



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

INTERPRETACION DE ANOMALIAS AEROMAGNETICAS EN LA
REGION SUR DE MICHOACAN

T E S I S

Que para obtener el Título de:
INGENIERO GEOFISICO

P r e s e n t a :

ESPERANZA AURIA ZENTENO ZUÑIGA

México, D.F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección
60-I-234

Señorita ZENTENO ZUÑIGA ESPERANZA AURIA.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Prof. Dr. -- Jaime Urrutia Fucugauchi, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOFISICO.

"INTERPRETACION DE ANOMALIAS AEROMAGNETICAS EN LA REGION SUR DE MICHOACAN"

RESUMEN.

- I INTRODUCCION.
 - II PROPIEDADES MAGNETICAS DE ROCAS Y MINERALES.
 - III CAMPO GEOMAGNETICO.
 - IV MAGNETOMETRIA.
 - V GEOFISICA Y GEOLOGIA DE LA REGION DEL SUR DE MICHOACAN.
 - VI INTERPRETACION.
 - VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar -- Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como -- requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así -- como de la disposición de la Coordinación de la Administración -- Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los -- ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., Septiembre 7 de 1984.

EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

0ARCH' MRV' gtg

INDICE

RESUMEN

I. INTRODUCCION	1
II. PROPIEDADES MAGNETICAS DE ROCAS Y MINERALES	2
II.1 Susceptibilidad Magnética	2
II.1.1 Diamagnetismo	4
II.1.2 Paramagnetismo	4
II.1.3 Ferrromagnetismo	6
II.2 Magnetismo de las Rocas	8
II.2.1 Magnetización Inducida y Remanente	8
III. CAMPO GEOMAGNETICO	20
III.1 Campo Magnético Principal	20
III.1.1 Elementos que constituyen al Campo Geomagnético	21
III.2 Variaciones temporales del Campo Geomagnético	22
III.3 Variaciones de largos periodos del Campo Geomagnético	24
IV. MAGNETOMETRIA	30
IV.1 Instrumentación	
IV.2 Trabajo de Campo	33
IV.3 Interpretación	35
V. GEOLOGIA DE LA REGION SUR DE MICHOACAN	38
V.1 Area de estudio	38
V.2 Los Pozos	42
V.3 Las Truchas	44
V.4 La Mira	47
VI. RESULTADOS E INTERPRETACION	48
VI.1 Análisis e interpretación de la anomalía Pozos I	50

VI.2	Análisis e interpretación de la anomalía Pozos 2	61
VI.3	Análisis de la anomalía Pozos 3	72
VI.4	Análisis e interpretación de la anomalía La Mira	81
VI.5	Análisis e interpretación de la anomalía Las Truchas	93
VII.	CONCLUSIONES	105
	AGRADECIMIENTOS	107
	REFERENCIAS	108

RESUMEN

De los mapas aeromagnéticos y geológicos de las Truchas, Los Pozos y La Mira, de la región sur de Michoacán, se eligieron las anomalías más importantes y mejor definidas para interpretarlas.

Las anomalías aeromagnéticas fueron digitizadas a un espaciamiento de 200 metros. A los datos así obtenidos, se les aplicaron los procedimientos de: continuación analítica hacia arriba y hacia abajo y primera y segunda derivada. Finalmente, se hizo el modelado para cada una de las anomalías usando el algoritmo bidimensional de Talwani.

Debido a la forma dipolar de las anomalías de Los Pozos y La Mira usamos, para el modelado, cuerpos tabulares ó prismáticos correlacionándolos con la geología superficial del área.

Dada la forma bastante compleja de la anomalía Las Truchas, que presenta varios dipolos en diferentes direcciones, para su modelado consideramos un sólo cuerpo de forma tabular, debido a que únicamente consideramos el perfil principal en la dirección N-S. Igualmente se correlacionaron estos resultados con la geología superficial del área.

Al final de este trabajo se presentan los resultados de la interpretación de las anomalías aeromagnéticas de la región sur de Michoacán, en las áreas de Las Truchas, Los Pozos y La Mira.

1. INTRODUCCION.

Las propiedades magnéticas de las rocas y de los minerales son parámetros importantes en la interpretación de las anomalías aeromagnéticas; así como los diferentes tipos de magnetismo remanente que éstas puedan adquirir.

Mediante el método magnetométrico de prospección geofísica podemos determinar zonas anómalas de interés económico, ocasionadas por rocas con contenido ferromagnético.

El objetivo del presente trabajo es interpretar anomalías aeromagnéticas de la región sur del Estado de Michoacán, en donde existen grandes yacimientos ferríferos.

La información geofísica-geológica fue obtenida de las Cartas elaboradas por el Departamento de Exploración de Yacimientos de Minerales Metálicos del Consejo de Recursos Naturales No Renovables en colaboración con las Naciones Unidas.

Se eligieron las anomalías más importantes y se analizaron los datos digitalizados a un espaciamiento de 200 metros, empleando los procesos de continuación analítica hacia arriba y hacia abajo; primera y segunda derivada en superficie. Finalmente se modeló por medio del algoritmo de Talwari.

Los resultados obtenidos se correlacionaron con la geología superficial del área.

11. PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE ROCAS Y MINERALES.

Las propiedades magnéticas de rocas y minerales dependen de factores tales como, composición, forma y tamaño de grano, presión y temperatura, origen de los minerales magnéticos y características de los diferentes tipos de magnetismo remanente que las rocas y minerales pueden adquirir durante su génesis e historia geológica.

11.1. SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA.

La susceptibilidad magnética está definida por la relación

$$M_i = k H \quad (2.1)$$

ó alternativamente

$$J_i = \chi H = B/\mu. \quad (2.2)$$

donde una magnetización por unidad de volumen M_i ó por unidad de masa J_i es inducida en un material de susceptibilidad volumétrica k ó susceptibilidad de masa χ por la aplicación de un campo H .

El estado magnético de un material puede o no ser irreversiblemente alterado por la aplicación de H y la susceptibilidad puede ser independiente ó variar con H . La mayor parte de los materiales son diamagnéticos y paramagnéticos, en los cuales el efecto del campo aplicado es reversible y para propósitos prácticos la susceptibilidad es independiente de la magnitud del campo; el ferromagnetismo está asociado con la irreversibilidad y dependencia de la susceptibilidad a la magnitud del campo aplicado. En la Tabla 11.1 se listan una serie de rocas y minerales con sus respectivos valores de susceptibilidad.

La susceptibilidad de una roca depende de su contenido de minerales magnéticos. En la mayor parte de las rocas, los minerales magnéticos están relacionados con la abundancia de magnetita. La susceptibilidad (k) de las rocas es aproximadamente proporcional al porcentaje en volumen (V) del contenido de minerales magnéticos (ver figs. 11.1-11.4). Existe una gran cantidad de rela—

Tabla 11.1 Susceptibilidad Magnética de Rocas y Minerales.

Minerales	Susceptibilidad Magnética
cuarzo	-0.5×10^{-6} emu/g
carbonato de calcio	-0.52 "
oro	-0.14 "
galena	-0.34 "
sulfuro	-0.48 "
cuprita	-0.14 "
fayalita	100 "
piroxenos	73 "
biotita	53-78 "
anfíbolita	13-75 "
rodocrosita	100 "
pirolusita	40 "
siderita	98 "
ilmenita	0.88 "
rutilo	0.07 "
grafito	-8×10^6 emu
anhidrita	-1 "
calcopirita	32 "
esfalerita	60 "
casiterita	90 "
pirita	100-310 "
limonita	220 "
arsenopirita	240 "
hematita	40-3000 "
cronita	240-94000 "
franklinita	36000 "
pirrotita	300000 "
magnetita	150000 "
Rocas	
basalto	2.95×10^{-3} emu
diabasa	2.59 "
riolita	1.12 "
gabro	0.99 "
granito	0.47 "
peridotita	14000×10^6 emu
andesita	13500 "
dolomita	0-75 "
caliza	2-280 "
arenisca	0-1660 "
filita	130 "
gneiss	10-2000 "

laciones empíricas entre h y V , algunas de las cuales se resumen en la Tabla 11.2. Además del contenido de magnetita existen otros factores que intervienen en la susceptibilidad magnética, tales como el tamaño de grano (ver fig. 11.5) y composición (ver fig. 11.6 y Tabla 11.3).

11.1.1 Diamagnetismo.

La susceptibilidad diamagnética es una propiedad fundamental de todos los átomos y moléculas, sea que ellos tengan o no un momento magnético resultante.

El diamagnetismo tiene su origen en el movimiento de un electrón alrededor de un núcleo. Este movimiento constituye una corriente en miniatura cuyo momento magnético es un vector que, en presencia de un campo magnético externo, toma un movimiento de precesión alrededor del núcleo y, siguiendo la ley de Lenz, el efecto de precesión es equivalente a la generación de un momento orbital oponiéndose al campo externo aplicado, por lo que la susceptibilidad diamagnética es una cantidad negativa.

El diamagnetismo puro sólo aparece si los momentos magnéticos de los átomos son nulos en ausencia de campo exterior, como ocurre en los átomos o iones que poseen capas electrónicas completas. Minerales comunes con susceptibilidad diamagnética son cuarzo, calcita, dolomita, grafito, etc.

11.1.2 Paramagnetismo.

La susceptibilidad de los materiales paramagnéticos es positiva e inversamente proporcional a la temperatura absoluta.

El paramagnetismo hace su aparición cuando los átomos o moléculas de una sustancia poseen un momento magnético en ausencia de campo externo y además la interacción magnética entre los átomos es débil. Los átomos están distribuidos al azar, pero al aplicar un campo tienden a alinearse en la dirección de éste.

El grado de alineamiento del momento magnético a la dirección del campo

Tabla 11.2 Relaciones empíricas entre k y V .

k	$2.89 \times 10^{-3} V^{1.01}$	(Mooney y Bleisfuss)
k	$2.6 \times 10^{-3} V^{1.11}$	(Balsley y Buddington)
k	$0.00116 V^{1.39}$	

Tabla 11.3 Propiedades magnéticas de minerales.

	Temperatura Curie ó temp. Neel	Magnetización de saturación eml/g
<i>Ferrimagnético</i>		
magnetita	580° C	92
maghemita	545 a 675° C	83.5
ilmenita-hematita sólida	50 a 300° C	21 (max)
pirrotita	320° C	19.5
jacobsita	300° C	84
cubanita	270° C	0.87
magnesiosferita	440° C	24.5
trevonita	585° C	51
franklinita	60° C	
cromita	88° K	
<i>Antiferromagnético</i>		
hematita	680° (temp. Neel)	
ilmenita	57° K	
ulvospinel	120° K	
pirolusita	84° K	
geotita	120° C	
calcopirita	300° K	
siderita	40° K	
radocrosita	31.5° K	
fayalita	126° K	
piroxeno	40° K	

es expresado por la función de Langevin $L(a)$ (ver fig. 11.7) donde:

$$L(a) = \text{ctg } a - 1/a \quad (2.3)$$

y a BP/kT , donde B es el campo aplicado, P es el momento magnético atómico, k es la constante de Boltzmann y T la temperatura absoluta. $L(a)$ es la relación del momento magnético total del alineamiento parcial entre el momento magnético resultante del alineamiento completo, igual a $N\bar{p}$, donde N es el número de átomos. Entonces $L(a) = N\bar{p}/Np = \bar{p}/p$, donde \bar{p} es el valor promedio aparente del momento atómico en el campo B a la temperatura T . Si a es pequeña, y considerando campos débiles a altas temperaturas, $L(a) = a/3$ y

$$p/p = BP/3kT \quad (2.4)$$

si hay N átomos por unidad de volumen

$$N\bar{p} = BNP^2/3kT = M \quad (2.5)$$

o

$$M/H = NP^2/3kT \quad (2.6)$$

donde M es la magnetización volumétrica y M/H es la susceptibilidad de volumen. Bajo estas condiciones el valor de la susceptibilidad es independiente de H y proporcional a T^{-1} -esta es la ley de Curie de la susceptibilidad paramagnética.

Los minerales paramagnéticos más importantes son: ilmenita, biotita, siderita y minerales arcillosos tales como illita y montmorillonita.

11.1.3. Ferromagnetismo.

Los átomos de los materiales ferromagnéticos poseen momento magnético y la interacción entre átomos vecinos es tan fuerte, que los momentos de todos los átomos de cada región, llamada dominio, se orientan hacia la misma dirección, aunque no exista campo externo. Son típicos de los cuerpos ferromagnéticos sus ciclos de histéresis y sus grandes susceptibilidades, que dependen de

la excitación aplicada. El ferromagnetismo desaparece por encima de una temperatura denominada punto de Curie, no existen rocas ni minerales, que sean verdaderamente ferromagnéticos.

Las susceptibilidades de algunos materiales son por su valor (10^{-5}), - propias de cuerpos paramagnéticos, pero no son inversamente proporcionales a la temperatura, sino que al principio aumentan con la temperatura hasta alcanzar un máximo a una cierta temperatura también llamada punto de Curie y luego decrece siguiendo la ley de Curie-Weiss. La baja susceptibilidad que estos materiales presentan por debajo del punto Curie puede ser explicada por la suposición de un estado ordenado de los átomos, tal que los momentos magnéticos - de átomos contiguos son iguales pero antiparalelos. De este modo, las dos subredes ordenadas, cada una de las cuales recuerda el estado de un cuerpo ferromagnético, se anulan mutuamente, con lo que el momento magnético total es cero. Este estado se llama antiferrromagnetismo y su existencia puede confirmarse por estudios de difracción de neutrones. Entre los minerales constituyentes de rocas la hematita es el más importante de los antiferrromagnéticos.

Existe entre los materiales antiferrromagnéticos una clase en la cual, - hay dos subredes de iones metálicos con sus momentos magnéticos ordenados antiparalelamente como en el caso general, pero en las que los momentos de las redes no son iguales, dando lugar a un momento resultante que no es nulo, incluso en la ausencia de un campo externo. Estos materiales se llaman ferrimagnéticos. Prácticamente todos los minerales que dan a las rocas alta magnetización son ferrimagnéticos, destacando entre ellos la magnetita, titanomagnetita, etc.

11.2. MAGNETISMO DE LAS ROCAS.

Las rocas presentan diferentes comportamientos magnéticos que dependen de las propiedades de sus minerales constituyentes y de la presencia de campos magnéticos.

La magnetización total de una roca está dada por la suma vectorial

$$J_t = J_i + J_n \quad (2.7)$$

en donde $J_i = k F_0$ es la magnetización inducida y J_n (MRN) es la magnetización remanente natural.

11.2.1. Magnetización Inducida y Remanente.

La magnetización inducida es la que adquieren las rocas cuando son expuestas a un campo magnético.

El magnetismo remanente natural (MRN) de las rocas depende de su composición mineralógica, origen, evolución y de los campos magnéticos presentes desde su génesis e historia geológica. El MRN representa la suma vectorial de varios MR de orígenes diversos, básicamente MR primario, adquirido en el tiempo de formación y MR secundario añadido posteriormente.

El MRN es originado por minerales de comportamiento ferrromagnético, principalmente por óxidos y sulfuros de hierro, los cuales representan generalmente un pequeño porcentaje de la composición total de las rocas.

El MRN en las rocas ígneas, principalmente en las extrusivas, es de mayor intensidad que el inducido (J_i), mientras que en el resto de las rocas dicha relación se invierte; esto puede observarse del análisis de los valores del Coeficiente de Koenigsberger "Q" (MRN/J_i). En las rocas ígneas y metamórficas sobre áreas continentales, Q toma un valor alrededor de la unidad para rocas bien cristalizadas, alrededor de 10 para rocas volcánicas, y de 30 a 50 para rocas basálticas de rápido enfriamiento.

Dado que la intensidad y la dirección de J_n están afectadas por la historia geológica y estructura de las rocas, es necesario conocer para la inter

pretación de anomalías magnéticas observadas los valores actuales de estos - parámetros.

A continuación se describirán los MR presentes en rocas ígneas (Cox y - Doell, 1960; Nagata, 1961) y en forma breve los otros tipos de MR existentes.

En las rocas ígneas, la componente mayor del MRN es el MR térmico - (MRT); éste es generado al enfriarse el magma original desde temperaturas mayores que las del punto de Curie y de bloqueo de sus minerales magnéticos - constituyentes, hasta la temperatura del medio ambiente bajo la influencia de un campo magnético (ver fig. 11.9). Las temperaturas de Curie y de bloqueo (a la cual aumenta el tiempo de relajamiento y el magnetismo se congela) son características de cada mineral.

En términos generales, la dirección del MRT es paralela a la del campo magnético terrestre (ver fig. 11.10); es decir, que si el campo magnético terrestre poseía sentido contrario al actual en el tiempo de adquisición del - MRT, entonces dicho magnetismo será de polaridad reversa al campo magnético - terrestre actual (magnetización reversa). Cabe enfatizar que este magnetismo reverso depende del campo magnético terrestre y no del material en sí, sin - embargo, situaciones poco frecuentes, ciertos materiales pueden adquirir un - MRT con sentido contrario al del campo magnético terrestre ambiental (auto-reversión). Estos casos son raros, de aquí que las reversiones se deban a cambios de polaridad del campo magnético terrestre en el transcurso del tiempo. Entre otras características se tienen:

La intensidad es relativamente grande, aún considerando campos magnéticos débiles, tales como el terrestre; además, el MRT es muy estable comparado con los otros MRN, es muy resistente a procesos de desmagnetización y tiene - factores de relajación pequeños, por lo que permanece a temperatura ambiental, invariable por largos periodos.

El MR isotérmico (MRI); este se origina en presencia de un campo magnético a temperatura constante e inferior a la de Curie, por ejemplo, en el caso de los rayos, por lo que es frecuente en las rocas situadas en los lugares topográficamente elevados. Su intensidad es proporcional a la del campo magnético, bajo límite de saturación y en general es menor que la del MRT (Nagata,

1961) (ver fig. 11.11).

El MR viscoso (MRV); éste se adquiere por exposición a los efectos de un campo magnético durante largos períodos y depende de las propiedades del material y del intervalo de exposición (ver figs. 11.12, 11.13).

La adquisición de MRV es un fenómeno de activación térmica y el cociente de adquisición puede aumentarse con la temperatura, lo que produce MRV y -MRT parciales (V-MRTP), los cuales son muy estables (ver fig. 11.14).

El MR químico (MRQ); originado por cambios químicos debido a procesos de cristalización, de oxidación o de metamorfismo, ocurridos a temperaturas inferiores a la del punto de Curie. En las rocas sedimentarias continentales, tales como arenisca, lutita y limolita roja, el MRQ es el componente principal y su estabilidad es comparable al MRT.

El MR piezométrico (MRP); se presenta por los efectos de magnetoestricción generados en las rocas por la acción de esfuerzos, depende de las características magnéticas del material y de la orientación de los esfuerzos.

El MR detrital (MRD); se genera por la orientación de las partículas magnéticas en un campo magnético; su estabilidad depende del tamaño del grano de los sedimentos y del proceso de depósito.

El MR anistérico (MRA); se produce debido a la influencia de dos campos magnéticos, uno constante y otro de polaridad variable y decreciente (ver fig. 11.15).

El MR rotacional (MRR); recientemente descubierto por Wilson y Lonax (1972) durante ensayos de desmagnetización por campos magnéticos alternos.

