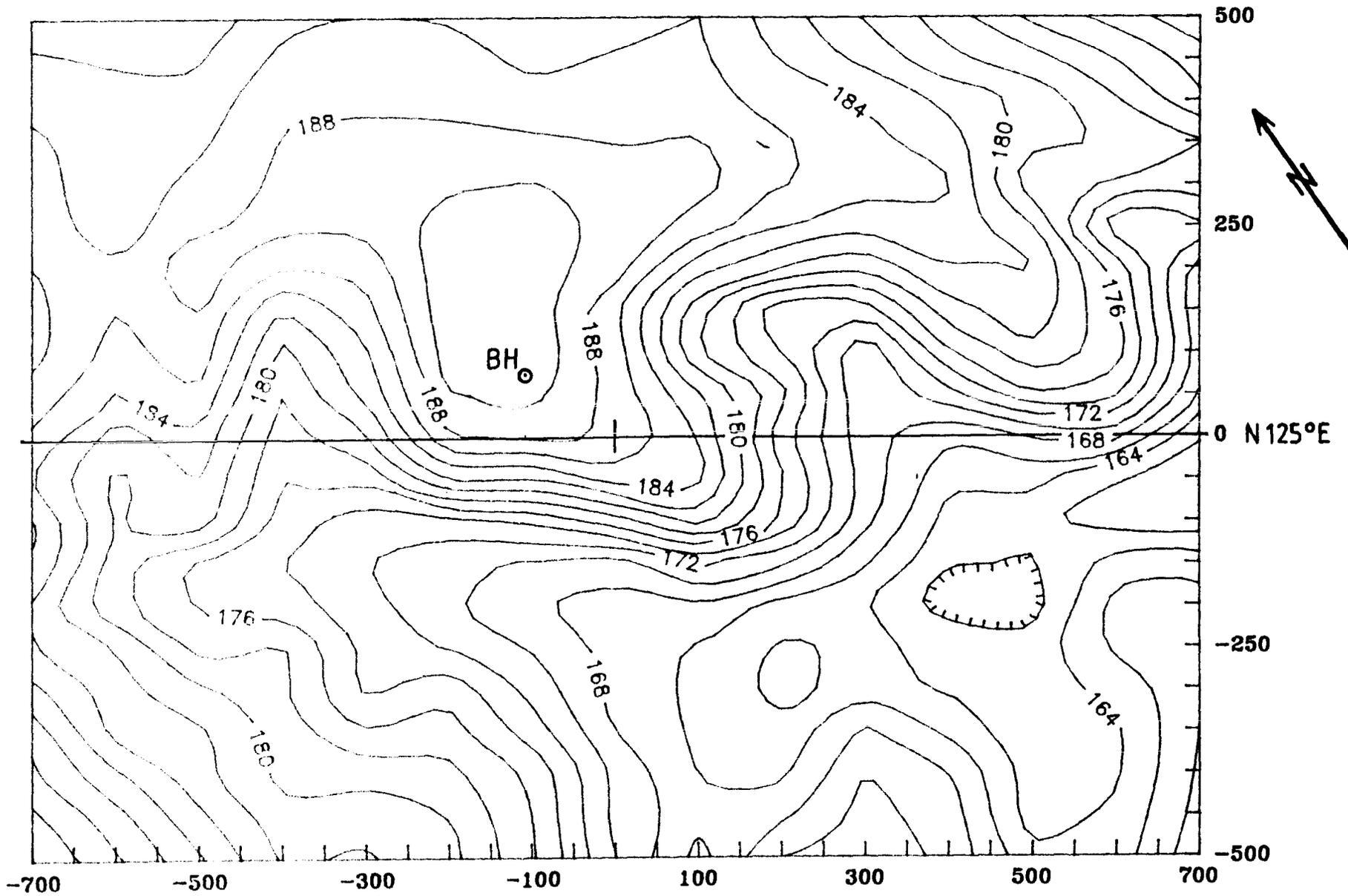


Fig. 5

Cerro Chato 100E Magnetica

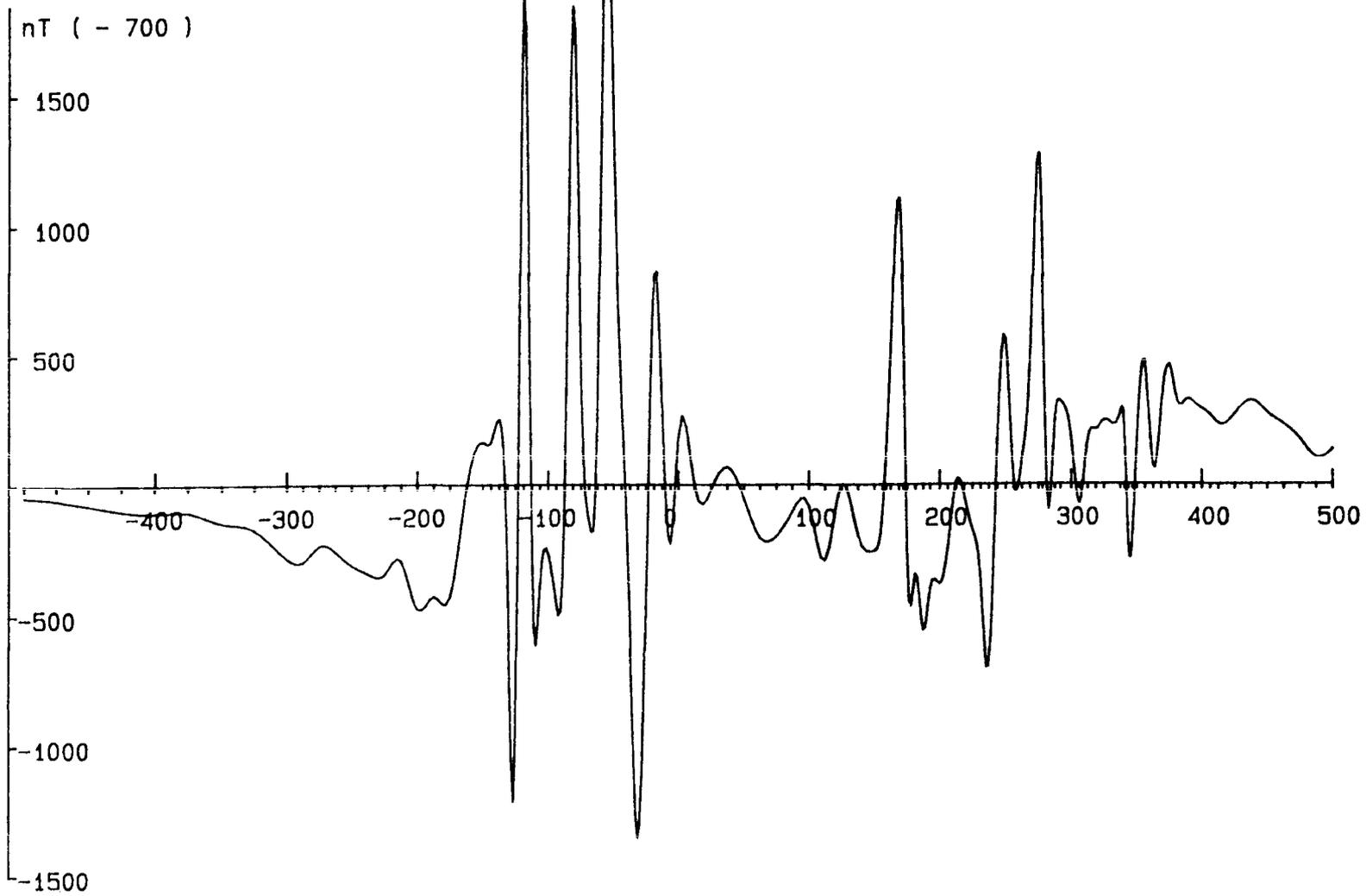


Fig. 6

Cerro Chato Campo Magnetico (-23700nT)