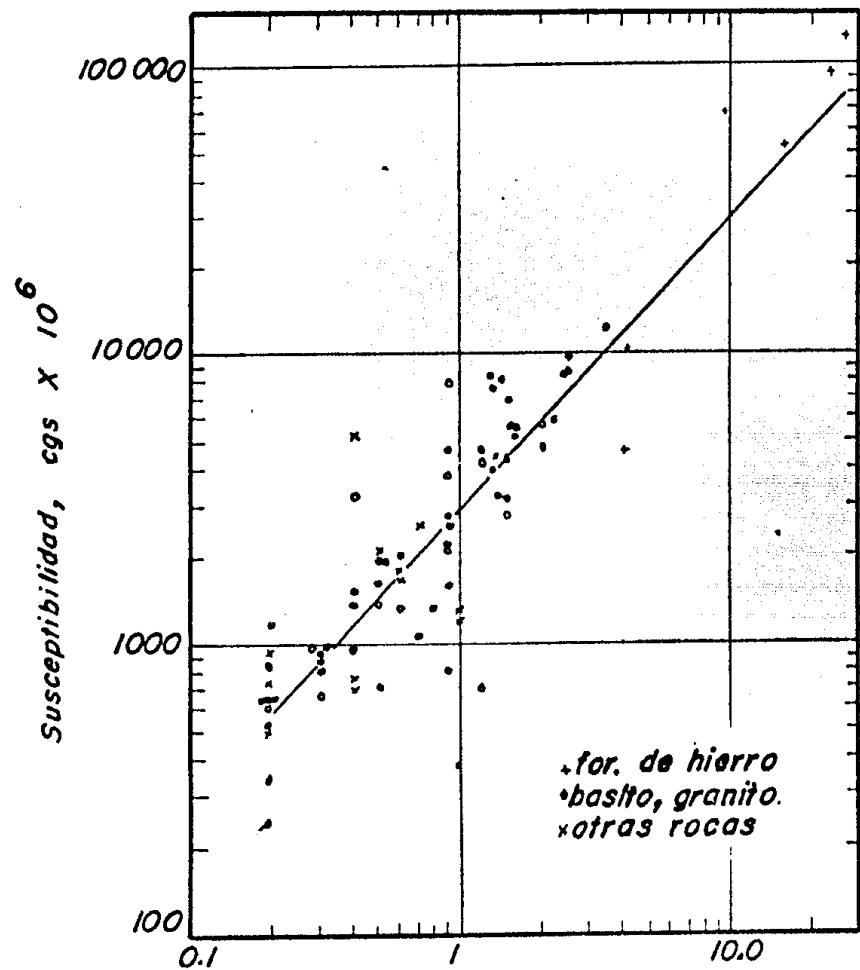


Fig II. 1 Datos de los cuales la fórmula empírica para la susceptibilidad $K=2.89 \times 10^{-3} V^{1.01}$ fue derivada

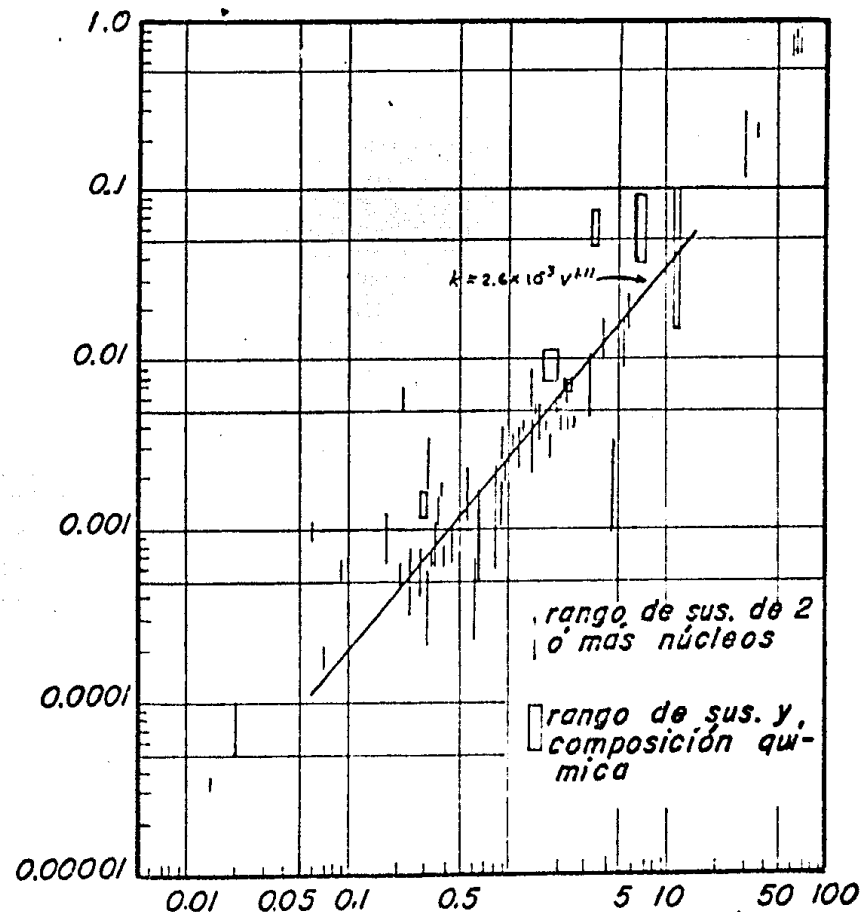


Fig II. 2 Datos de los cuales la fórmula empírica de la susceptibilidad $K=2.6 \times 10^{-3} V^{1.11}$ fue derivada

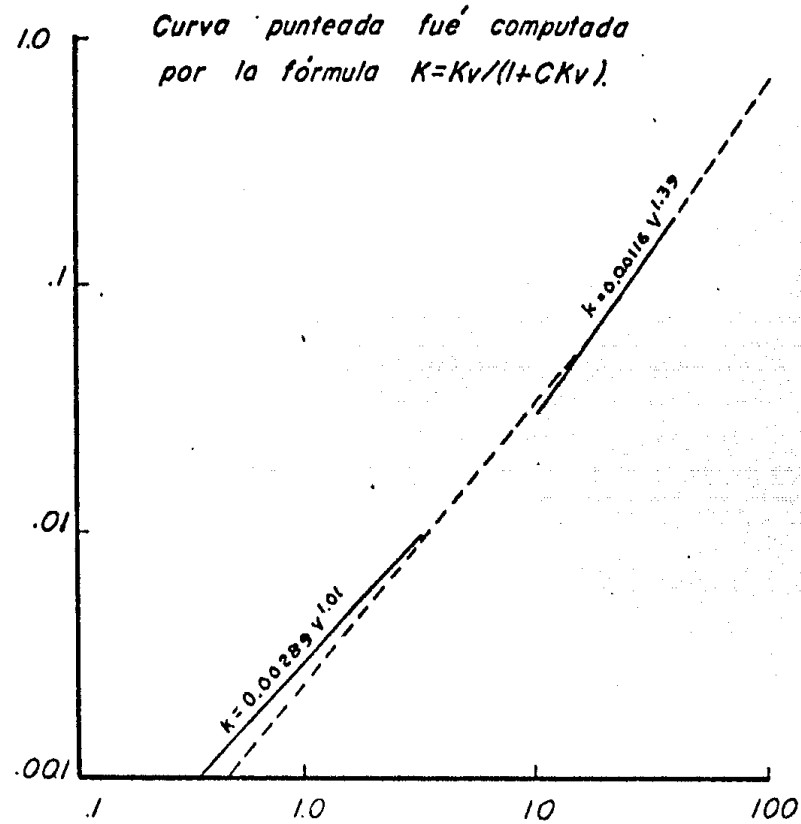


Fig II.3 Comparacion de $K=0.00116 V^{1.39}$ con curvas publicadas por Mooney y Bleifuss (1951) ($K=0.00289 V^{1.01}$) y Werner (1945) ($K = Kv / (1 + CKv)$).

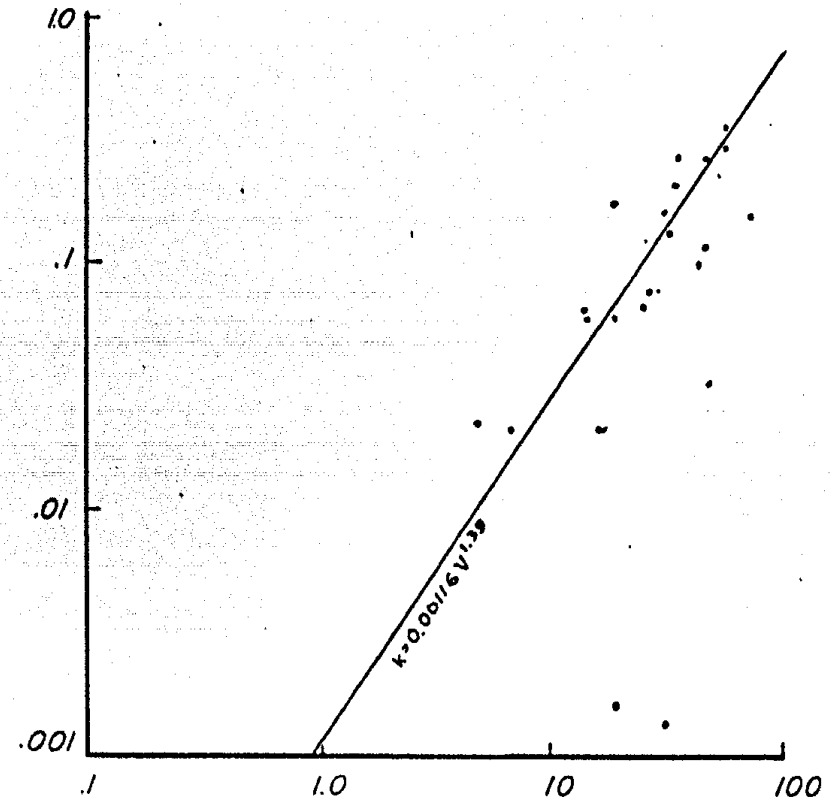


Fig II.4 Susceptibilidad magnética contra contenido de magnetita

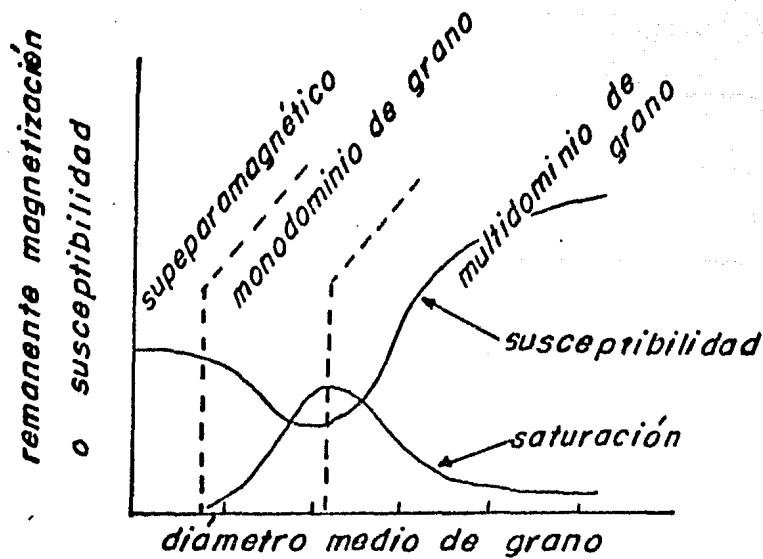
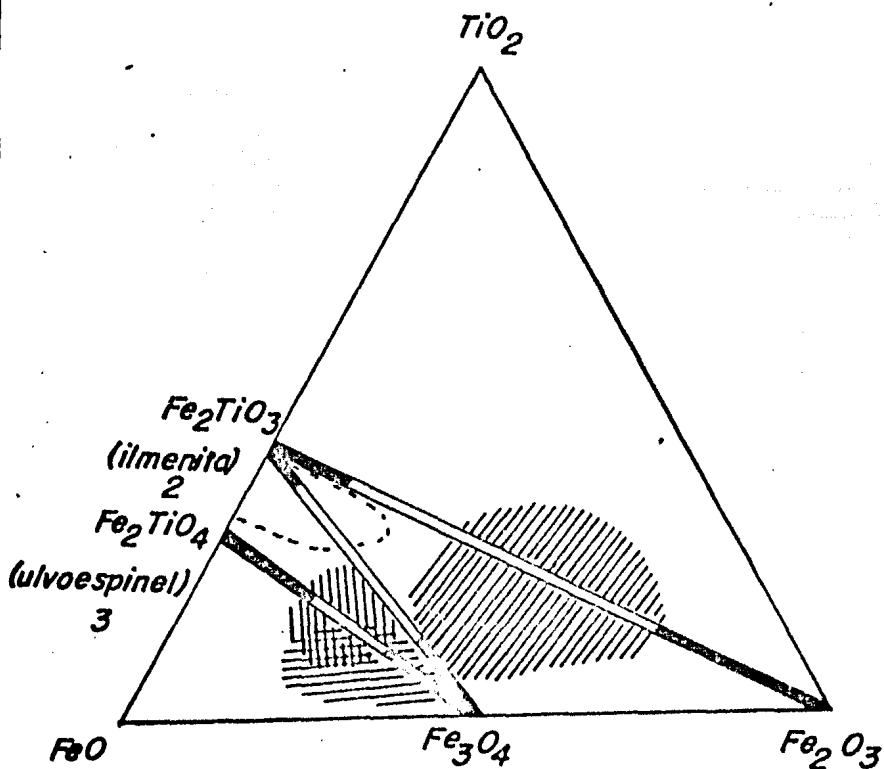


Fig. II.5 Variación de la susceptibilidad y la magnetización remanente con el tamaño de grano



soluciones de 2 fases investigadas

1000°C

||||| ígneas básicas

≡≡≡ ígneas ácidas

|||| metamórficas

(hematita) 5

(maghemita) 6

- 1 Región de no cristalización del magma
- 2 Romboedral, (a 5.523 Å), Temp. de Curie = 100-150°C, Ms = 0.2 emu/g
- 3 Espinelo inverso, Temp. de Curie < 0°C
- 4 Espinelo inverso, Temp. de Curie = 580°C, Ms = 93 emu/g
- 5 Romboedral, Temp. de Curie 675°C, Ms = 0.2 emu/g
- 6 Espinelo inverso, Temp. de Curie > 300°C, Ms = 83.5 emu/g

Fig. II.6

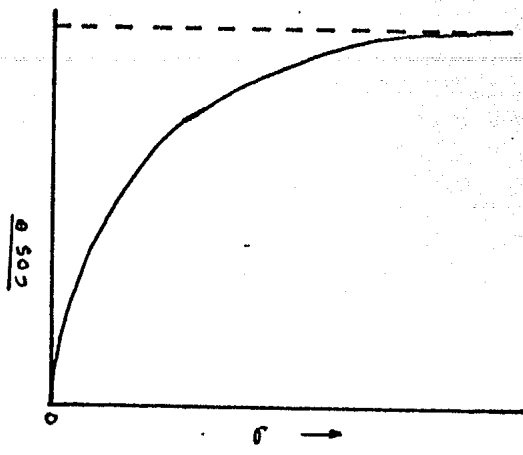


Fig.II.7 Función de Langevin

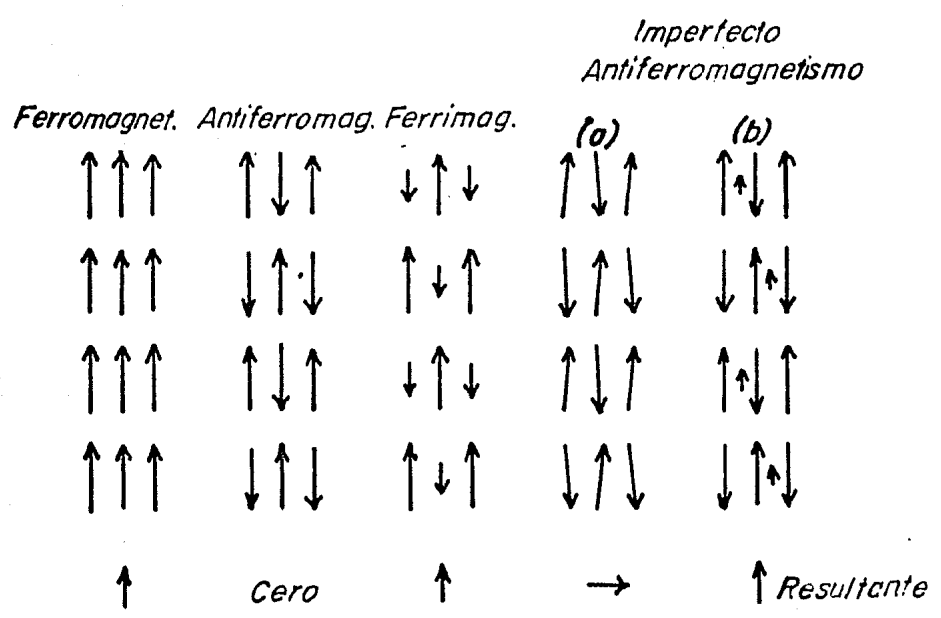


Fig.II.8 Esquemática representación de la magnetización espontánea en cristales. Los arreglos representan los momentos elementales.

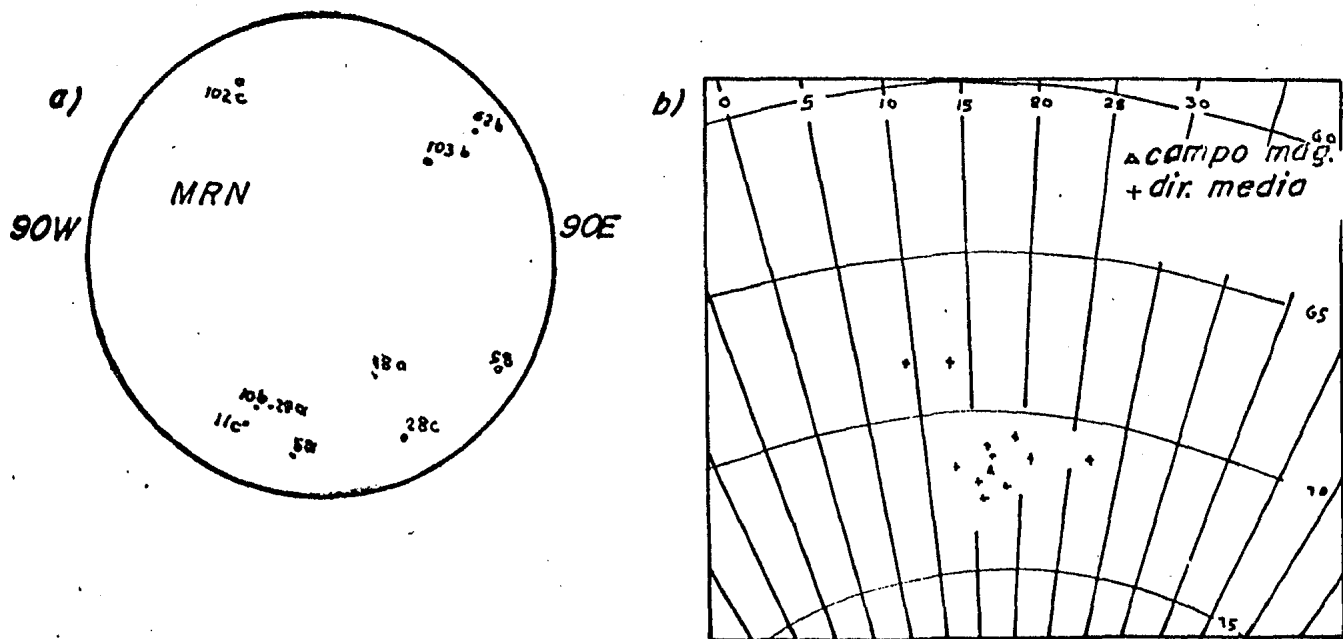
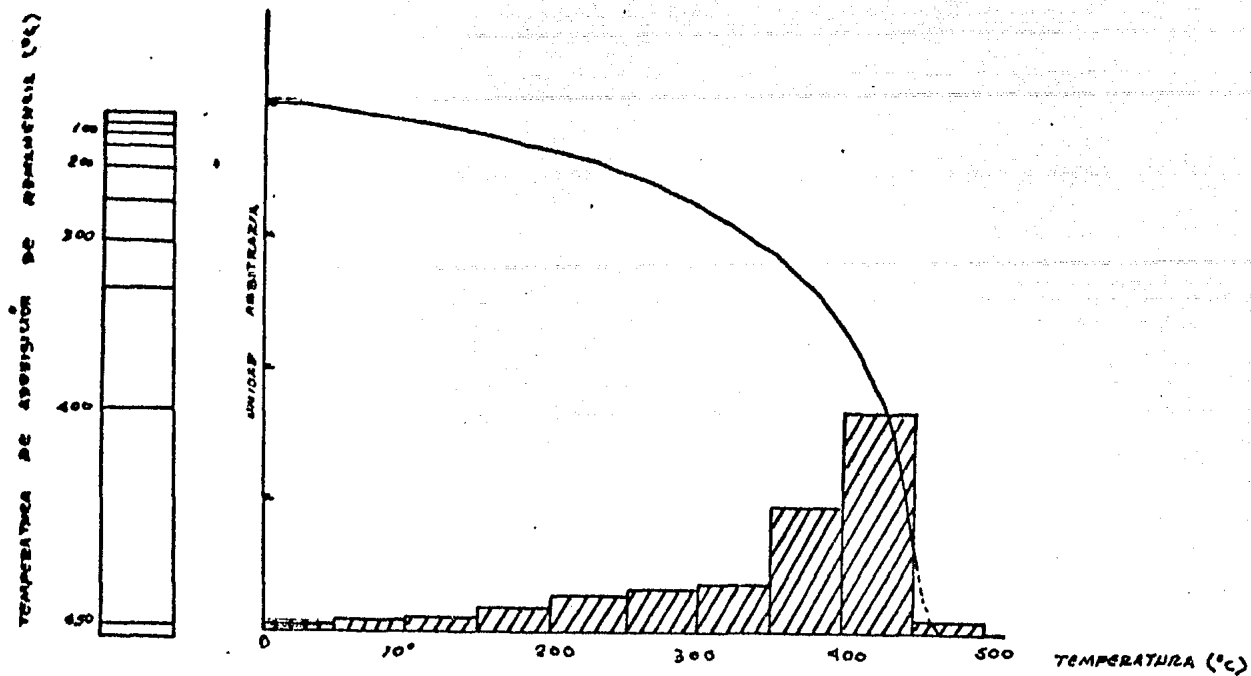


Fig II.10 Dirección de MRN trazada en una rejilla b) dirección de MRT obtenida en el laboratorio y la dirección del campo

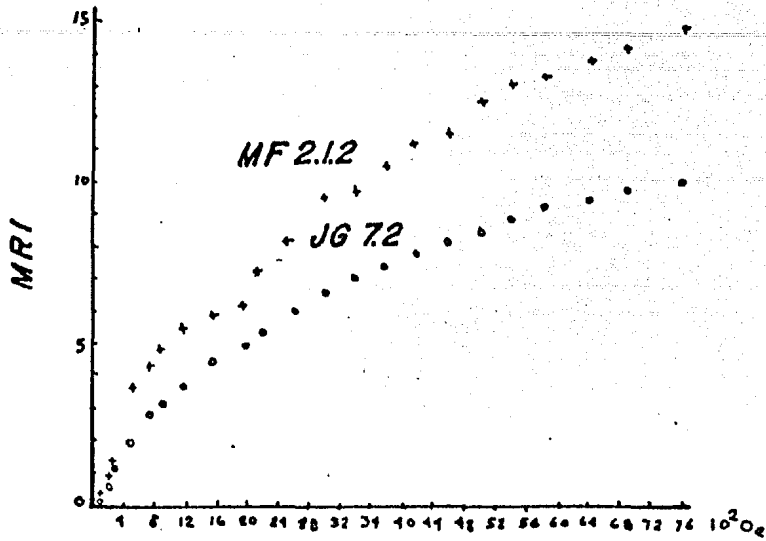


Fig. II.11 Curvas de adquisición de MRI para rocas ígneas muestreadas en Jalisco

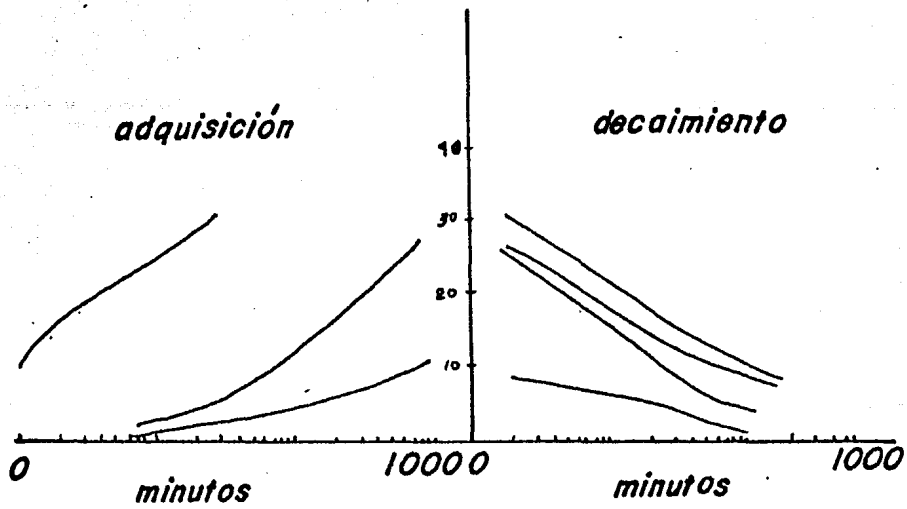
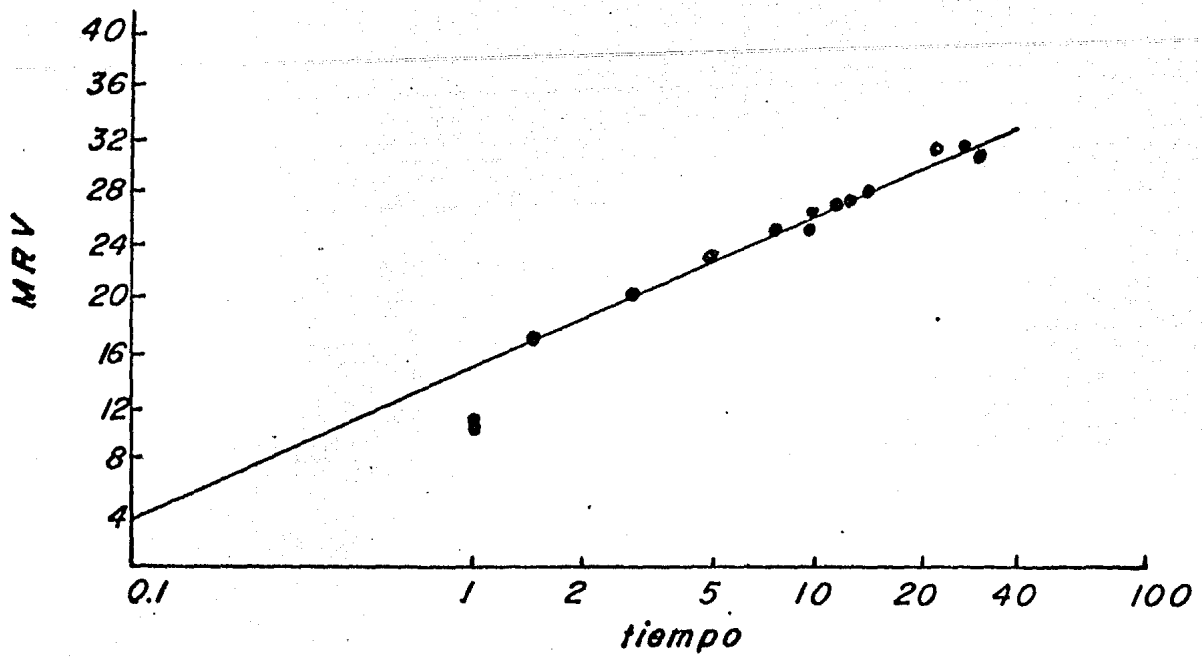


Fig. II.12 Corto tiempo de adquisición de MRV



a) magnetización observada en muestras de granito en un período mayor de 1 hora

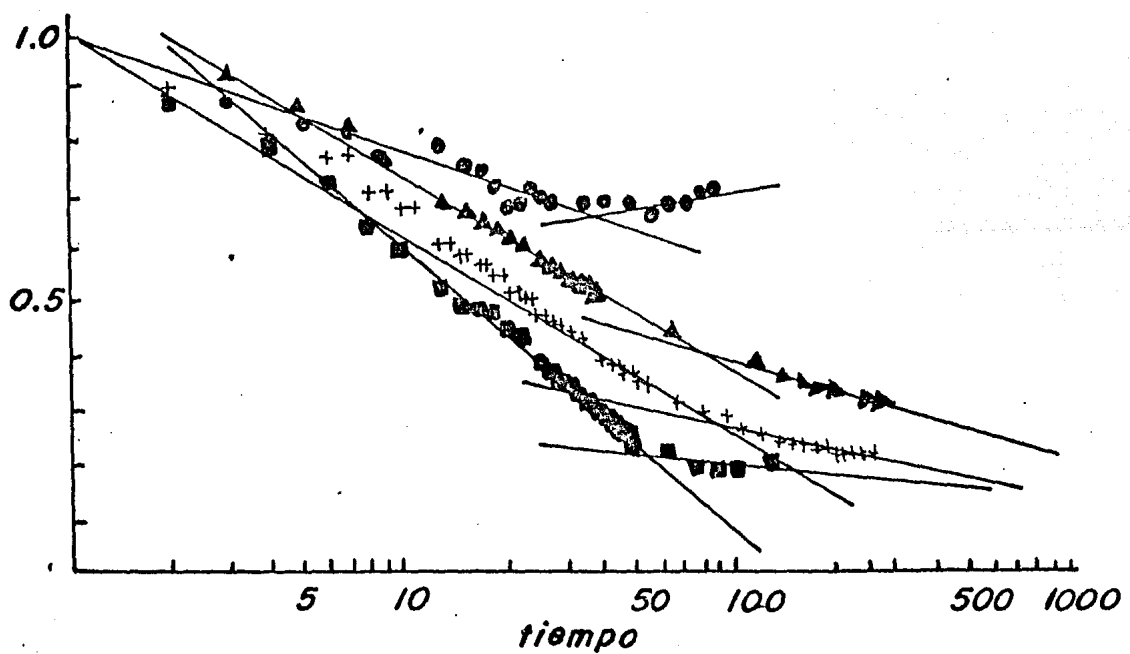
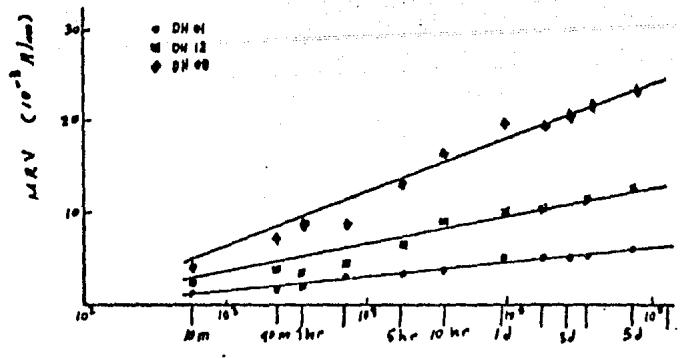


Fig II.13 b) Resultados de experimentos de decaimiento de magnetización mostrando variaciones en tiempo: (●) 1 min. (▲) 10 min; (■) 17 min.

a)



b)

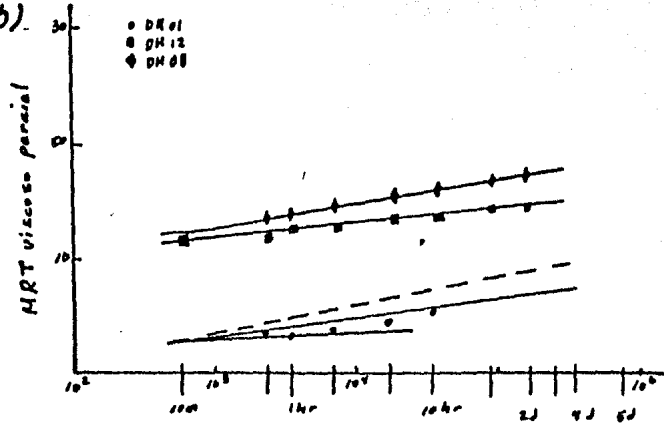


Fig II.14 a) Adquisición de MRV incrementando el tiempo de exposición en un campo magnético a temperatura de habitación b) Adquisición de MRT viscoso parcial a temperatura de 100°C

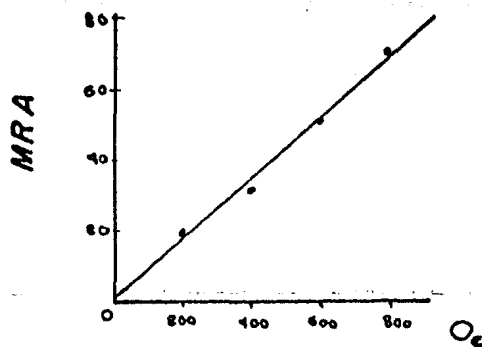
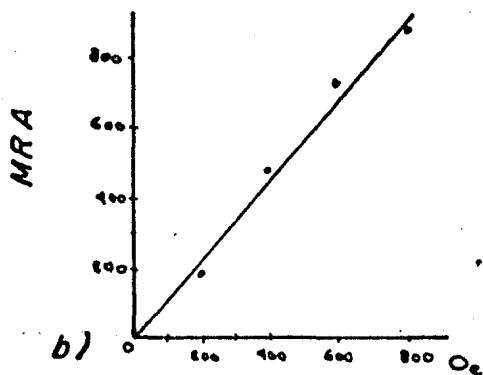
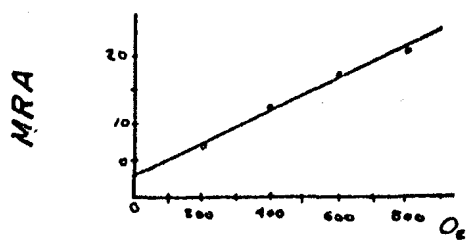


Fig II.15 Curvas de adquisición de MRA (b) para lavas e intrusivos.

III. CAMPO GEOMAGNÉTICO.

Desde hace siglos el hombre ha conocido y utilizado al campo magnético terrestre (Campo Geomagnético), aún cuando no se conocían exactamente las causas que lo originaban.

El campo geomagnético está compuesto de tres partes principales que son:

- i) campo magnético principal, de carácter dipolar y de origen interno (aunque no es constante, su variación es lenta a lo largo del tiempo).

- ii) campo magnético externo, de carácter no-dipolar, es una pequeña fracción del campo principal, varía más rápido y se origina fuera de la tierra. Parece estar asociado con corrientes eléctricas en la capa ionizada de la atmósfera exterior.

- iii) campo magnético no dipolar interno, usualmente pero no siempre, es mucho más pequeño que el campo magnético principal.

III.1. CAMPO MAGNÉTICO PRINCIPAL.

La teoría de la dínamo trata de explicar que el origen del campo magnético principal es causado por la circulación de corrientes eléctricas en el núcleo externo. Estas corrientes eléctricas posiblemente fueron creadas por irregularidades químicas que separaron las cargas, actuando como una batería, cuya acción generó las primeras corrientes eléctricas. Realmente no es tan importante el pensar cómo se generaron estas corrientes sino como éstas pudieron crecer y perpetuar un campo magnético.

Para la explicación de esta teoría se deben asumir dos condiciones; la primera que exista materiales ferromagnéticos, y la segunda, que exista movimiento en el núcleo externo.

Las evidencias presentadas por la sismología, basadas en el análisis de las ondas de cizalla nos muestra que el núcleo externo es fluido, además se asume razonablemente que el material principal del núcleo está compuesto de una aleación de hierro-níquel con algunas impurezas disueltas.

Durante muchos años se ha sabido que el campo magnético es irregular y

que cambia constantemente con el tiempo, aunque no conocemos exactamente las causas de estos cambios. Estos cambios pueden ser explicados a partir de las celdas de convección (ver fig. III.1)

Se cree que el origen de estas celdas es debido a la energía térmica - que se libera del núcleo y que generan corrientes de convección similares en cierto modo a las que se generan al calentar un fluido en un recipiente. Las pequeñas heterogeneidades en la constitución química del núcleo también podría producir pequeños movimientos en el fluido. Otra posible fuente de energía - del dínamo es debida a la precesión del eje de rotación, este es un movimiento de precesión diferencial entre el núcleo externo y el manto.

III.1.1. Elementos que constituyen al Campo Geomagnético.

Si una aguja imantada, se coloca en cualquier punto de la superficie terrestre, ésta puede orientarse en torno a su centro en cualquier posición del espacio. Esta es la dirección del campo magnético total sobre ese punto. La magnitud de este campo, F , la inclinación de la aguja con respecto a la horizontal, I , y su declinación, D , ángulo formado con el norte geográfico, definen completamente al Campo Geomagnético (ver fig. III.2).

Otros elementos del Campo Geomagnético son la componente vertical de éste, Z , su componente horizontal H , X e Y componente de H . Todos estos elementos se relacionan mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} F^2 &= H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \\ H &= F \cos I ; Z = F \sin I \\ X &= H \cos D ; Y = H \sin D \end{aligned} \tag{3.1}$$
$$\begin{aligned} \operatorname{tg} I &= Z / H \\ \operatorname{tg} D &= Y / X \end{aligned}$$

En gran parte del hemisferio norte, el extremo N de la aguja se inclina hacia abajo y se define el polo positivo, mientras que en el hemisferio sur el

extremo S adopta una posición análoga definiéndose el polo negativo.

La magnitud de F sobre el polo norte y sur magnético es 0.6 y 0.7 respectivamente; el mínimo valor que ha alcanzado es de 0.25 oersted, ocurre en el Océano Pacífico, al norte de Chile. En algunas localidades el valor de F es mayor de 30 oersted, ocasionando anomalías magnéticas (tales como yacimientos de hierro).

III.2. VARIACIONES TEMPORALES DEL CAMPO GEOMAGNETICO.

Desde que fue posible medir periódicamente alguna de las componentes del Campo Geomagnético en un mismo punto de observación, se vio que éste cambia su dirección y magnitud. Estas variaciones temporales pueden descomponerse en seculares, diurnos lunares, diurnos solares y tormentas magnéticas.

La Variación Secular.

Son las alteraciones del Campo Geomagnético que van progresando lentamente durante décadas o siglos. Se observan por pequeñas desviaciones en la declinación, inclinación y en todas las componentes del campo (ver fig. III.3).

Medidas de la intensidad magnética de la tierra realizadas en los últimos cien años indican que el momento magnético total está decreciendo a la velocidad de 1/500 de su valor total por año. De continuar esta variación, hacia el año 3000 el momento magnético será la mitad del actual.

La revolución aparente de los polos magnéticos en torno al eje de rotación, es el cambio secular más claro. Este cambio se pone de manifiesto por cambios simultáneos y periódicos de la declinación e inclinación en puntos en los que se vienen realizando registros magnéticos (ver fig. III.3).

Las variaciones seculares parecen estar relacionadas con el campo magnético interno. Hay un ciclo de variación cada once años, tanto en la intensidad vertical como en la horizontal, que parece que están relacionadas con los periodos de mayor frecuencia de manchas solares.

Variación Diurna.

Son los disturbios magnéticos menores pero más rápidos, tienen una perio

dicidad de aproximadamente 24 horas y una amplitud de 25 gammas por término medio. Son las más importantes en la exploración geofísica. Esta variación puede clasificarse en dos tipos: en los días tranquilos, la variación es suave, regular y de poca amplitud, puede ser descompuesta en componentes que pueden ser predichas y que tienen periodicidades solares y lunares. Cuando la variación es menos regular y está asociada a tormentas magnéticas, son los días inquietos, (ver fig. III.4).

Variación Diaria Solar.

Sucede en los días magnéticamente tranquilos, pone de manifiesto una periodicidad definida de 24 horas, que depende solamente del tiempo local y de la latitud geográfica (ver fig. III.5). Su intensidad es del orden de 30 gammas, aunque su amplitud decrece durante el verano en cada hemisferio.

Se cree que la variación solar diurna sea debido al efecto del sol sobre las corrientes eléctricas de la atmósfera terrestre externa; las variaciones de estas corrientes ocasionan a su vez variaciones en el campo geomagnético que ellas inducen en la superficie terrestre.

Variación Lunar Diurna.

Se le llama a los disturbios de los elementos magnéticos terrestres que tienen una periodicidad de unas 25 horas y una amplitud quince veces menor que la de la variación solar diurna. Se supone que estas variaciones están en relación con la rotación terrestre con respecto a la luna, y varían cíclicamente a lo largo del mes.

Tormentas Magnéticas.

Las tormentas magnéticas originan cambios drásticos en los elementos magnéticos que dependen previamente de la latitud. Entre el ecuador y los 60° de latitud las variaciones durante estas tormentas pueden llegar al valor de 100 gammas.

Existe relación con la actividad solar, que se manifiesta por su aparición junto con las manchas solares y en periodos de 27 días, lo mismo que la rotación solar.

111.3. VARIACIONES DE LARGOS PERIODOS DEL CAMPO GEOMAGNETICO.

Cambios de Polaridad.

La más notable de las características del campo geomagnético puesta en evidencia por los estudios paleomagnéticos, es su propiedad de cambiar la polaridad con el tiempo.