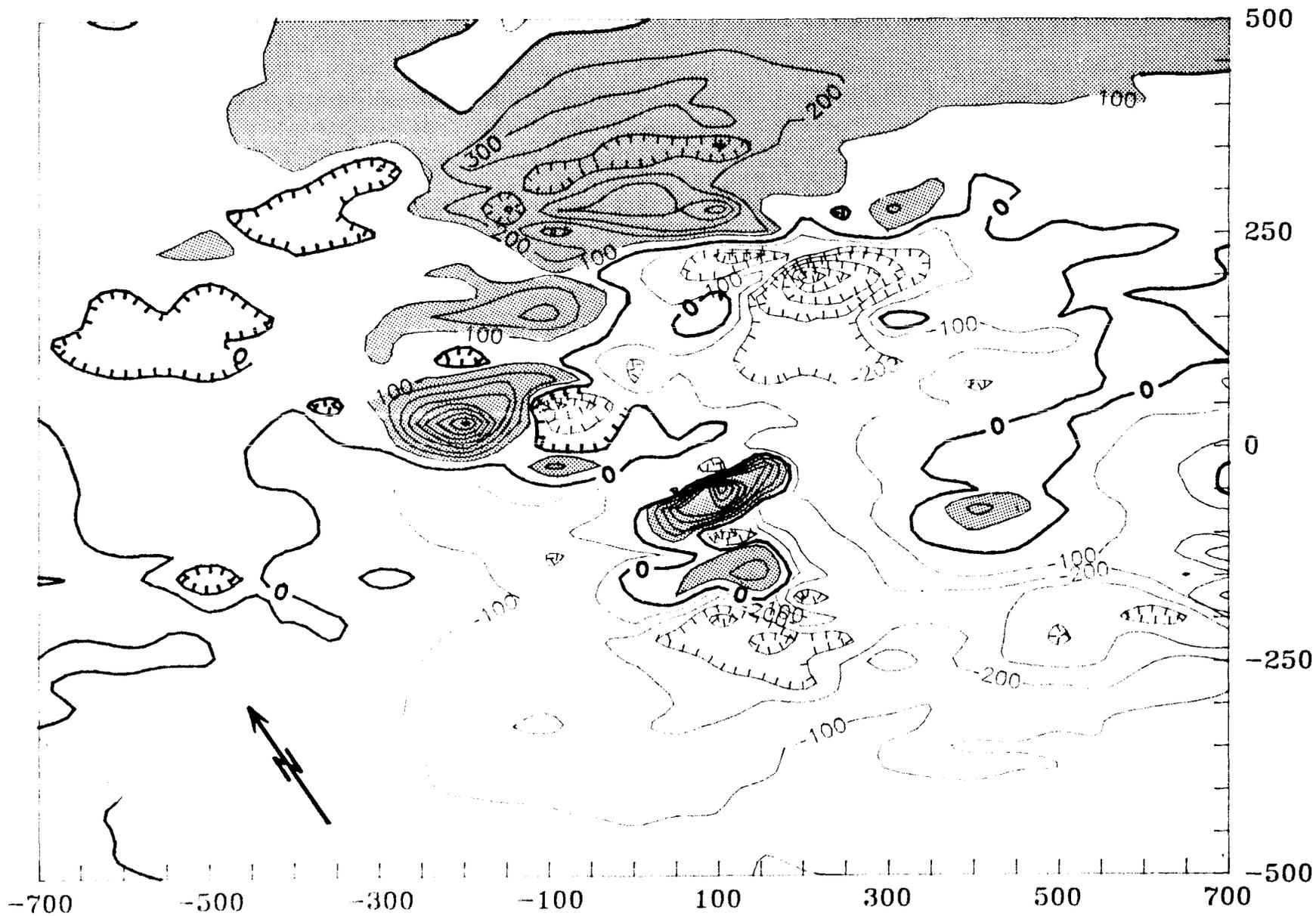


Fig. 7

Cerro Chato Campo Magnetico continuado 100m