En un principio se pensó que ello podía ser consecuencia de cualquiera de las siguientes causas:

- i) que el campo geomagnético tuvo polaridad opuesta (reversa) a la actual -- (polaridad normal) en ciertos periodos de la historia terrestre, ó bien
- ii) que ciertas rocas de la corteza terrestre tienen la particularidad de adquirir remanencia magnética natural de sentido opuesto a la del campo geomagnético.

Dunn et.al. 1971, ha estimado que el cambio de sentido del campo durante una reversión de polaridad se lleva a cabo en unos 4000 años.

Las características más importantes del campo geomagnético en los últimos 4.5 millones de años (ver fig. III.6) son la duración de las épocas de una polaridad magnética predominante (del orden de millones de años) y los numerosos eventos de polaridad de breve duración (del orden de los 50 000 años).

Evidencia paleomagnéticas indican que el campo geomagnético tuvo características diferentes, en lo que a su polaridad se refiere, en otras épocas geológicas. El campo geomagnético tuvo polaridad reversa durante un lapso del orden de los 50 millones de años en el Paleozoico Superior, sólo interrumpidos por breves periodos de polaridad normal en la transición Permo-Cárbínicos y - en el Pérmico Medio.

Los cambios de polaridad del campo geomagnético son de carácter universal, y algunos de ellos definen niveles de referencia de igual edad, de gran utilidad para la correlación de formaciones geológicas.

Cabe también mencionar que la Cronología de los cambios de polaridad - del campo geomagnético válida para los últimos 4.5 millones de años (ver fig. III.6) ha permitido cuantificar la reciente teoría de la propagación ó esparcimiento de los fondos oceánicos.

Variaciones en la intensidad.

La primera evidencia de que el campo geomagnético tiene variaciones cuyos periodos son mayores a los cien años surgió del análisis de su intensidad.

La información disponible sugiere que la intensidad del campo dipolar ha sufrido una variación cíclica en los últimos 10000 años y que el decaimiento indicado por el análisis armónico de las observaciones disponibles - desde el año 1835 no es más que la parte más reciente de un hem ciclo que comenzó hace unos 5000 años y cuyo valor máximo fue de 12×10^{25} gauss.cm⁶⁹.

Las evidencias disponibles indican que la intensidad promedio del campo geomagnético durante sus periodos de polaridad normal y reversa ha sido - sustancialmente la misma; esto sumado al hecho que el campo ha tenido polaridad normal durante un tiempo total igual al que tuvo polaridad reversa, sugiere que estos dos estados del campo geomagnético tienen iguales niveles de energía.

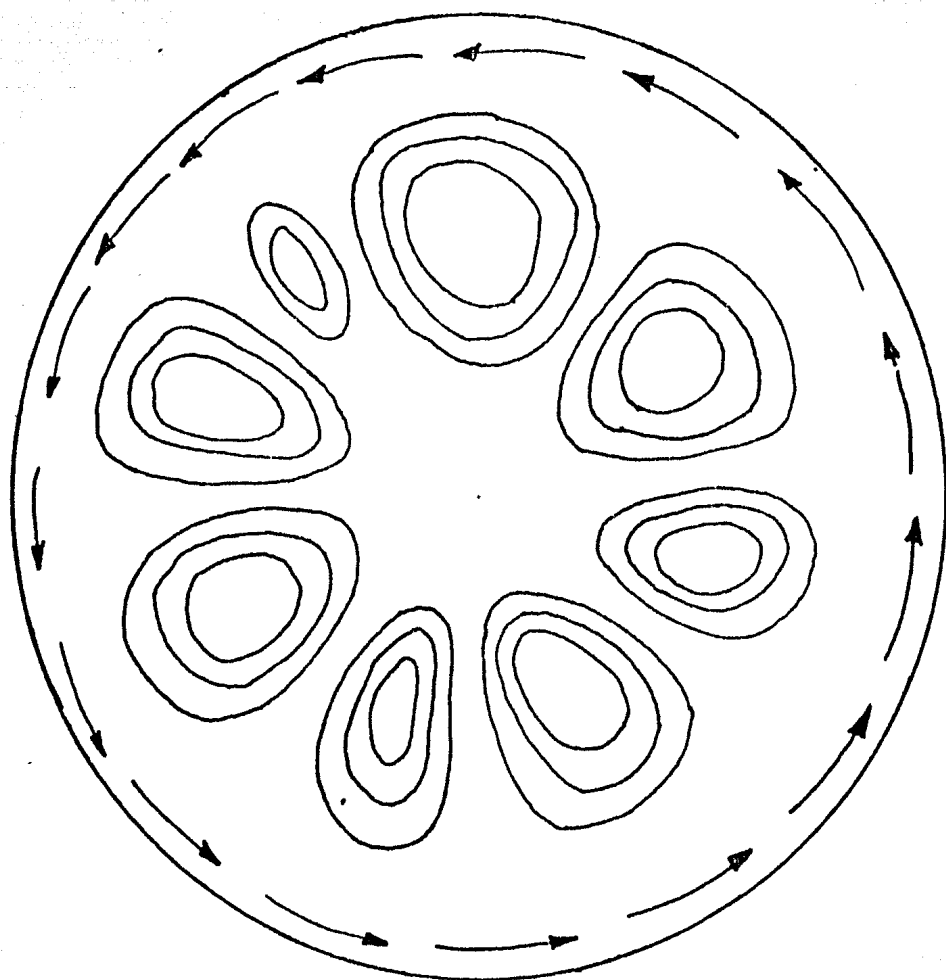


Fig III.1 Corriente circular eléctrica las cuales provienen del campo magnético terrestre. Este diagrama esquemático es una sección a través del Ecuador

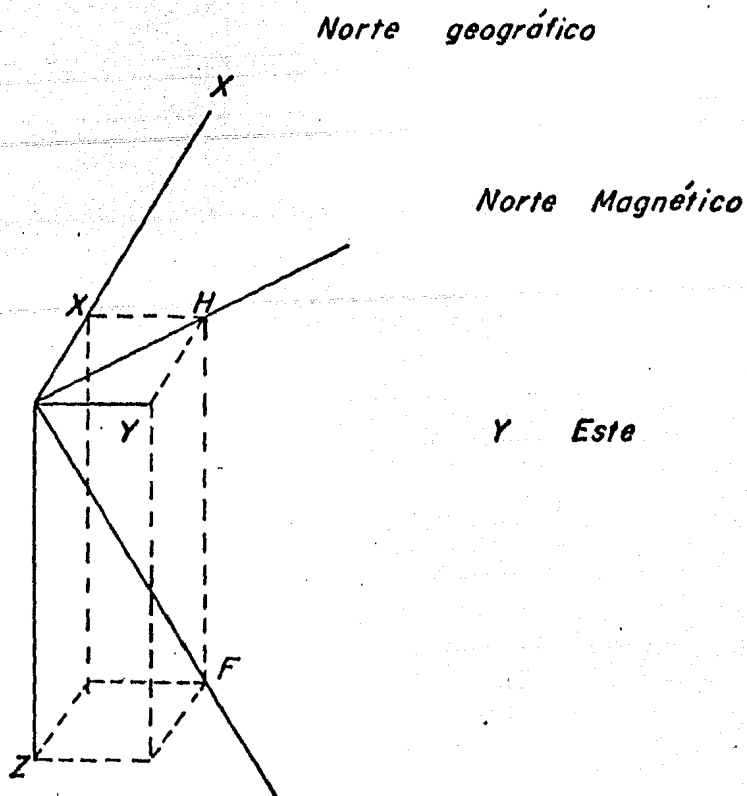


Fig. II. 2 Elementos del campo geomagnético

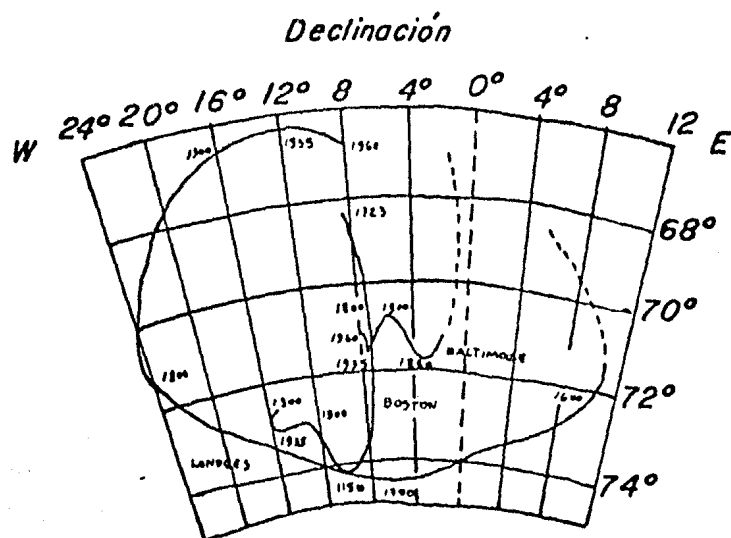


Fig III. 3 Cambio secular en la inclinación y declinación magnética en Londres, Boston y Baltimore.

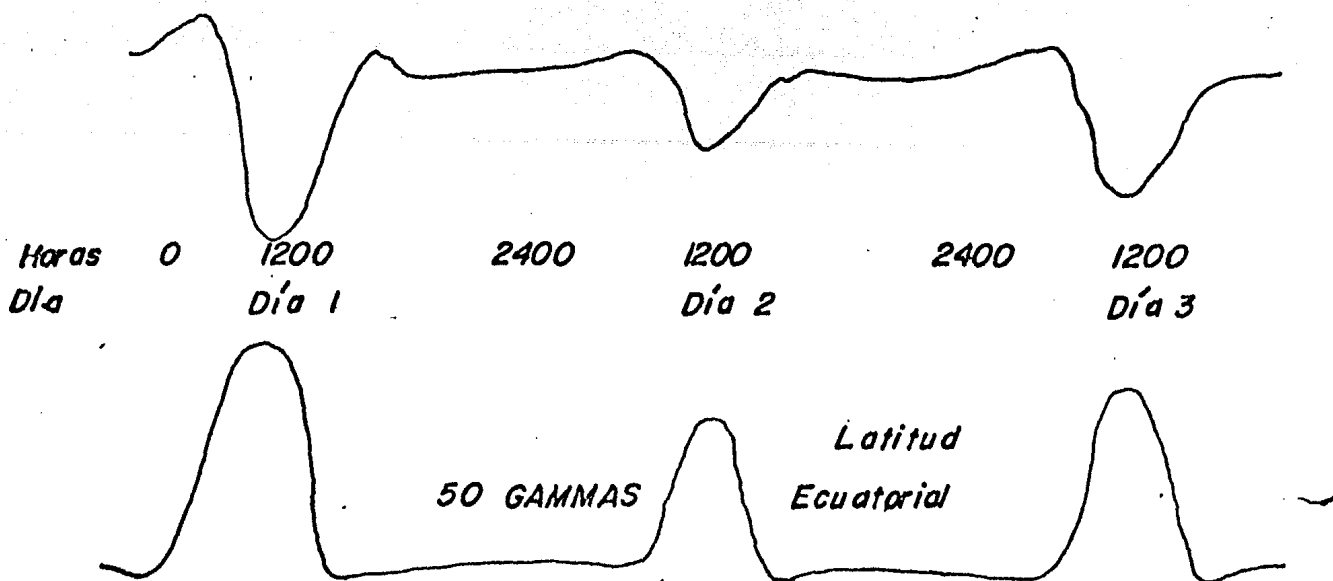


Fig. III.4 Variación diurna en la Intensidad del Camp Total

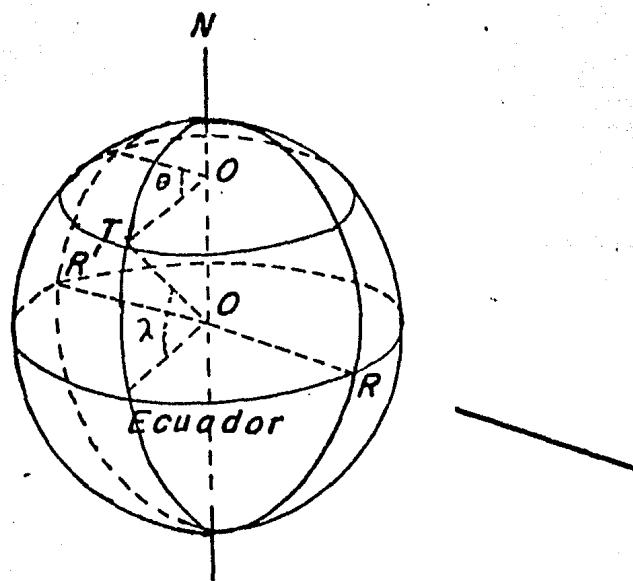


Fig. III.5

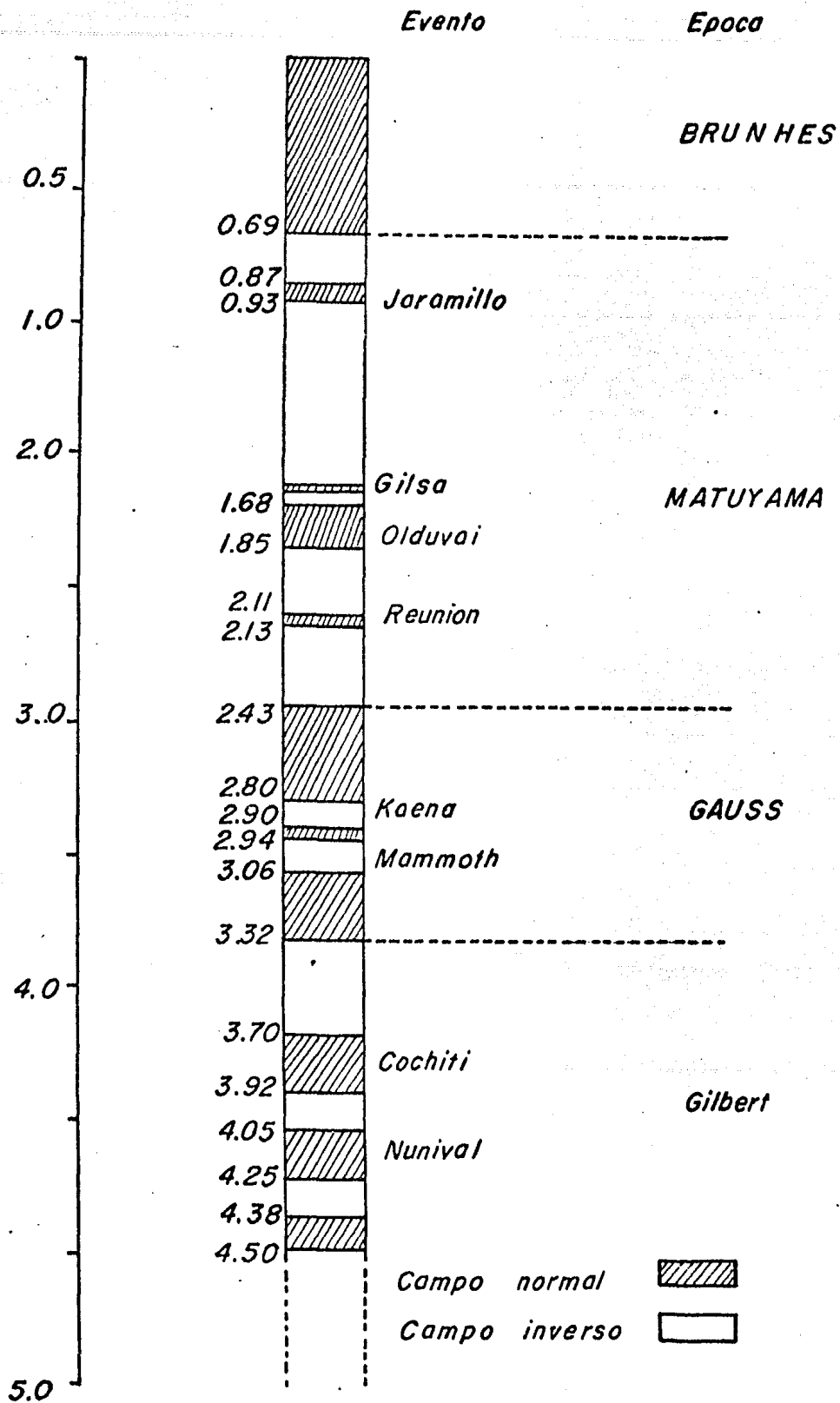


Fig III. 6 Escala de polaridad/tiempo para los últimos 4.5 millones de años

IV: MAGNETOMETRIA.

La Prospección Magnética es un método de exploración mediante el cual podemos conocer las propiedades magnéticas, estructura y forma de los cuerpos anómalos. Se realiza sobre la superficie terrestre, en el aire ó en el mar. - Estos métodos se seleccionan de acuerdo al área a estudiar y a los fines de la exploración. Por ejemplo, en la exploración del petróleo, generalmente se realizan levantamientos aeromagnéticos, con el fin de establecer la profundidad aproximada y el carácter de las rocas del basamento. En la exploración de minerales, para un reconocimiento del área de interés se usan levantamientos aeromagnéticos y para estudios más detallados, como verificación de anomalías se realizan levantamientos terrestres.

IV.1. INSTRUMENTACION.

La sensibilidad requerida en un instrumento magnético varía entre 1 gamma y 10 gammas para un campo magnético total de 50000 gammas. Estos instrumentos miden variaciones en el campo magnético. Algunos son diseñados para medir la componente horizontal, campo total, componente vertical. A continuación describiremos algunos de los instrumentos más usados en prospección.

Instrumentos de componente vertical.

Consiste de un imán aproximadamente horizontal (ver fig. IV.1) orientado perpendicular al meridiano magnético, de modo que la componente horizontal no ejerza efecto. El imán está en equilibrio sobre un cuchillo desplazado del centro de gravedad C , una distancia horizontal d y una vertical a . El campo magnético terrestre al actuar sobre los polos, como se representa, tiende a originar una rotación en sentido izquierdo y la fuerza de gravedad una rotación en sentido derecho. La posición de equilibrio es indicada sobre una escala graduada por un rayo de luz reflejado en un espejo fijado al imán. Al variar el campo vertical, se desplaza la posición de equilibrio y la diferencia de lecturas de la escala da la medida de la diferencia entre los campos verticales.

Instrumentos de componente horizontal.

Su uso es menos frecuente, es similar en su construcción al de componente vertical, excepto que las puntas del imán apuntan en dirección vertical. - Cualquier variación en la componente horizontal de la gravedad origina la rotación del imán, que es contrarrestada por un par de torsión gravitacional. La componente vertical del magnetismo terrestre afecta a la posición de equilibrio, y su valor aproximado debe ser sustituido, mediante la cual las lecturas son convertidas en variaciones de la intensidad horizontal.

Magnetómetro de flujo.

Consiste esencialmente de un núcleo de material magnético, de alta permeabilidad en campos magnéticos de baja intensidad. La figura IV.2 muestra un modelo; dos barras paralelas están colocadas en dirección opuesta, enrolladas por una espiral que transporta corriente a 1000 hz. Cada barra está enrollada por una espiral que transporta corriente directa. Si el campo gobernante es cero, las curvas de las dos barras magnetizadas son iguales y opuestas en todos los detalles y no hay campo externo a ser detectado (ver fig. IV.3). Sin embargo, si el campo no es cero, hay un cambio en la forma de la onda, relacionado con el voltaje inducido y las barras no están balanceadas. Hay un voltaje externo y ese voltaje es debido al campo magnético externo. Variaciones en la corriente de estas espirales son una medida de los cambios en el campo magnético.

Al tomar la lectura, es necesario orientar el elemento sensitivo, así - su eje es paralelo a la dirección del vector magnético. Si el núcleo no es orientado, la medida leída será menor que la intensidad del campo total.

Magnetómetro de precesión nuclear.

El magnetómetro de precesión nuclear depende de la medida de la frecuencia de precesión del protón, la cual ha sido polarizada en una dirección aproximadamente normal a la dirección del campo terrestre. El movimiento de los protones en una muestra de agua, kerógeno, alcohol, etc., se comporta como pequeños dipolos magnéticos en movimiento. Estos dipolos son temporalmente alineados ó polarizados por la aplicación de un campo magnético uniforme genera-

do por una corriente. Cuando la corriente es removida, el spin del protón les causa precesión alrededor de la dirección del campo magnético presente. La precesión del protón genera una pequeña señal cuya frecuencia es proporcional a la intensidad del campo magnético total e independiente de la espiral que produce la corriente (ver fig. IV.4). La frecuencia de precesión está dada por la relación $f = \gamma F / 2\pi$ en donde F es la intensidad del campo magnético y γ es la relación giro-magnética. Si el elemento activo es hidrógeno en agua, la relación giro-magnética es $\gamma_p = 23.4868$ hz/gamma, esta relación es una constante fundamental del núcleo y es independiente de su estado químico. Por lo que si la frecuencia de precesión es medida, la intensidad de F es determinada.

IV.2. TRABAJO DE CAMPO.

Levantamientos terrestres.

En los levantamientos terrestres el área estudiada es dividida por líneas sobre las cuales se van tomando las lecturas del campo magnético sea total ó vertical. Las estaciones sobre las líneas están separadas a determinada distancia, esta distancia es seleccionada de acuerdo a los fines de la exploración. Es recomendable que el personal que va haciendo las lecturas no lleve elementos que puedan afectar los registros.

Para las correcciones por variación diurna es necesario tener una estación base, ya sea dentro ó fuera del área, la cual va registrando la variación del campo magnético a lo largo del día, y también esta estación tiene que estar alejada de elementos que alteren al campo magnético.

Existe otro tipo de corrección que a veces es necesario hacer a los datos obtenidos, esta corrección es propia del instrumento, puede ser por deriva ó por temperatura.

Levantamientos aeromagnéticos.

Algunos de los magnetómetros descritos anteriormente han sido adaptados para trabajos aéreos. La sensibilidad requerida en estos instrumentos es generalmente más grande que la usada en la exploración terrestre. Una de las razones es la altura del vuelo a la cual se realizan estos levantamientos.

El plan del vuelo depende de la magnitud y extensión en superficie de las anomalías buscadas. Generalmente el plan del vuelo consiste en una red de vueltas alrededor de las cuales pueda ser eliminado, mediante un ajuste adecuado, cualquier diferencia de cierre debido a la deriva del instrumento ó a variaciones diurnas. Es recomendable repetir las lecturas sobre varias estaciones durante un día de vuelo, lo que puede ser hecho con un magnetómetro sobre tierra, que va registrando la variación diurna, ó usando una línea base en el centro del área. El levantamiento se intenta realizar a una altura de vuelo lo más constante posible, ya que la altura de vuelo afecta las mediciones.

Uno de los problemas en los levantamientos aéreos es correlacionar todas las lecturas con la posición del avión con respecto a tierra en el momen-

to en que las lecturas son tomadas. Uno de los métodos es que el piloto va fotografiando a cada cierto tiempo al área levantada. Las fotos y los registros magnéticos son controlados simultáneamente.

Generalmente en los levantamientos aeromagnéticos las variaciones que se miden son las del campo total, para su interpretación los procedimientos son más complicados, porque tanto la magnitud como la dirección varía para cada lectura, mientras que la magnitud es el único parámetro que se necesita tener en cuenta en las variaciones de componente vertical en los levantamientos terrestres.

Como hemos mencionado, los métodos de exploración se eligen de acuerdo a las necesidades a estudiar, claro, considerando también las limitaciones de cada método.

Por ejemplo, en los levantamientos aeromagnéticos, los materiales magnéticos que se encuentran sobre la superficie del suelo, tales como edificios, tuberías, etc., no afectan al registro, mientras que estas fuentes extrañas de magnetismo interfieren continuamente con el grado de utilización de los datos magnéticos obtenidos en tierra. Siendo esto una limitación del levantamiento terrestre.

Una ventaja del levantamiento aeromagnético es que los efectos de deriva de los instrumentos y de la variación diurna son menores, debido a la velocidad con que se realiza la exploración. Una desventaja es la precisión de los resultados que están siempre limitados por la exactitud del mapa en que se transcriben los datos magnéticos.

IV.3. INTERPRETACION.

Los resultados de levantamientos magnéticos, aéreos ó terrestres, generalmente se representan en un mapa magnético.

Uno de los objetivos de la interpretación magnética es encontrar las características y geometría de los cuerpos magnéticos causantes de las anomalías. Un problema grave es la ambigüedad existente en la interpretación (ver fig. IV.5), ya que para una anomalía dada existe una infinidad de cuerpos, posibles causantes de dicha anomalía. Esta ambigüedad se deriva de que la forma y amplitud de la anomalía dependen de varios factores, tales como:

- i) la geometría del cuerpo.
- ii) la dirección e intensidad de magnetización de las rocas que forman al cuerpo anómalo.
- iii) la dirección del cuerpo con respecto a la dirección del campo geomagnético.
- iv) la orientación de la línea de observación con respecto a los ejes del cuerpo.

Uno de los métodos más usados en la interpretación es el modelado. En esta técnica, se proponen cuerpos y se calculan las anomalías que éstos producirían y después se comparan la anomalía calculada con la observada. Los parámetros de los cuerpos tales como propiedades magnéticas, longitud, ancho, profundidad se van modificando hasta que las anomalías coincidan de manera adecuada.

Existen otras técnicas, usadas para resaltar anomalías importantes, eliminar ruido, etc.. Las técnicas que se usan más comúnmente son: continuaciones analíticas, primera y segunda derivada, reducción al polo.

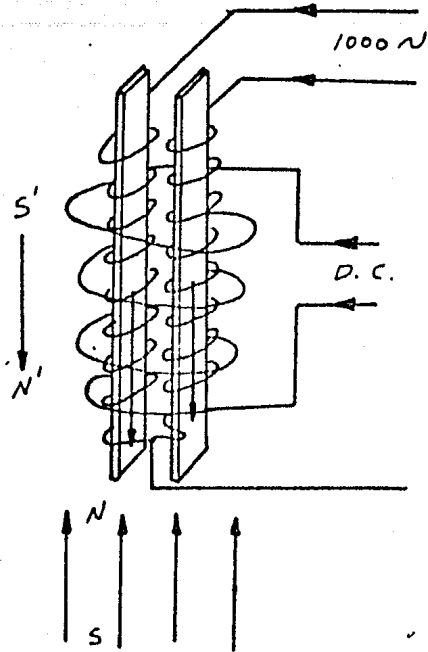


Fig IV.2 Principio de operación del magnetómetro de flujo

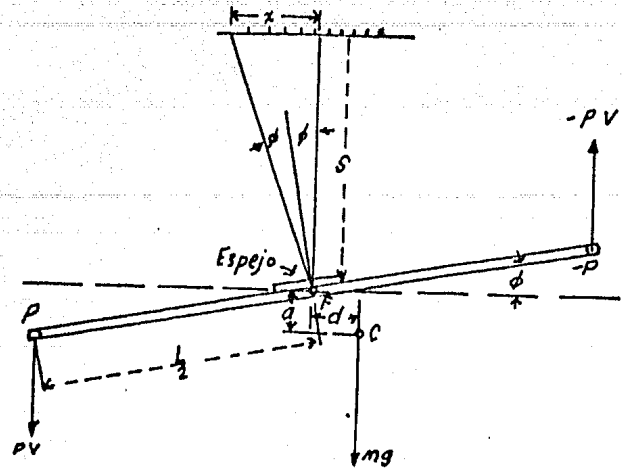


Fig IV.1 Principio básico de instrumentos de componentes vertical y horizontal.

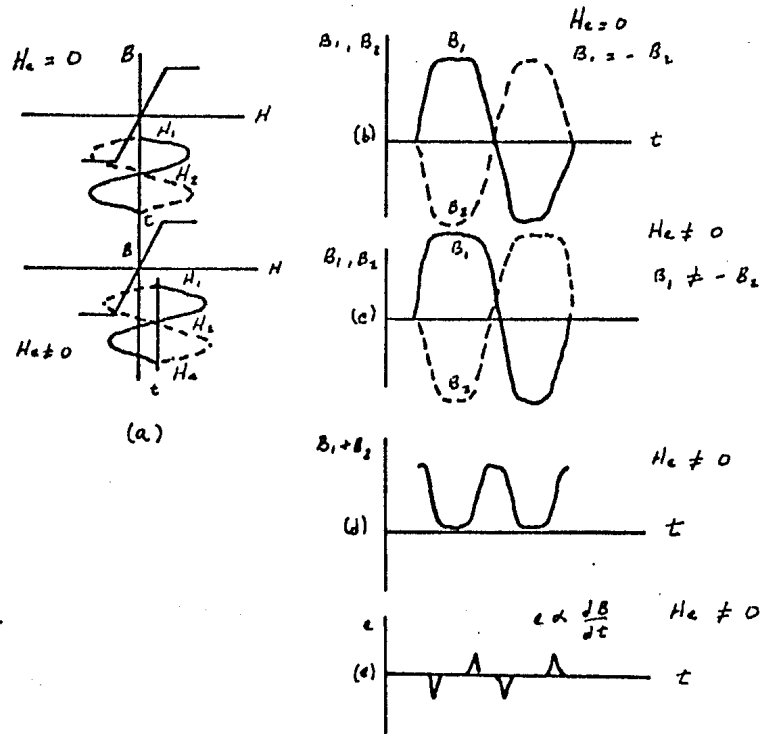


Fig IV.3

Principio básico del magnetómetro de flujo:
 a) Magnetización de los núcleos, b) gráfica del flujo en los núcleos para $H_c=0$, c) -- gráfica del flujo en los núcleos para $H_c \neq 0$; d) sumas de flujos en los dos núcleos para $H_c \neq 0$; e) voltaje de salida para $H_c \neq 0$

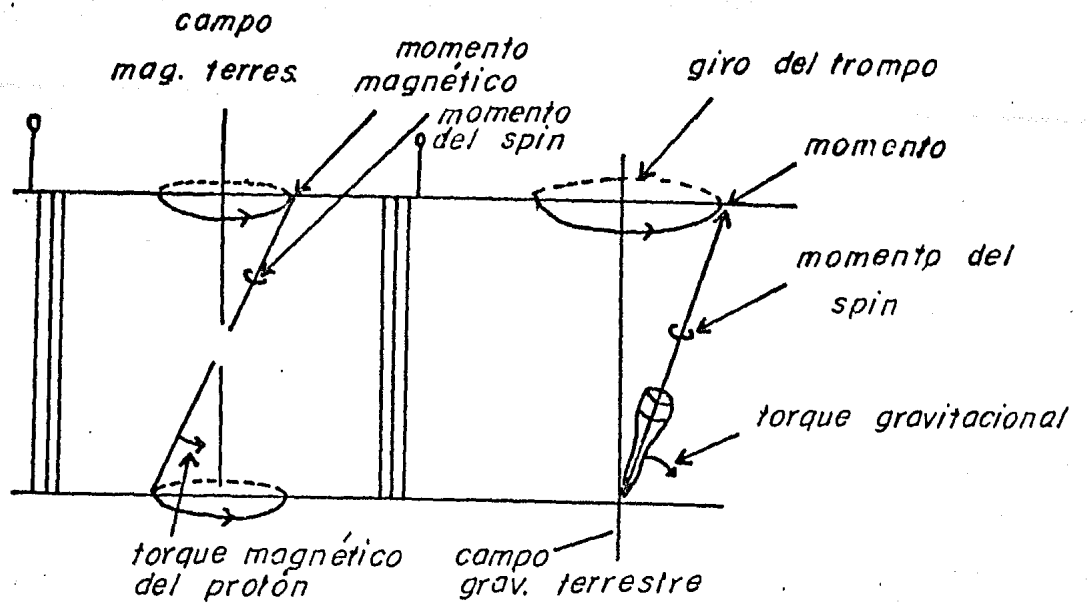


Fig. IV. 4 *Precesión del protón y su analogía con el movimiento del trompo*

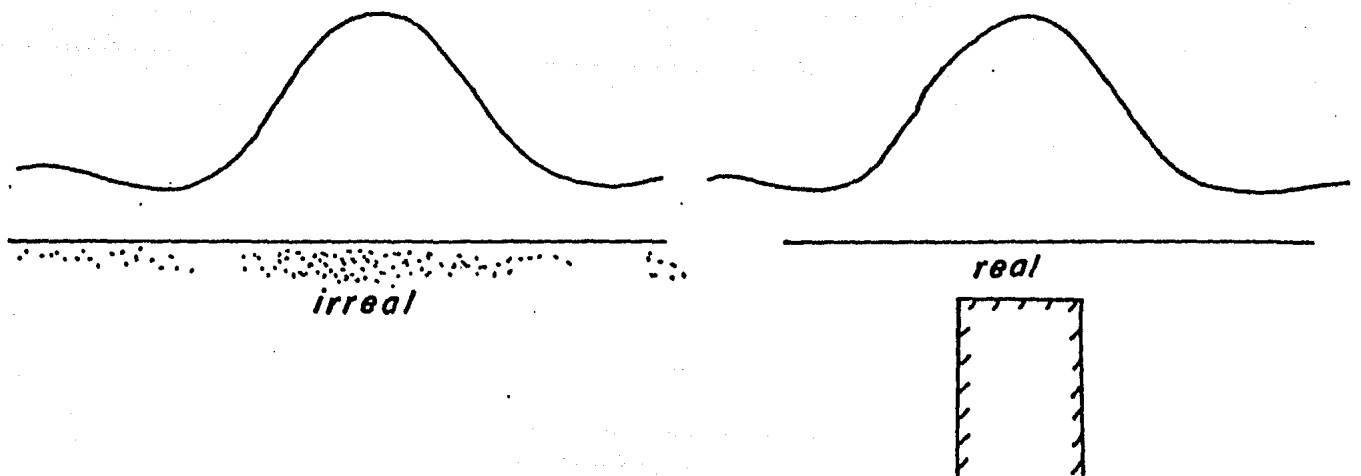


Fig. IV.5 *Posibles fuentes geológicas produciendo la misma anomalía*

V. GEOLOGIA DE LA REGION DEL SUR DE MICHOACAN.

V.1. AREA DE ESTUDIO.

El área de estudio se localiza en la parte sur del Estado de Michoacán, (fig. V.1).

Esta área se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre del Sur (fig. V.2); la cual está limitada por el Eje Neovolcánico, las entrantes sedimentarias correspondientes a la Cuenca Morelos, Guerrero y a la Cuenca de Tlaxiaco y por la Sierra de Juárez.

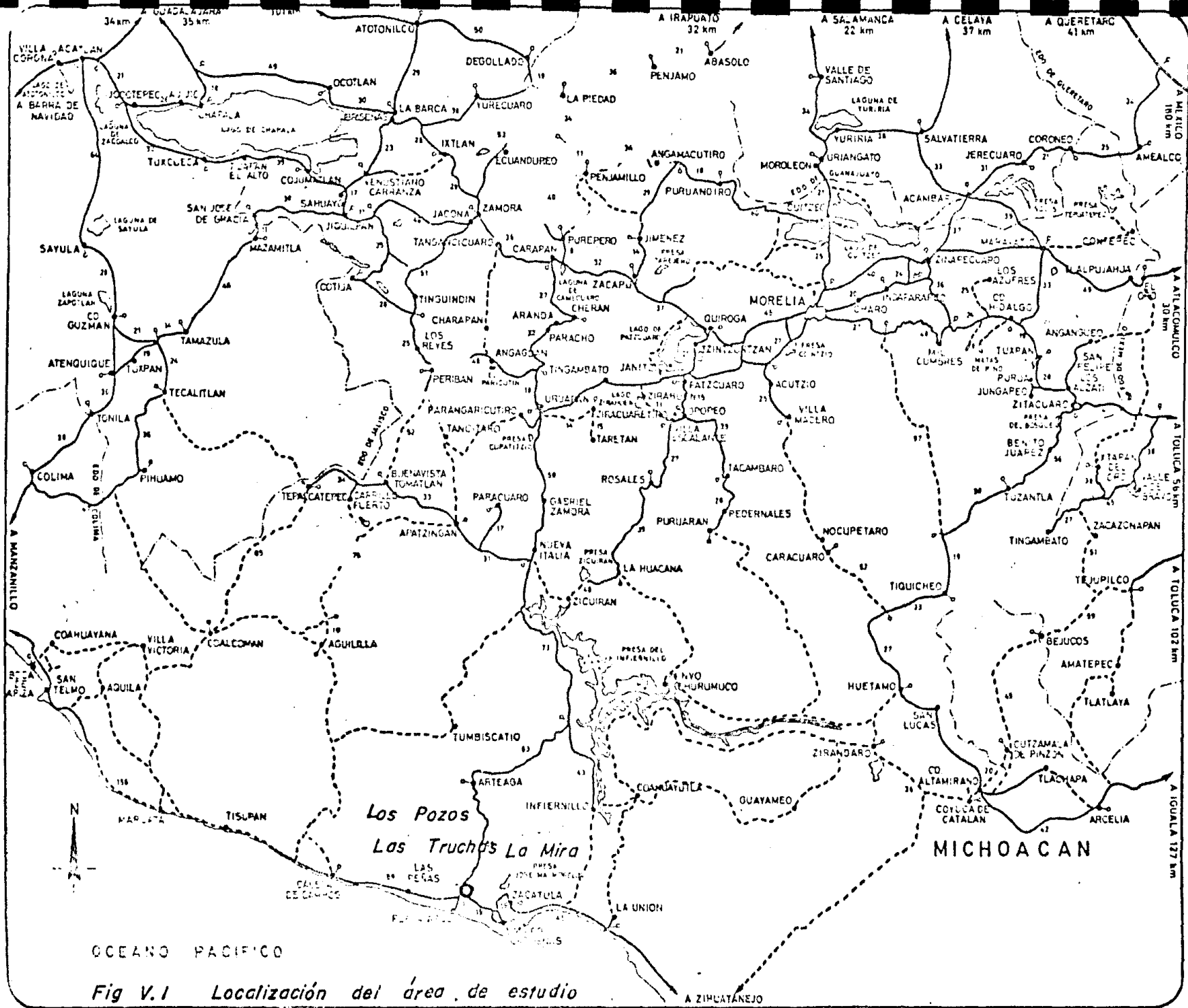
La Provincia consiste de una cadena montañosa que ocupa la parte meridional de las tierras altas centrales, dando frente al Océano Pacífico y extendiéndose al W del Istmo de Tehuantepec. La Provincia incluye, además de las montañas del mismo nombre, la cuenca del Balsas y todas las tierras altas que limitan al Sur la Sierra y la Costa del Pacífico.

La Sierra Madre del Sur tiene como basamento rocas cristalinas y metamórficas, calizas plegadas y otros sedimentos clásticos asociados con ellas, lavas e intrusiones.