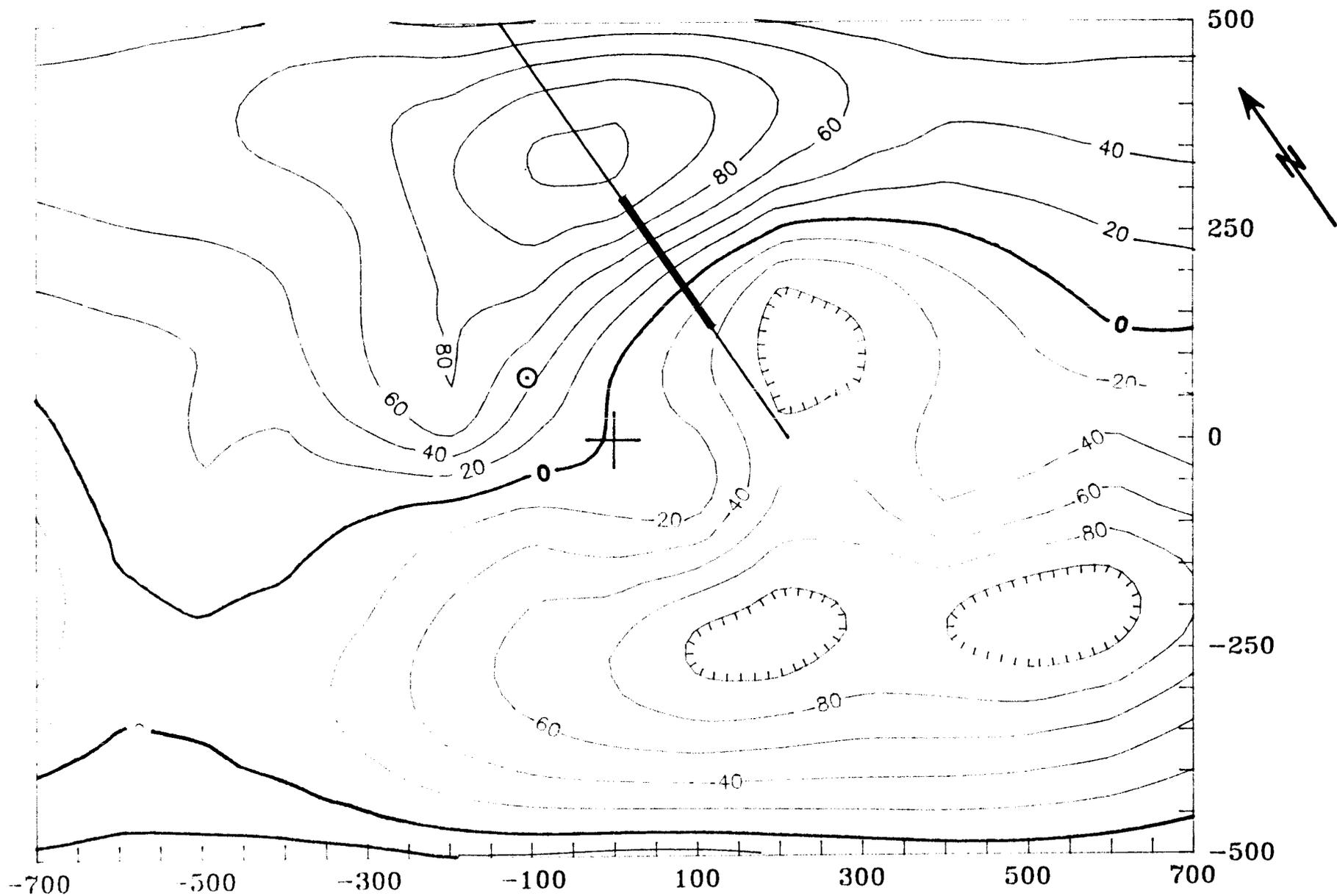


Fig. 8

Cerro Chato Magnetismo continuado 100m Malla 85