El segmento más septentrional de la Sierra Madre del Sur está formado por afloramientos de secuencias mesozoicas, tanto sedimentarias de plataforma como volcánicas sedimentarias de tipo arco insular volcánico-mar marginal. Las zonas correspondientes al noroccidente de Guerrero, occidente del Estado de México y Sur de Michoacán, conforman una región con afloramientos volcánico-sedimentarios del Jurásico y Cretácico, parcialmente metamorfosados, que se encuentran cubiertos por las rocas volcánicas y sedimentarias continentales del Cenozoico. El segmento meridional de la Sierra Madre del Sur está formado por extensos afloramientos de rocas metamórficas que alcanzan un rango geocronológico que varía del Paleozoico al Mesozoico y que se encuentran afectados por emplazamientos batolíticos del Mesozoico Superior y aún del Cenozoico. La región pacífica de la Sierra Madre del Sur correspondiente a los Estados de Colima, Michoacán y norte de Guerrero, presenta afloramientos extensos de rocas volcánicas andesíticas interestratificadas, con capas rojas de limolita,

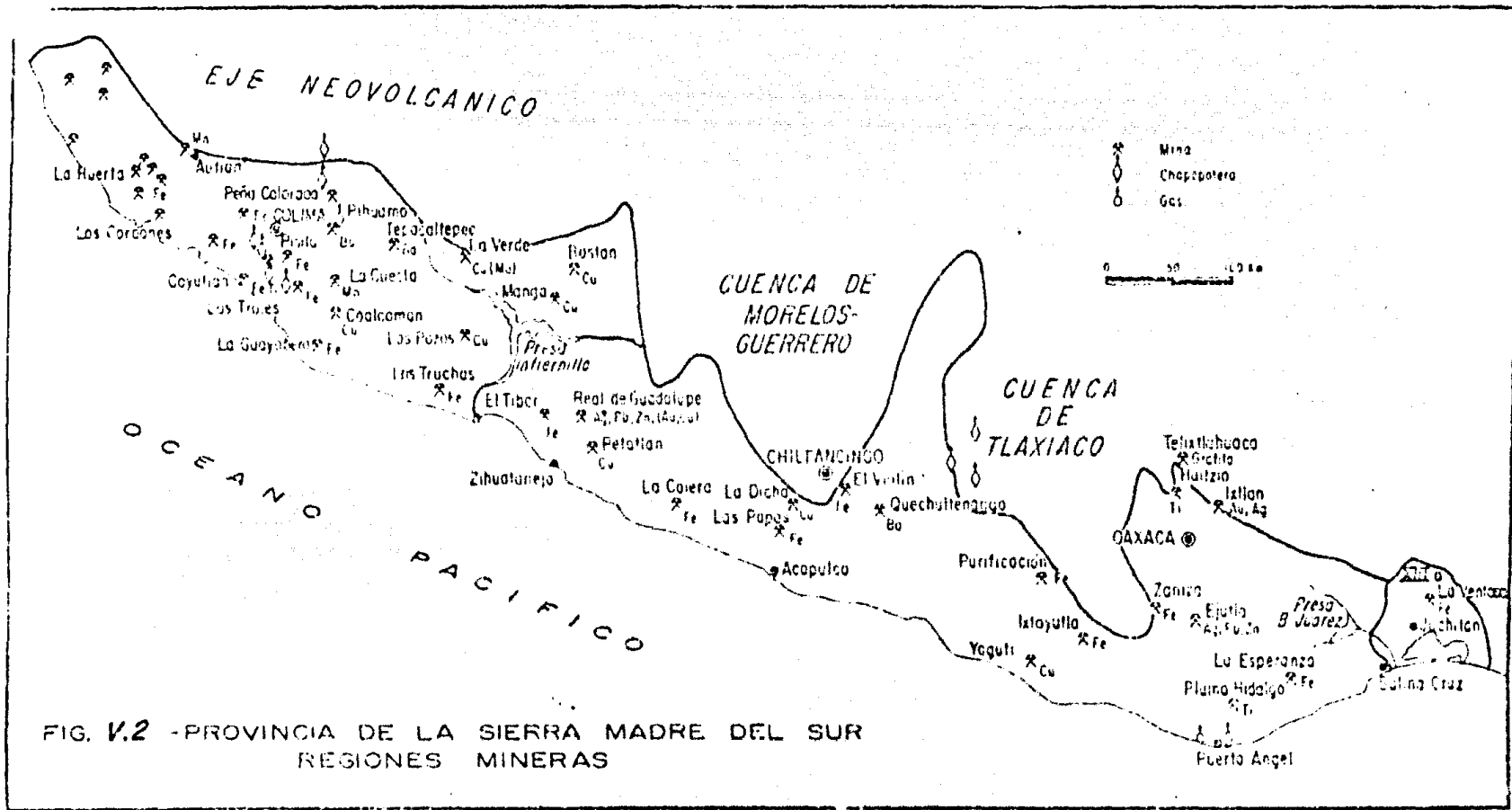
conglomerado volcánico y capas de caliza subarrecifal, con una macrofauna - del Albiano.

En una banda situada a lo largo de la Sierra Madre del Sur se localizan numerosos yacimientos de hierro que constituyen la región con mayores reservas en el país. El origen de estos yacimientos se atribuyen a procesos de metasomatismo de contacto, desencadenados por el efecto de intrusiones ácidas e intermedias del Cenozoico Inferior en las calizas cretácicas. Entre los más importantes yacimientos de hierro que se conocen en esta región se encuentran los de Peña Colorada, en Colima; Pehuamo, en Jalisco; Las Truchas en Michoacán y el Violín y Tíber, en Guerrero.



OCEANO PACIFICO

Fig V.1 Localización del área de estudio



V.2. LOS POZOS.

Localización y Vías de Acceso.

El yacimiento de hierro Los Pozos, se encuentra situado a 25 km al WSW de Arteaga, Michoacán. Cubre una superficie de aproximadamente 42 km², lo limitan las siguientes coordenadas de Mercator.

x 760 000 a 767 000

y 2.023000 a 2.029000

Una de las vías de acceso es por el camino de terracería que parte del poblado de Arteaga al campamento maderero Los Pozos. Este camino tiene una longitud aproximada de 35 km. Del campamento se continúa al poniente por el camino de herradura hasta el río Chuta, en donde se encuentran los afloramientos de mineral de hierro.

Geología.

La base de la columna geológica del área está constituida por rocas metamórficas. Subiendo estratigráficamente encontramos gneises y esquistos que afloran en una gran parte de la porción norte del área. Sobre los esquistos descansa una serie de rocas volcánicas afectadas por procesos de metamorfismo dinámico y de contacto, las cuales se han clasificado como hornfels; se encuentran bien expuestos en la porción central del área. En la margen izquierda de Barranca Blanca, los hornfels están parcialmente cubiertos por pizarras, las que a su vez subyacen a una sección de lutitas con algunas intercalaciones de margas. Unos afloramientos de caliza se encuentran a unos 200 m al sur del rancho La Huerta y en el filo montañoso El Orjantal, en ambos casos están descansando discordantemente sobre hornfels.

Las rocas ígneas intrusivas están representadas por stocks de granito y cuarzo dionita, que afloran al NW de los yacimientos y al oriente del rancho La Huerta, así como por numerosos diques de composición básica a intermedia que afloran principalmente en zonas adyacentes a los yacimientos.

Además de los hornfels antes mencionados, el proceso de mineralización por hierro dio origen a una gran variedad de rocas metamórficas de contacto, derivadas de caliza.

Características y distribución de los yacimientos minerales.

La mineralización por hierro en el yacimiento de Los Pozos se desarrolló en zonas de fracturas, con rumbos predominantes al NW y echados variables al NE y SW, conformándose estructuralmente en forma de vetas con sus correspondientes ensanchamientos y ramificaciones en rocas metamórficas de contacto, entre las que resaltan los hornfels básicos íntimamente asociados al mineral, así como mármol en parte reemplazado por hierro, acción que tuvo lugar en la parte superior de los cuerpos del mineral.

Los diferentes procesos de erosión y tectonismo que afectaron al yacimiento, permiten ver afloramientos, varios de ellos con posibilidades de integrar un mismo cuerpo, otros dan la impresión de estar dislocados por fallamiento, sin embargo, persiste una notable alineación de sus afloramientos a lo largo de una franja. Dichos afloramientos forman parte de cuerpos de hierro cuya posible extensión en el subsuelo es interpretada por magnetometría.

V.3. LAS TRUCHAS.

Localización y Vías de Acceso.

Los afloramientos de Las Truchas están distribuidos en una superficie a proximada de 14 km², ocupando la cima de los cerros conocidos con los nombres de Santa Clara, El Campamento, Truchas, El Volcán, Valverde, El Tubo, La Barrera y Leopardo. Estos cerros forman parte de la vertiente sur-occidental del macizo montañoso conocido en la región como Sierra de Arteaga, que a su vez forma parte de la Sierra Madre del Sur, la que se extiende a lo largo de una parte de la costa del Pacífico y hacia el extremo sureste de la Sierra Madre Occidental.

Los yacimientos se localizan dentro del municipio de Melchor Ocampo, - Edo. de Michoacán, a 4.5 km en línea recta al noroeste del poblado costero - denominado Playa Azul.

Geología.

Los yacimientos de hierro de Las Truchas se encuentran situadas en las estratificaciones de la Sierra Madre del Sur, en la vertiente que da directamente al Océano Pacífico, habiéndose formado éstos como consecuencia de movimientos orogénicos y por la intensa actividad magmática que durante el Terciario produjo intrusiones graníticas, granodioríticas, monzoníticas y dioríticas principalmente, así como derrames volcánicos de gran importancia.

Las rocas plutónicas al intrusionarse en el terreno de mayor antigüedad dieron origen a depósitos minerales que se formaron en el contacto del cuerpo intrusivo con las rocas sedimentarias y metamórficas preexistentes.

Las rocas expuestas en el distrito de Las Truchas varían en edad desde el Cretácico Inferior (Albiano?) hasta el Reciente. Únicamente en los escasos remanentes de caliza dejados por la erosión, fueron encontrados fósiles en muy mal estado de conservación, debido a fenómenos de metamorfismo o intemperismo; por lo que las edades del resto de las rocas aflorantes, fueron inferidos por métodos indirectos.

Las rocas sedimentarias están representadas por calizas, conglomerados

andesíticos, abanicos fluviales, detritos marinos, terrazas fluviales y aluviales de edad Reciente.

Las rocas ígneas expuestas se encuentran representadas por dioritas, - dioritas cuarcíferas, granodioritas; diques de pórfidos aplíticos, andesíticos, granófiros y cuerpos pequeños e irregulares de pórfido andesítico. En los contactos del intrusivo diorítico con la caliza, se formaron los minerales de hierro, así como numerosos productos de metamorfismo de contacto tales como anfibolita, skarn, hornfels y brechas autoclásticas. La marmorización es prominente y la silicificación ha sido un proceso metamórfico de menor cuantía.

Características y distribución de yacimientos minerales.

Los cuerpos de hierro del yacimiento de Las Truchas, se presentan en forma de masas discontinuas dentro de una área general. Dentro de esta área se encuentran una serie de cuerpos de hierro que se encuentran esparcidos en toda su extensión, aunque aproximadamente formando conjuntos que se han agrupado en la forma siguiente: afloramientos al poniente del Volcán, El Volcán, Las Truchas, El Mingo, El Campamento, Santa Clara, La Bandera, Potrero de Tánita, El Leopardo, Valverde, El Tubo y El Bordón.

Los afloramientos de los cuerpos de hierro, desde el punto de vista morfológico, están constituidos por grandes masas aisladas de óxidos de hierro de contornos muy irregulares aunque tendientes a la forma lenticular, que afloran constituyendo prominencias notables.

Por el estudio de las áreas de metamorfismo, así como por las posiciones relativas del intrusivo, del mineral de hierro y de la caliza, se consideran las siguientes observaciones:

Los cuerpos de hierro están contenidos en la roca diorítica. Esto podría hacer pensar que la mineralización se formó totalmente dentro del intrusivo sin la intervención de ningún otro factor, sin embargo lo más probable es que estemos viendo en realidad la superficie erosionada de la zona de contacto entre la caliza y la diorita, en donde la caliza ha sido casi totalmente removida por la erosión dejando únicamente remanentes del contacto representa

dos por los afloramientos de hierro y las áreas de metamorfismo; así parece - sugerirlo el hecho de que todos los afloramientos, considerados en forma gene-
ralizada, tienen una extensión superficial muy grande comparada con su espe-
sor.

Origen de estos yacimientos.

Tomando en consideración la naturaleza de las áreas de metamorfismo, la posición y morfología de los cuerpos de hierro con respecto a la roca intrusi-
va y a la caliza, los contactos gradacionales entre el hierro y la caliza, la
naturaleza de los minerales de ganga asociados al hierro y los datos obteni-
dos en el estudio de muchos otros yacimientos de hierro cercanos y afines al
de Las Truchas, se puede inferir que los cuerpos ferríferos de Las Truchas -
se han formado por reemplazamientos de la caliza, en ó cerca del contacto con
un cuerpo intrusivo con el que están asociados en origen. En efecto la zona -
mineralizada muestra las características generales que presentan muchos yaci-
mientos de metasomatismo de contacto, los cuerpos de hierro tienen contornos
muy irregulares; en términos generales, se localizan en ó cerca del intrusivo
con la caliza; en muchos lugares se nota gradación ó bandeamiento entre el mi-
neral y la caliza; y por último, es también notable la asociación del mineral
con masas de calcita de grano grueso probablemente provenientes de la recris-
talización de la caliza, lo mismo que con silicatos de alta temperatura en su
mayoría cálcicos, tales como granate, epidota, anfíboles y piroxenos.

V.4. LA MIRA.

Localización.

El área estudiada de la anomalía La Mira se encuentra localizada a 16 km al E del poblado de La Mira, Michoacán. Cubre una superficie aproximada de 25 km², la limitan las siguientes coordenadas,

102° 11.6' a 102° 8.4' long. W
18° 2.2' a 18° 4.8' lat. N

Geología.

En esta zona se encuentran rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas — que varían de edad del Cretácico al Reciente.

Las rocas sedimentarias están representadas por calizas, detritos marinos, depósitos de llanura deltaica y aluviones recientes.

Las rocas ígneas son por cuanto a su origen, intrusivas (plutónicas e hipobisales) y extrusivas. Las rocas plutónicas pertenecen al gran batolito — que se extiende desde el Estado de Colima al de Guerrero y siendo en la zona estudiada de composición diorítica y granodiorítica. Las rocas hipobisales — están representadas por diques y cuerpos irregulares de composición andesítica.

Las rocas metamórficas están representadas por la aureola de metamorfismo de las calizas, las cuales han sido marmorizadas en la zona de contacto con el intrusivo.

El área se extiende principalmente sobre un extenso batolito fracturado. En ciertos puntos de las fracturas emanaron derrames andesíticos que forman — masas cónicas elevadas y algunas fuertemente erosionadas.

Los contactos entre las diferentes rocas que afloran en la región son — muy irregulares, encontrándose las andesitas rellorando depresiones del antiguo terreno intrusivo.

VI. RESULTADOS E INTERPRETACION.

El propósito de este trabajo es interpretar una serie de anomalías aeromagnéticas de la región sur del Estado de Michoacán. El objetivo de la interpretación es tratar de determinar la geometría del cuerpo anómalo, así como sus propiedades magnéticas.

La información utilizada fue obtenida de las cartas aeromagnética y geológica de Las Truchas (Hoja 17), Los Pozos (Hoja 13) y La Mira (Hoja 18). Estas cartas fueron elaboradas por el Departamento de Yacimientos de Metales del Consejo de Recursos Naturales no Renovables (CRNRR) en colaboración de las Naciones Unidas (ONU).

La escala de estas cartas es 1:50000. Los levantamientos aeromagnéticos fueron realizados a una altura de vuelo de 300 metros.

De la carta aeromagnética de cada área se eligieron las anomalías más importantes y más definidas. Estas fueron digitizadas a un espaciamiento de 200 metros. A los datos así obtenidos se les aplicaron los procesos de continuación analítica hacia arriba y hacia abajo y primera y segunda derivada en superficie.

Estos procesos están basados en el algoritmo de Henderson (1960) de continuación analítica hacia arriba y hacia abajo y primera y segunda derivada para campos potenciales.

La continuación analítica hacia arriba nos permite simplificar la apariencia de los mapas aeromagnéticos, por la supresión de formas locales ya que la proliferación de anomalías magnéticas locales algunas veces oscurece las características regionales con una sobre abundancia de detalle. La continuación analítica hacia abajo es para un propósito opuesto a la continuación hacia arriba y nos permite incrementar la resolución de anomalías débiles. La primera derivada en superficie nos permite estudiar los cambios del gradiente. La segunda derivada se usa frecuentemente para delinear aproximadamente la frontera en superficie del cuerpo causante de la anomalía magnética.

Otro de los procesos usados en la interpretación fue el modelado usando el algoritmo bidimensional de Talwani (Talwani, 1965). Para tener una idea de

las dimensiones del cuerpo anómalo y usarlas en el modelado, los parámetros - de profundidad, ancho, posición, etc., fueron determinados por los métodos - gráficos de Peters (Dobrin, 1961).

VI.1. ANALISIS E INTERPRETACION DE LA ANOMALIA POZOS 1.

La anomalía denominada Pozos 1 presenta una forma dipolar con el mínimo hacia el norte y el máximo hacia el sur (ver fig. VI.1). La anomalía se localiza aproximadamente sobre un afloramiento extenso de rocas andesíticas asignadas al Terciario (Tva). La diferencia de amplitud entre el máximo y el mínimo es de 500 gammas. La separación entre el máximo y el mínimo es de 1000 metros. El máximo y el mínimo están orientados aproximadamente norte-sur. La anomalía cubre una área aproximada de 3 km^2 .

De la comparación de los perfiles magnético y topográfico (ver fig. -- VI.2) se observa que el mínimo de la anomalía corresponde al máximo topográfico. La topografía es más abrupta hacia el norte y se suaviza hacia el sur.

Del plano de continuación analítica hacia arriba 200 metros (ver fig. -- VI.3) y del perfil de esta continuación (ver fig. VI.4) observamos que la forma de la anomalía se pierde un poco, el máximo y el mínimo no se definen bien, esto se debe posiblemente a que el cuerpo es de pequeñas dimensiones y relativamente somero. Continuando esta anomalía 600 metros hacia arriba (ver fig. -- VI.5) observamos que el máximo y el mínimo desaparecen y la forma se pierde totalmente.

Al continuar la anomalía 200 metros hacia abajo (ver fig. VI.6 y VI.7) observamos que la forma de la anomalía es similar a la observada (ver fig. -- VI.1), el máximo y el mínimo están muy bien definidos.

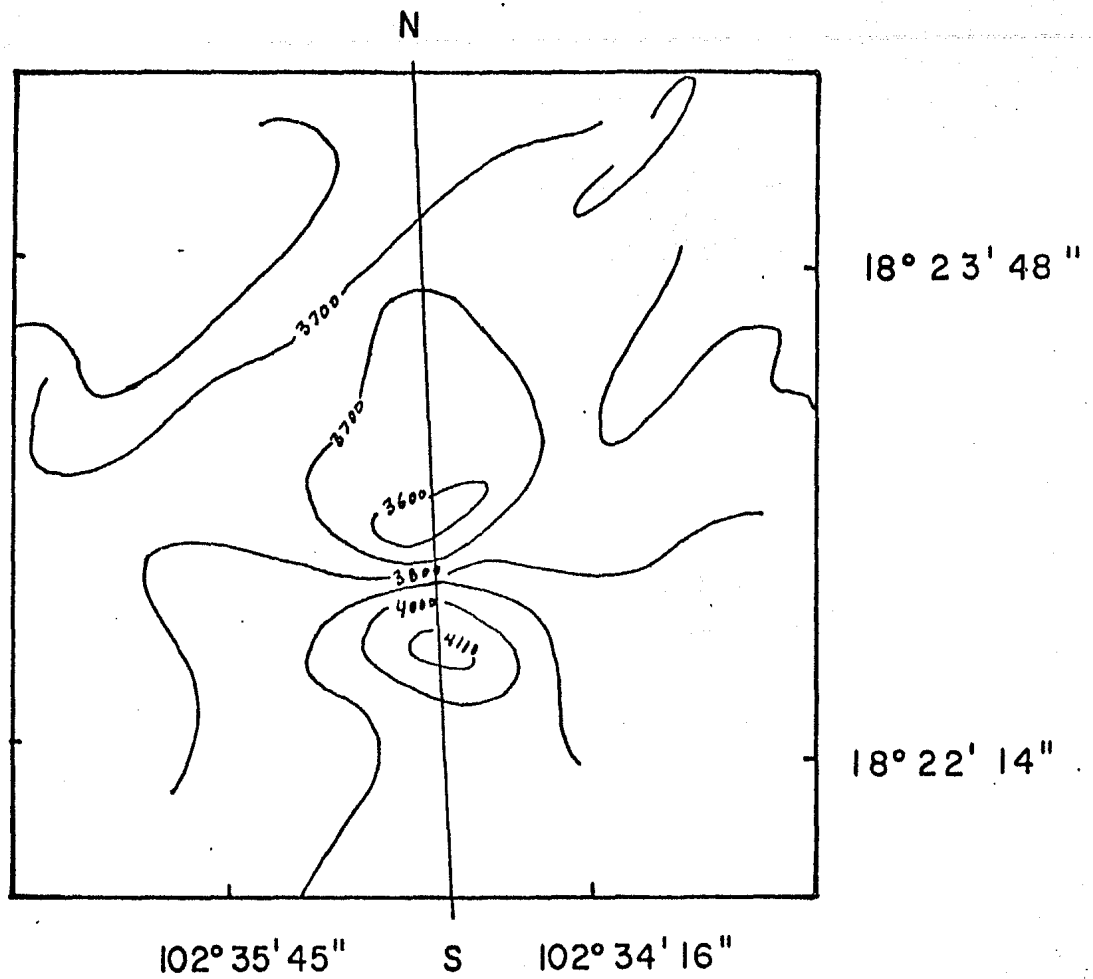
En la figura VI.8 se muestra el plano de primera derivada en superficie, vemos que hay un cambio suave en el gradiente, la forma de la anomalía es similar a la observada.