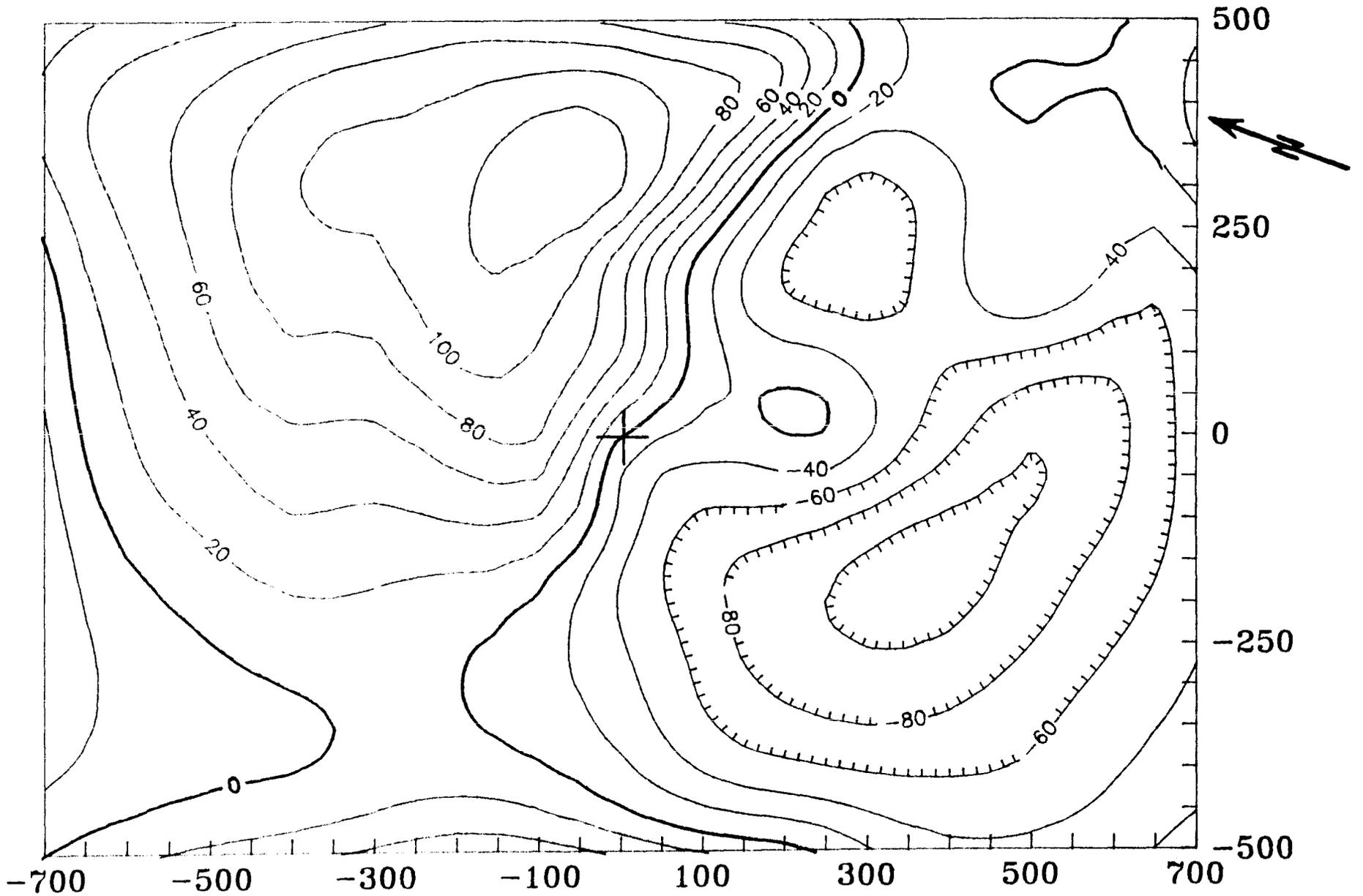


Fig. 9

Cerro Chato Anomalia Bouguer (1) 8 12 -32°

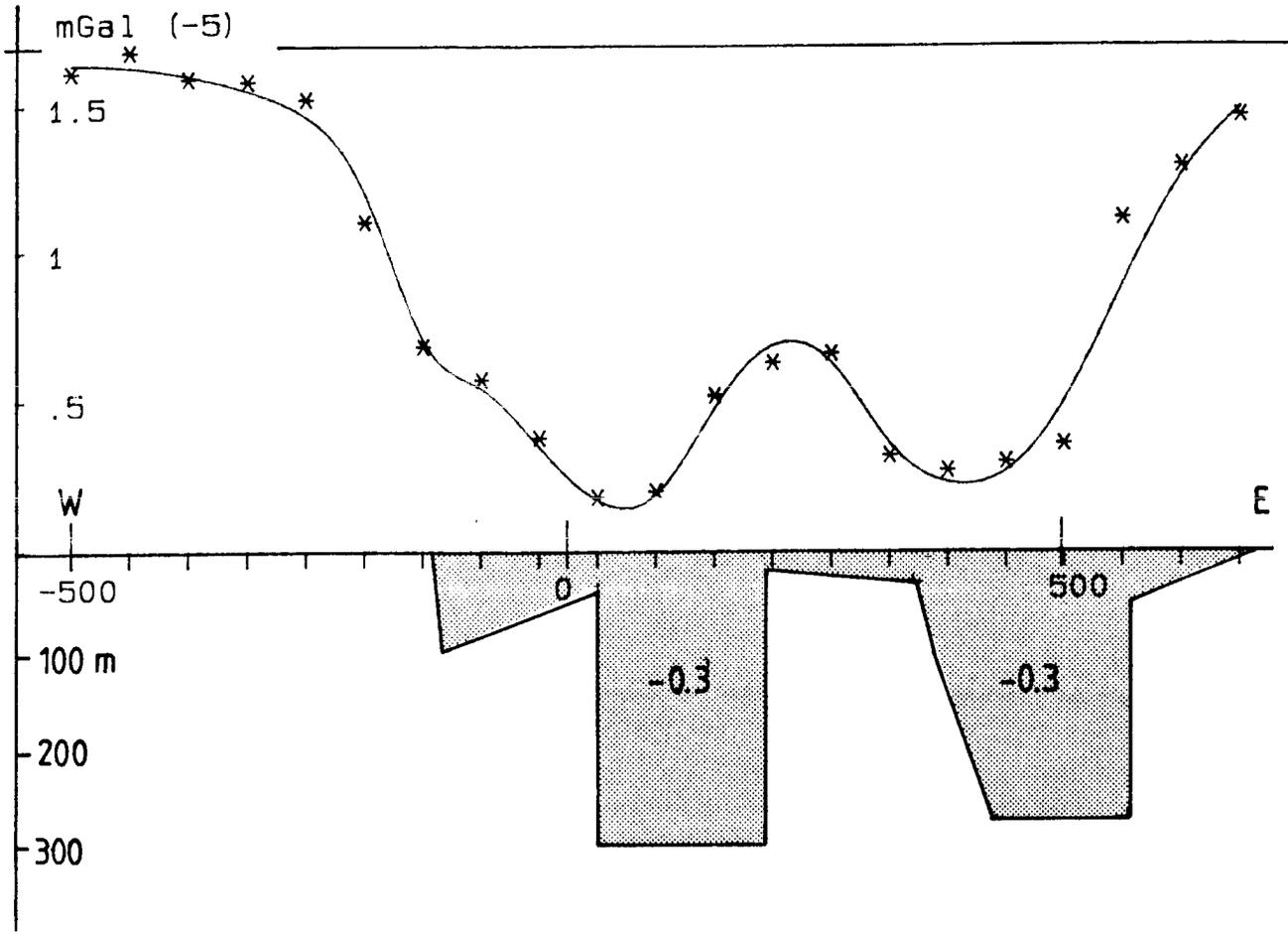