El plano de segunda derivada en superficie se muestra en la figura VI.9, como observamos la forma de la anomalía es la misma y aparentemente no delimita al cuerpo anómalo.

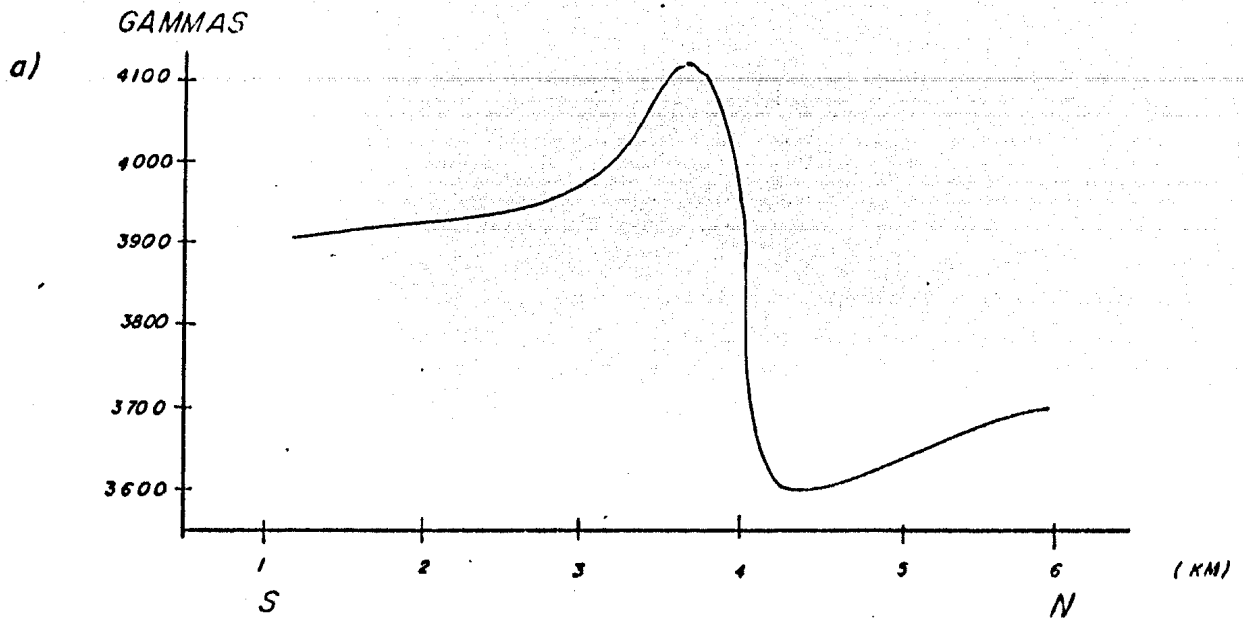
De la forma y orientación de la anomalía (ver fig. VI.1 y VI.2) se estimaron los posibles parámetros geométricos y propiedades magnéticas de la estructura fuente de la anomalía. La forma dipolar y orientación de la anomalía puede modelarse con un cuerpo tabular ó prismático, con una magnetización -

efectiva (mag. remanente mag. inducida) con declinación aproximada N-S — ($D=7^\circ$). De aquí se hizo la primera estimación de los parámetros del modelo, profundidad 1.5 km, ancho 3 km y posición y de sus propiedades magnéticas, dirección e intensidad de su magnetización efectiva. Con estos datos, se usó el algoritmo bidimensional de Talwani para calcular el efecto magnético correspondiente, el cual se comparó con los datos de la anomalía observada. A partir de esto, se variaron los parámetros del modelo para tratar de ajustar los datos calculados con los observados. Se probaron varios modelos, lo que permitió también evaluar los efectos relativos de las variaciones en los parámetros del cuerpo. En la figura VI.10 se muestra el modelo que mejor reproduce los datos observados. Este modelo tiene los siguientes parámetros: profundidad 2 km, ancho 4 km, sus 0.003 emu, dirección 50° e intensidad 43000 gauss de su magnetización efectiva.

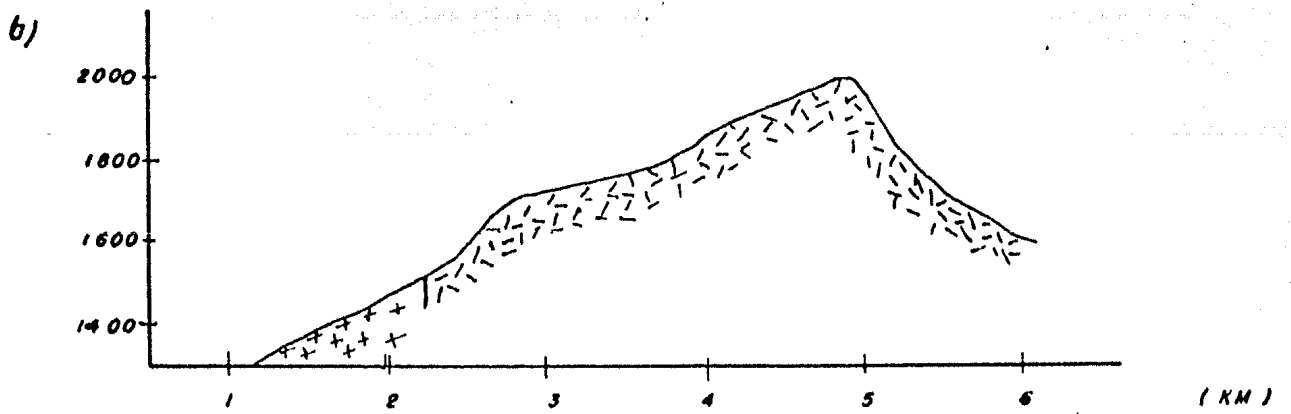
De acuerdo a las características del cuerpo anómalo, de sus propiedades y de la geología regional, podemos decir que el cuerpo anómalo se trata de un cuerpo ígneo intrusivo, pudiendo ser un dique.



Mapa aeromagnético de la anomalía Pozos I

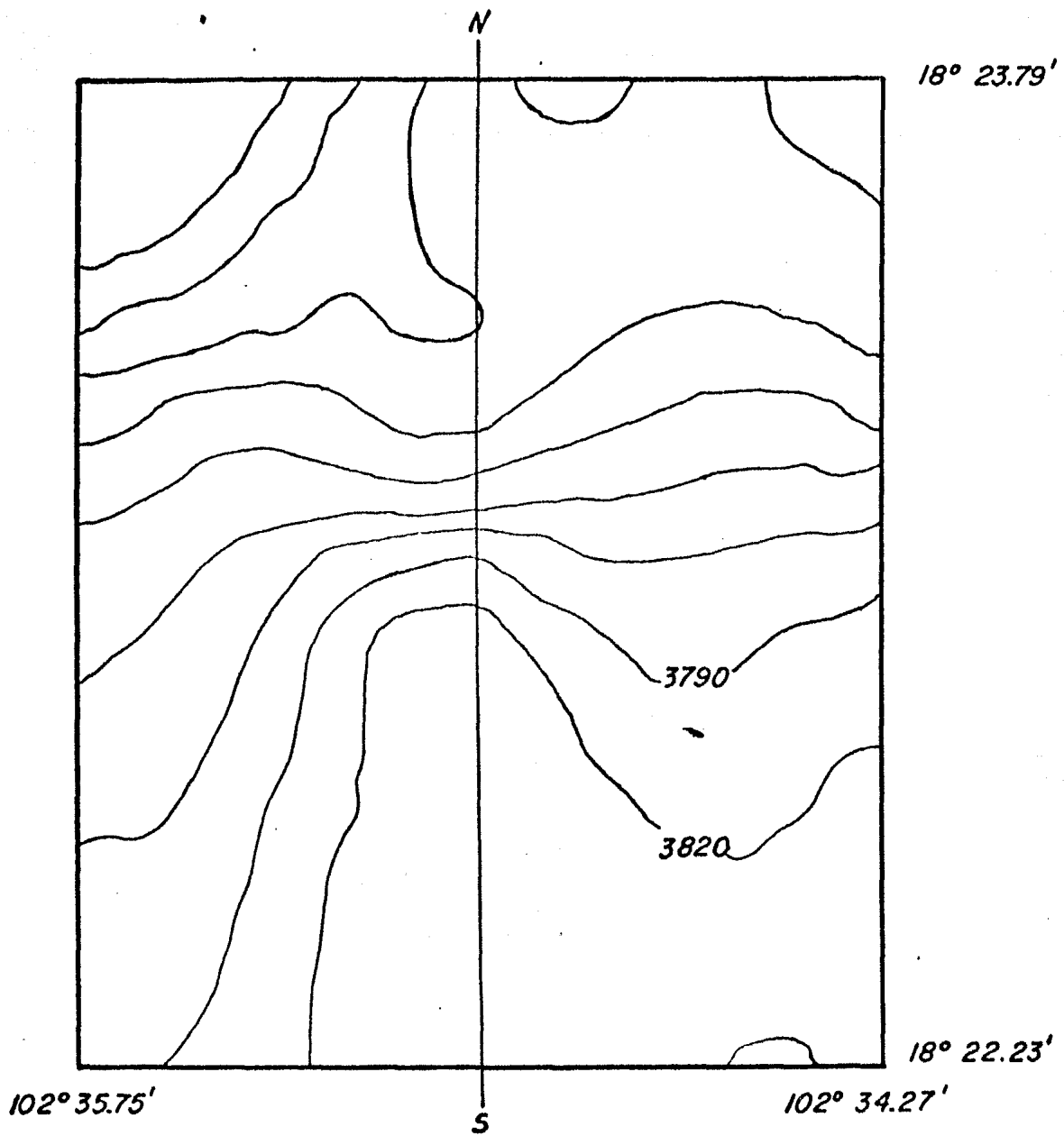


(a)



(b)

Perfiles a). Magnéticos b). Topográficos
de la anomalía Pozos I



*Fig VI.3 Mapa de continuación analítica hacia arriba
200 metros de la anomalía Pozos I.*

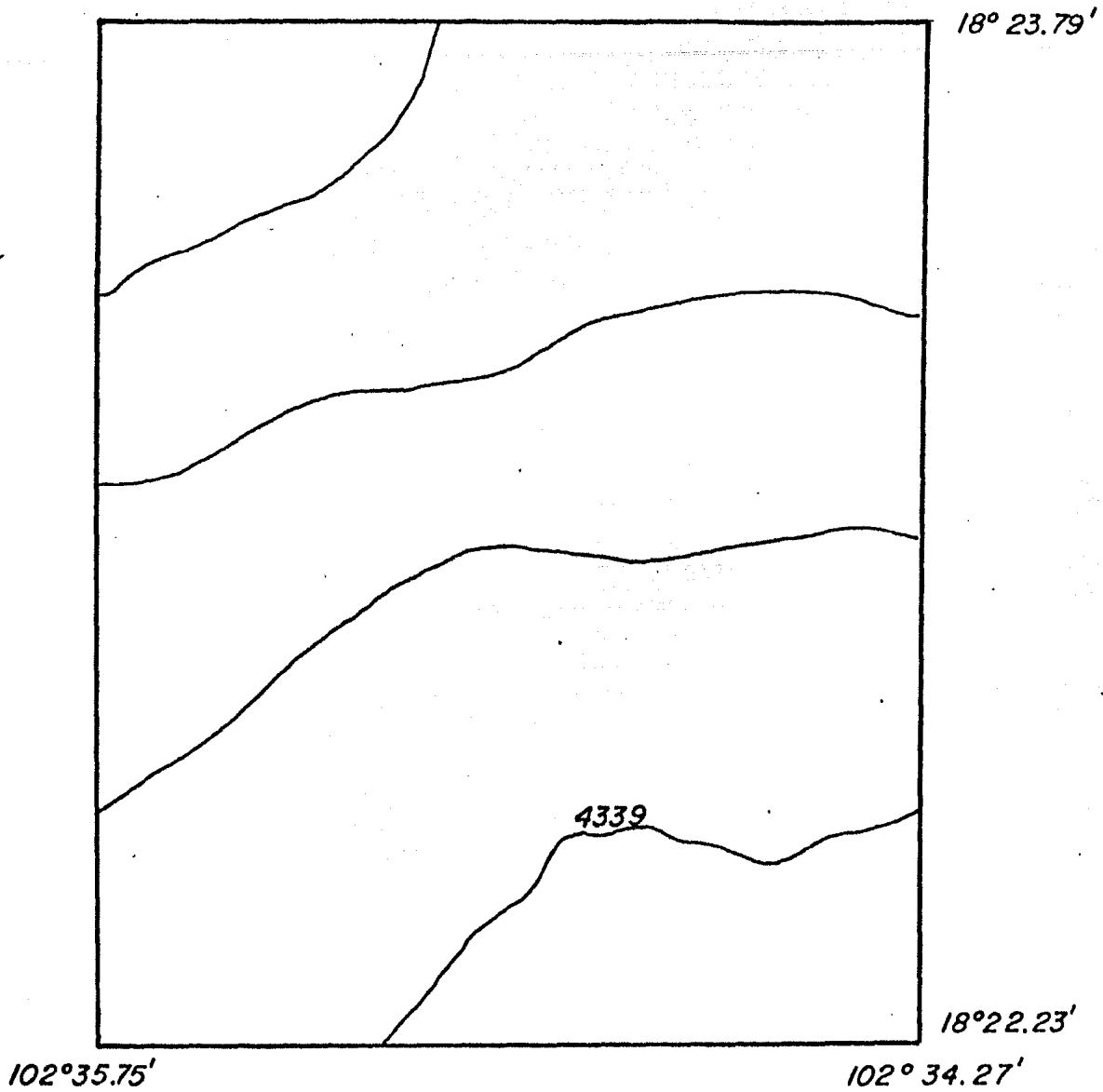


Fig: VI.5 Mapa de continuación analítica hacia arriba 600 metros de la anomalía Pozos I.

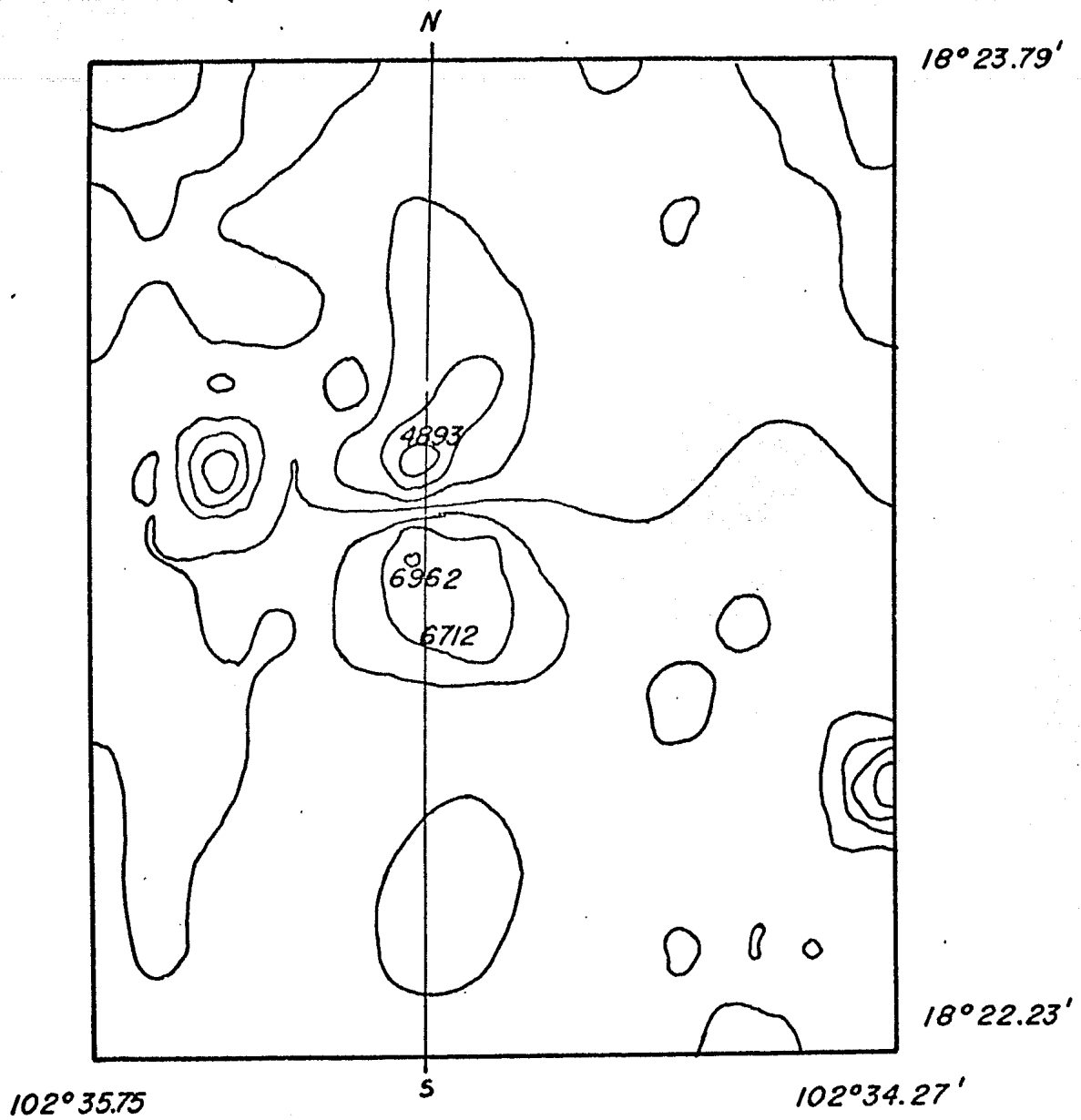


Fig VI.6 Mapa de continuación analítica hacia abajo 200 metros de la anomalía Pozos I.