Fig. 10

Cerro Chato Anomalia Bouguer (2) 5 8 58°

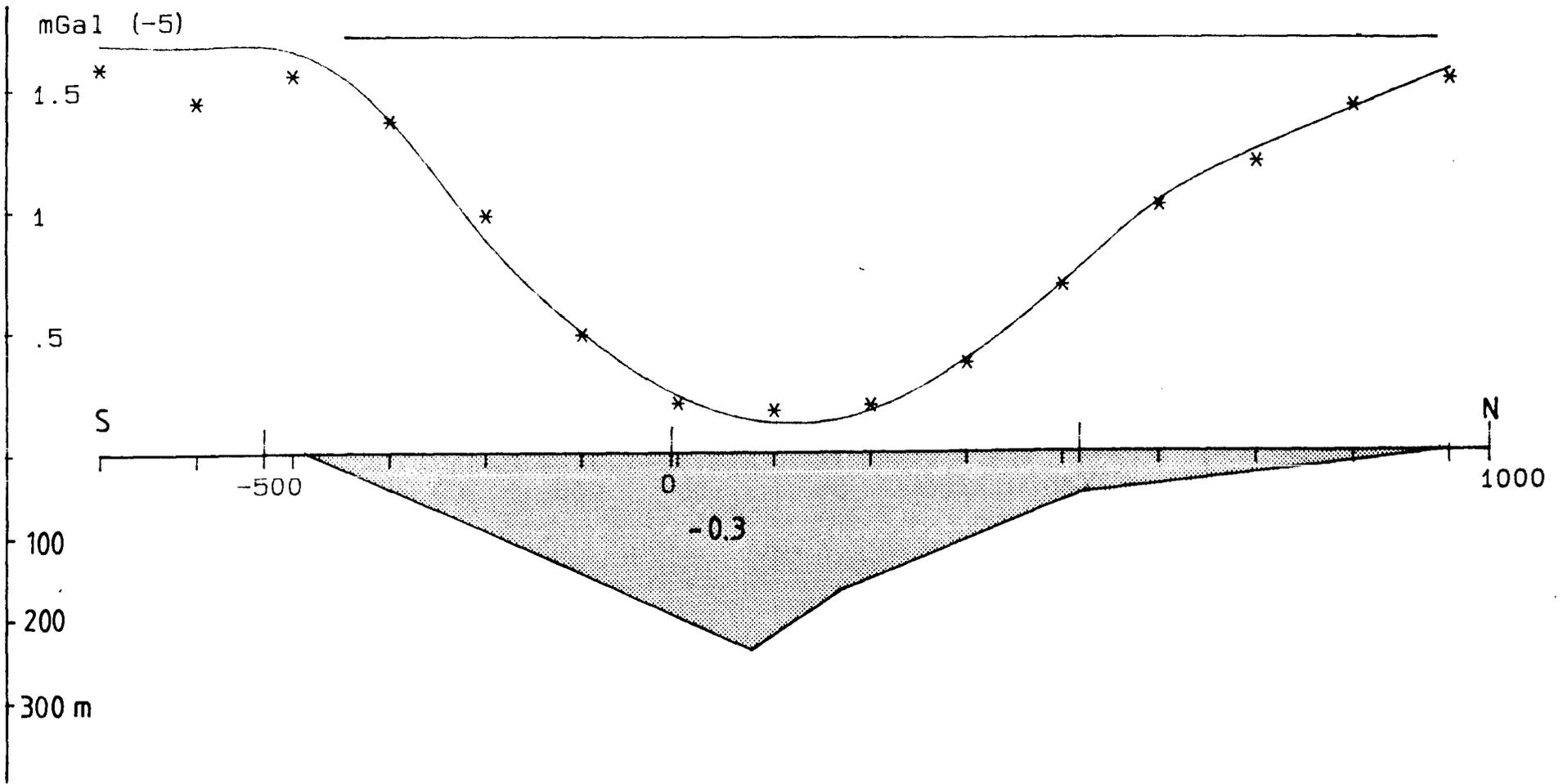


Fig. 11

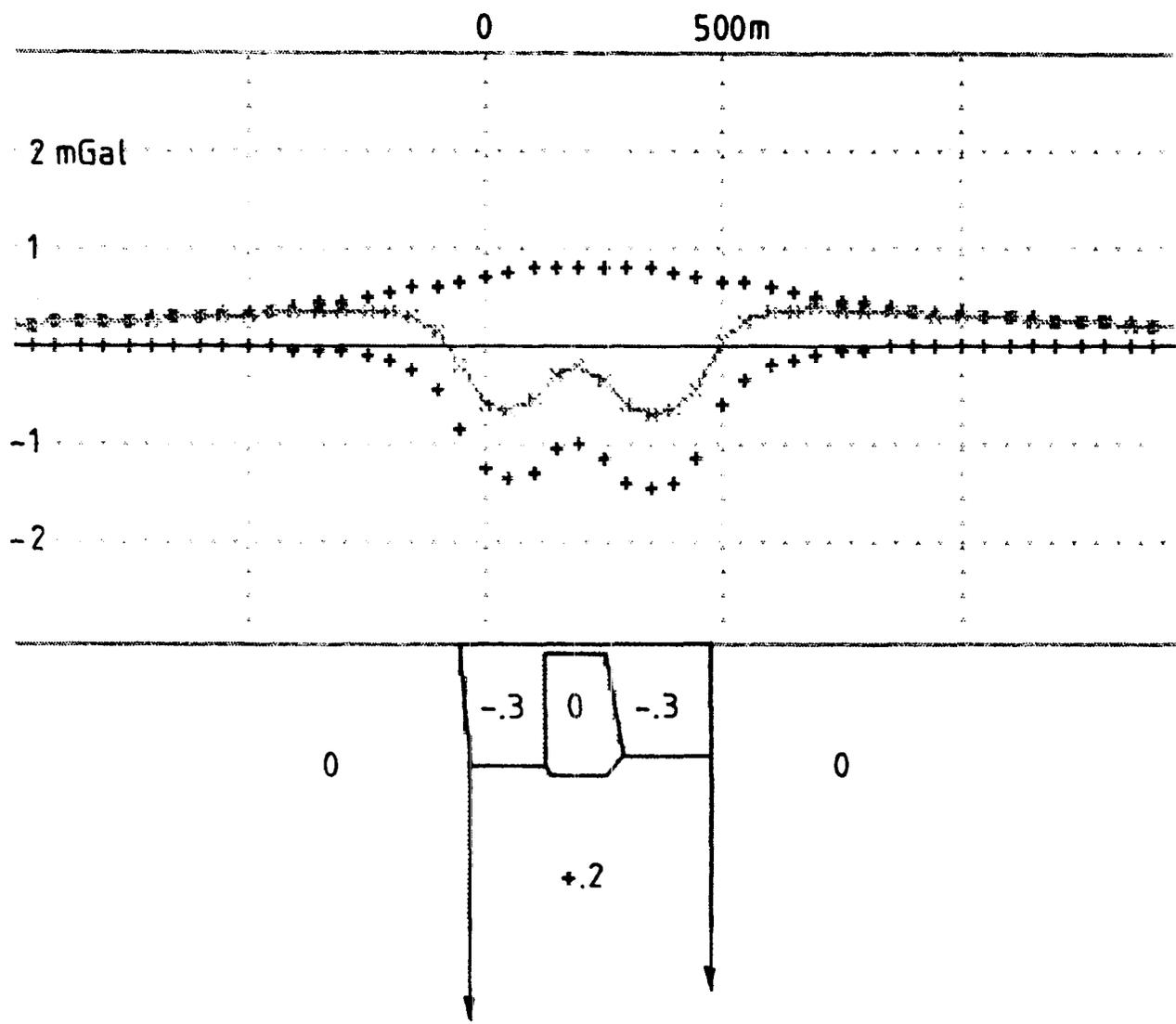


Fig. 12

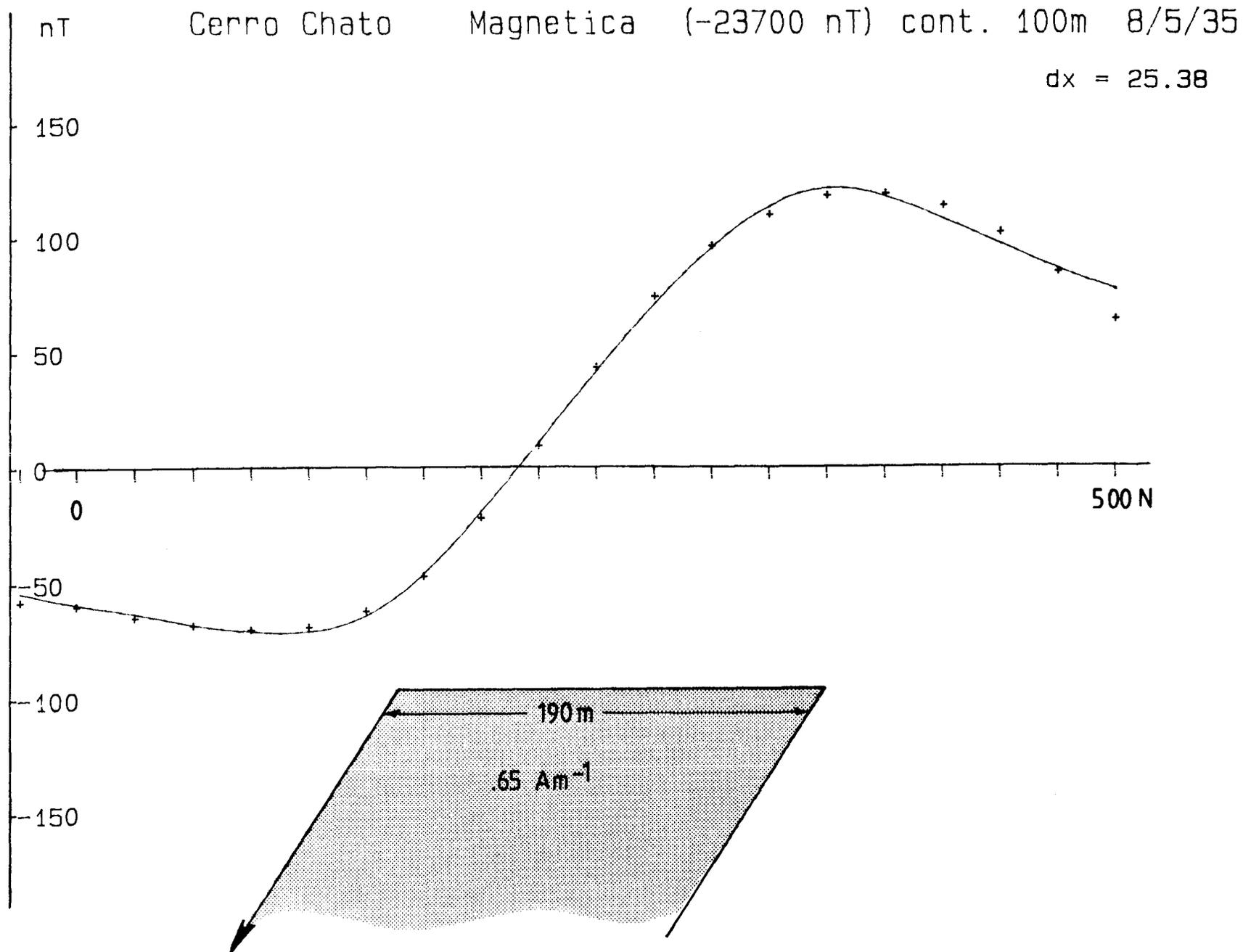


Fig. 13

Cerro Chato Magnetismo continuado 100m, redapolo

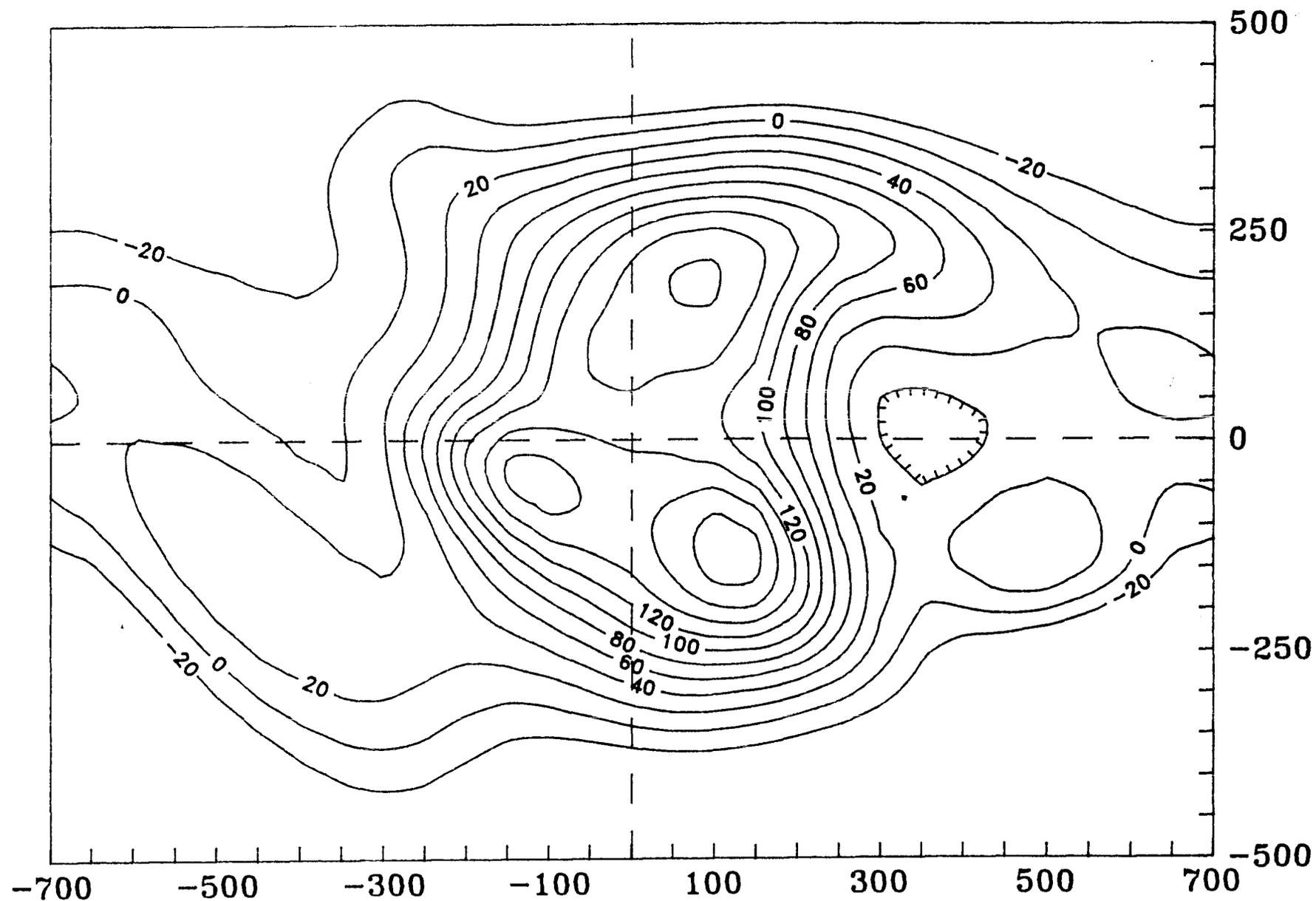


Fig. 14

Cerro Chato Magnetismo con.100m redapolo derivado

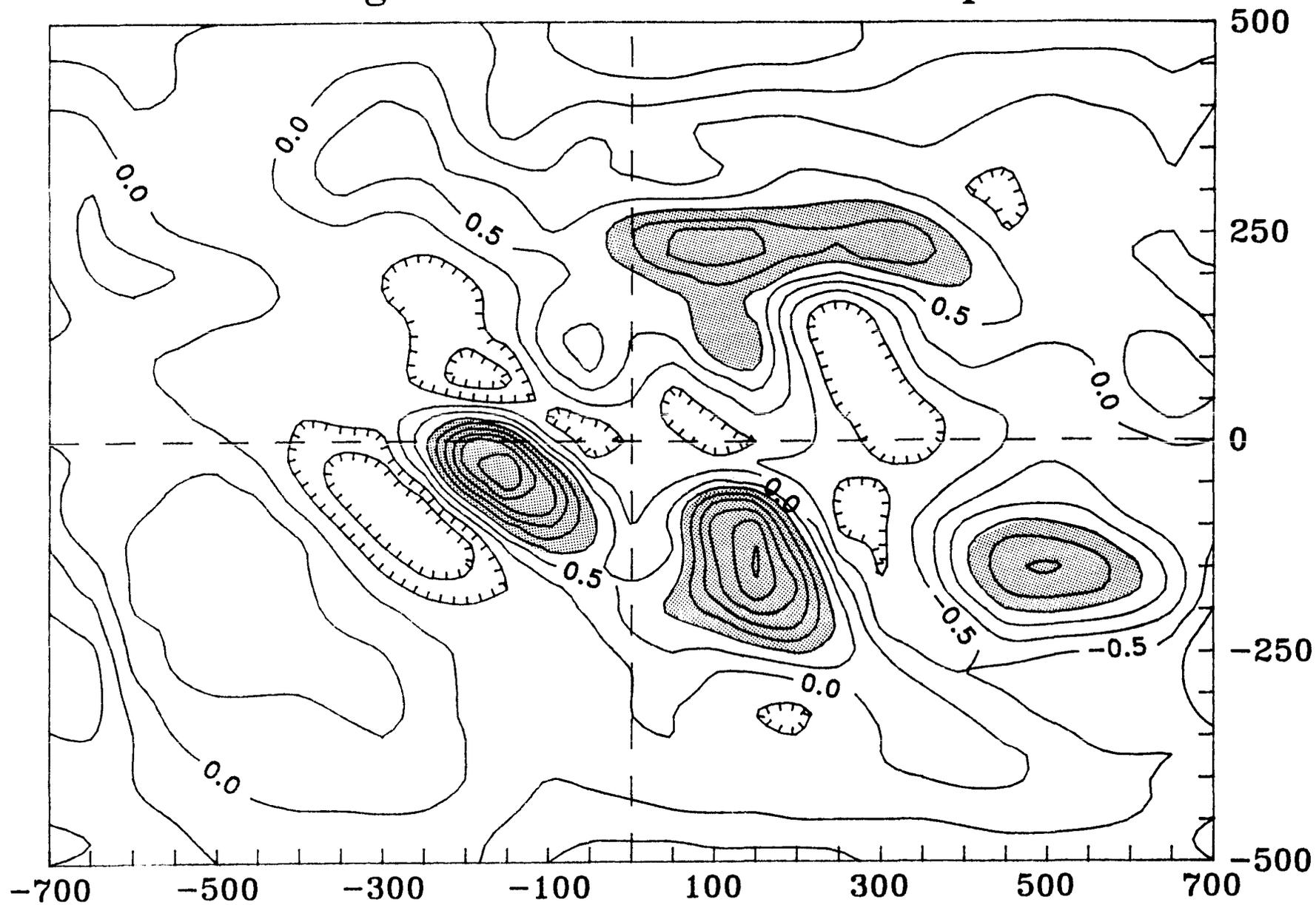


Fig. 15