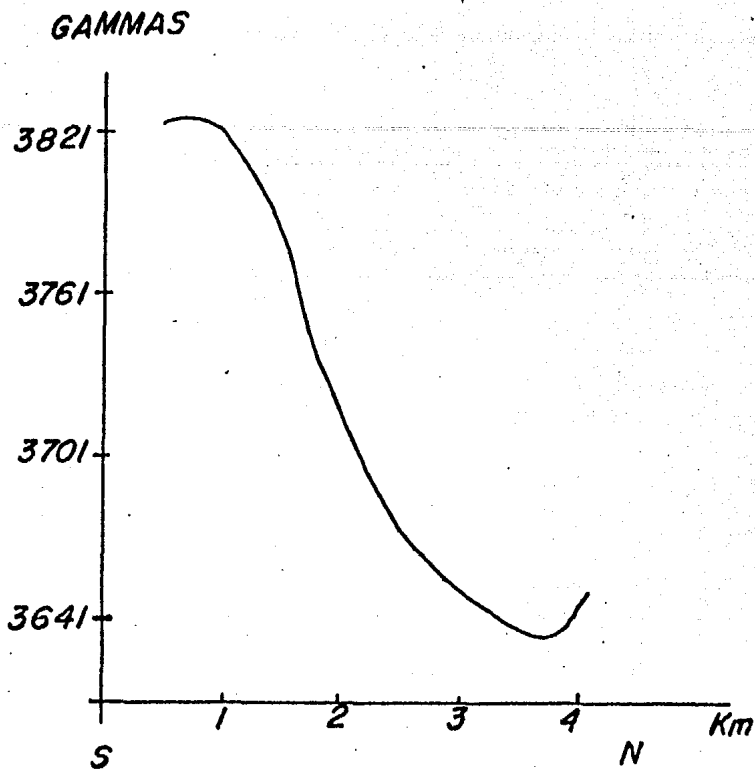


Fig. VI.4 Perfil de la c. a. hacia arriba 200m de la anomalía Pozos 1

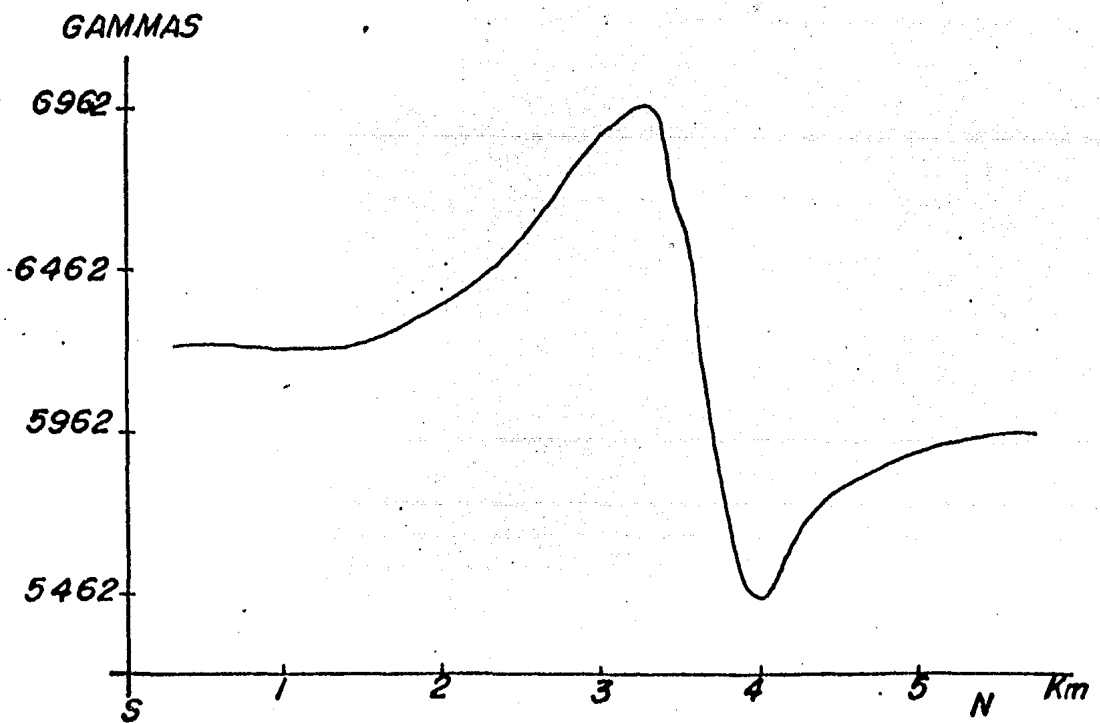


Fig. VI.7 Perfil de la c. a. hacia abajo de la anomalía Pozos 1

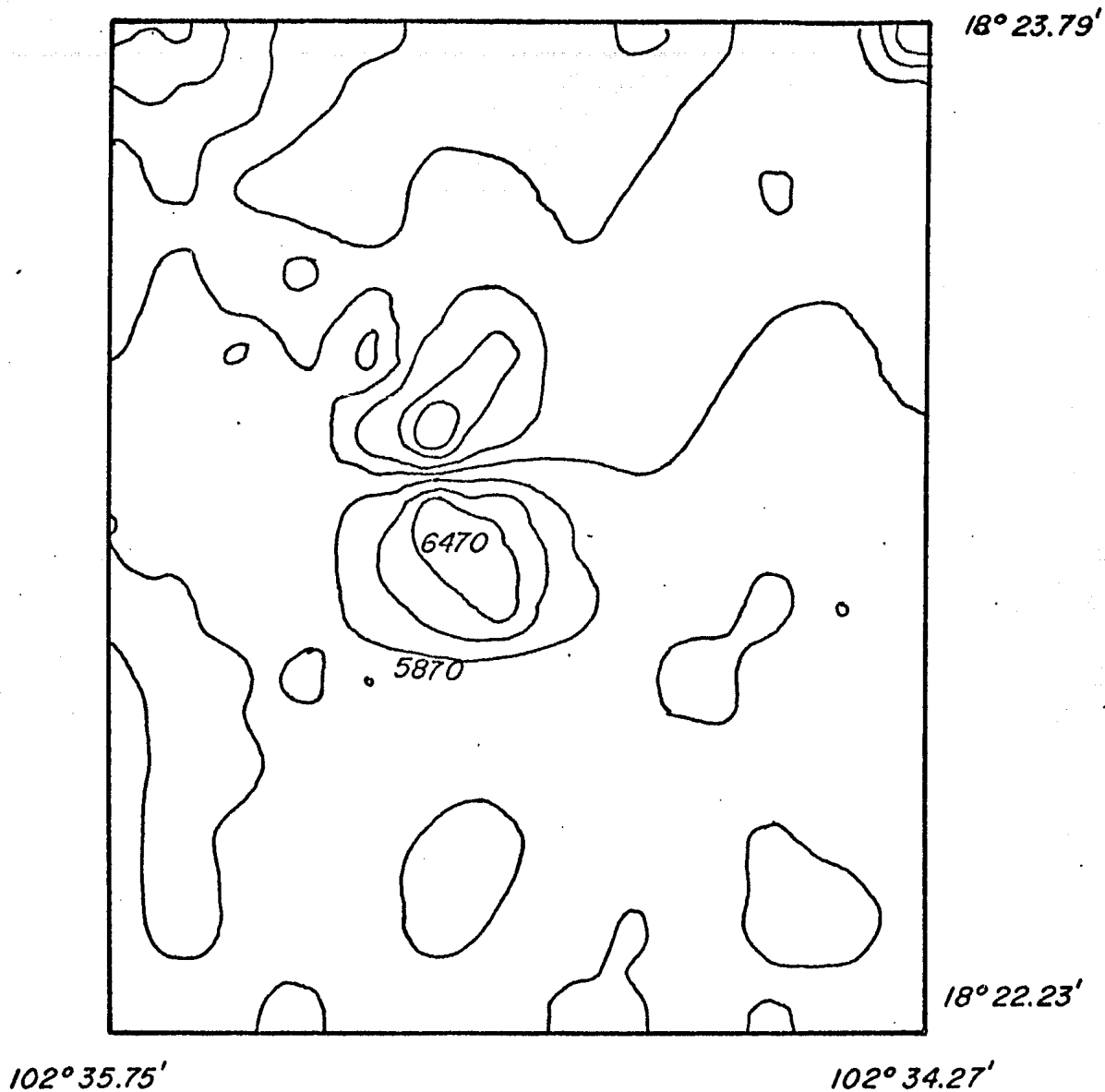


Fig VI.8 Mapa de primera derivada en superficie de la anomalía Pozos I

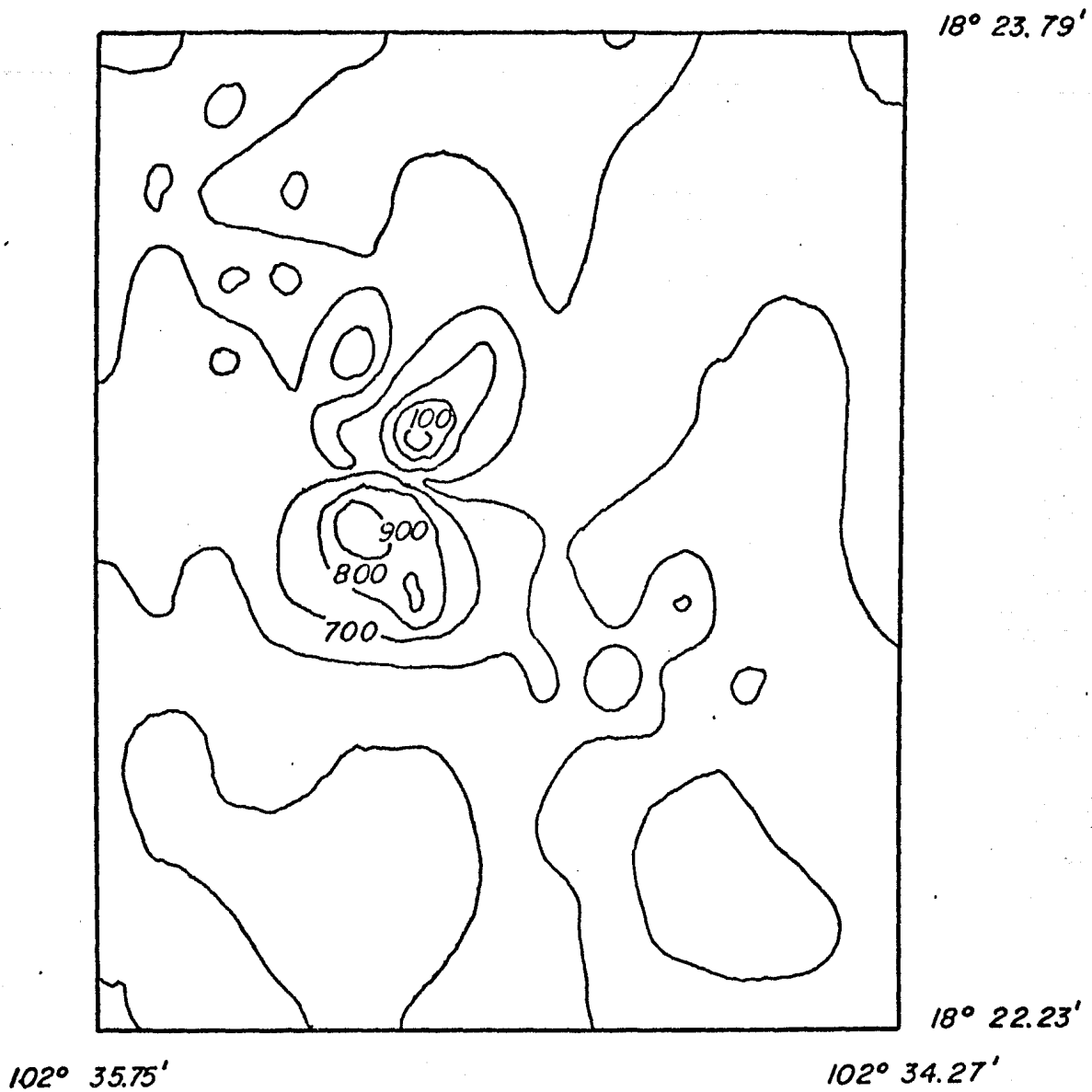
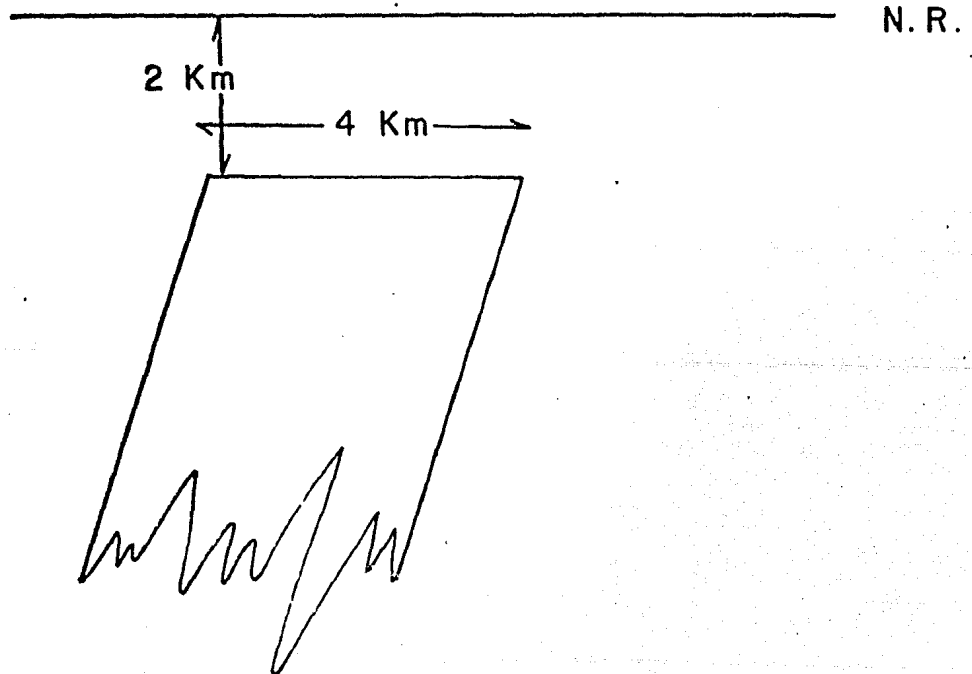
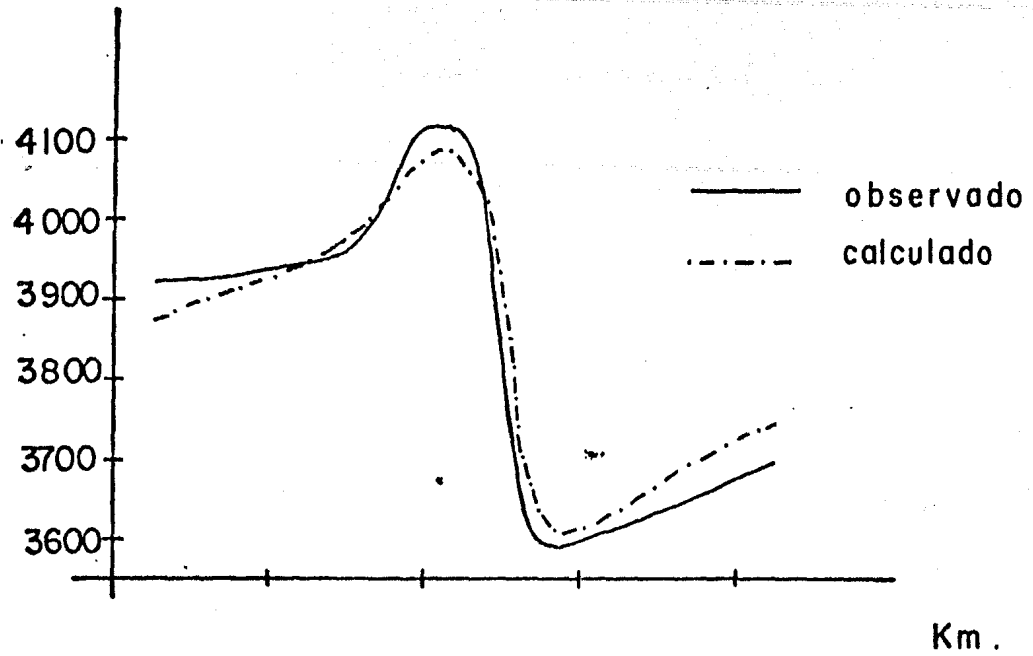


Fig VI.9 Mapa de segunda derivada en superficie de la anomalía Pozos I

Gamma



Comparación del perfil magnético observado con el calculado
de la anomalía Pozos 1.

VI.2. ANALISIS E INTERPRETACION DE LA ANOMALIA POZOS 2.

La anomalía denominada Pozos 2 presenta una forma dipolar con el mínimo hacia el norte y el máximo hacia el sur (ver fig. VI.11). La anomalía se localiza aproximadamente sobre un afloramiento extenso de rocas metamórficas y dioritas asignadas al Terciario (Tm y Td). La diferencia de amplitud entre el máximo y el mínimo es de 1400 gammas. La separación entre el máximo y el mínimo es de 1500 metros. El máximo y el mínimo están orientados aproximadamente norte-sur. La anomalía cubre una área de 25 km².

De la comparación de los perfiles magnético y topográfico (ver fig. VI.12) se observa que el máximo de la anomalía corresponde al mínimo topográfico. La topografía del área de la anomalía es abrupta.

Del plano de continuación analítica hacia arriba 200 metros (ver fig. VI.13) y del perfil de esta continuación (ver fig. VI.14) observamos que la forma de la anomalía se conserva totalmente, el máximo y el mínimo se definen bien. Ahora, continuando la anomalía 600 metros hacia arriba (ver fig. VI.15) notamos que la forma de ésta se sigue conservando, el máximo y el mínimo todavía se definen. Esto nos hace pensar que el cuerpo anómalo es de dimensiones considerables y se encuentra también a una profundidad considerable.

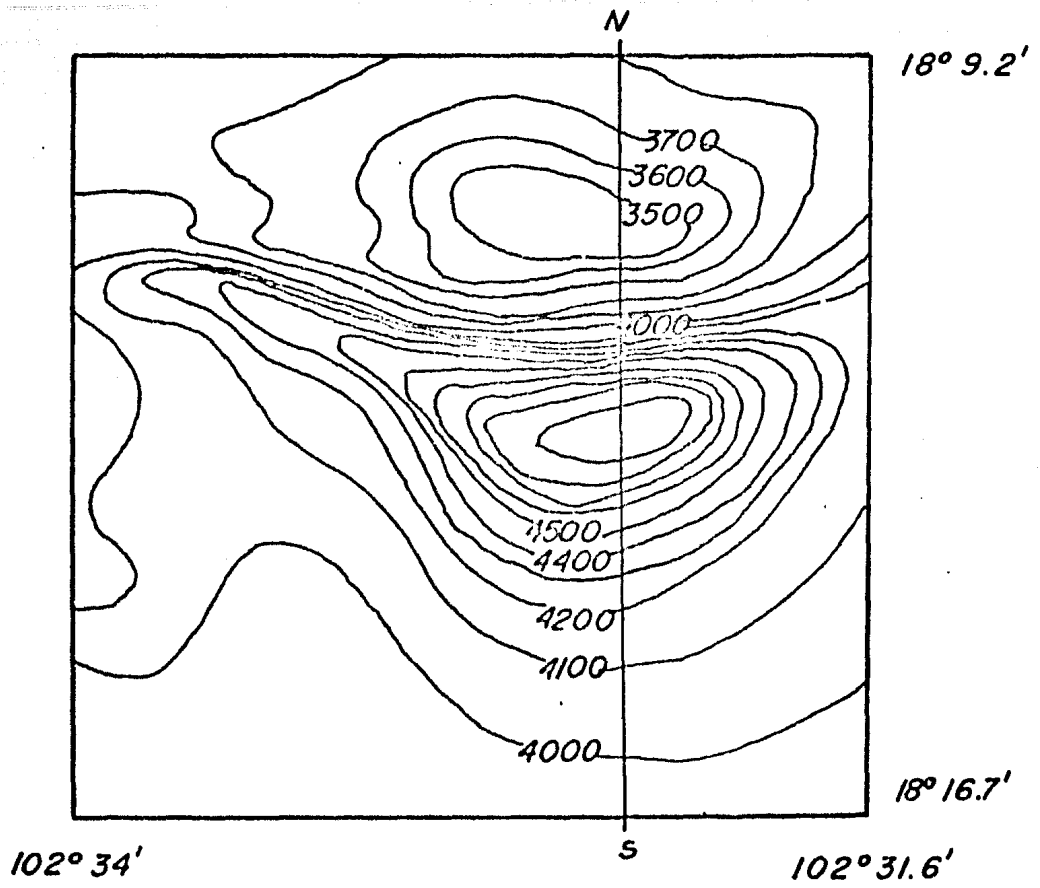
Al continuar la anomalía 200 metros hacia abajo (ver fig. VI.16) y al observar el perfil de esta continuación (ver fig. VI.17) notamos que la forma de la anomalía se acentúa más hacia la parte del máximo, el mínimo se define bien y en general la forma de la anomalía es similar a la observada.

En la figura VI.18 se muestra el plano de primera derivada en superficie. Observamos que el gradiente delimita bien la forma de la anomalía, y posiblemente nos de una idea de la forma del cuerpo.

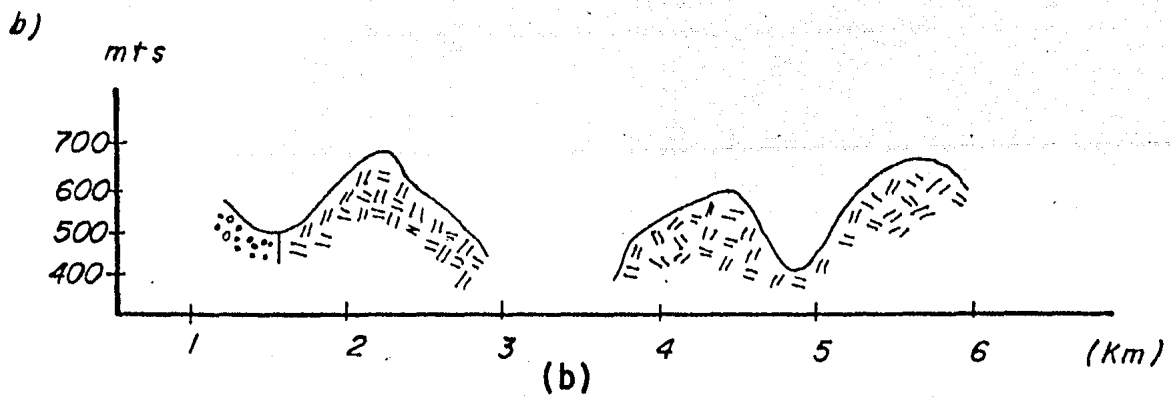
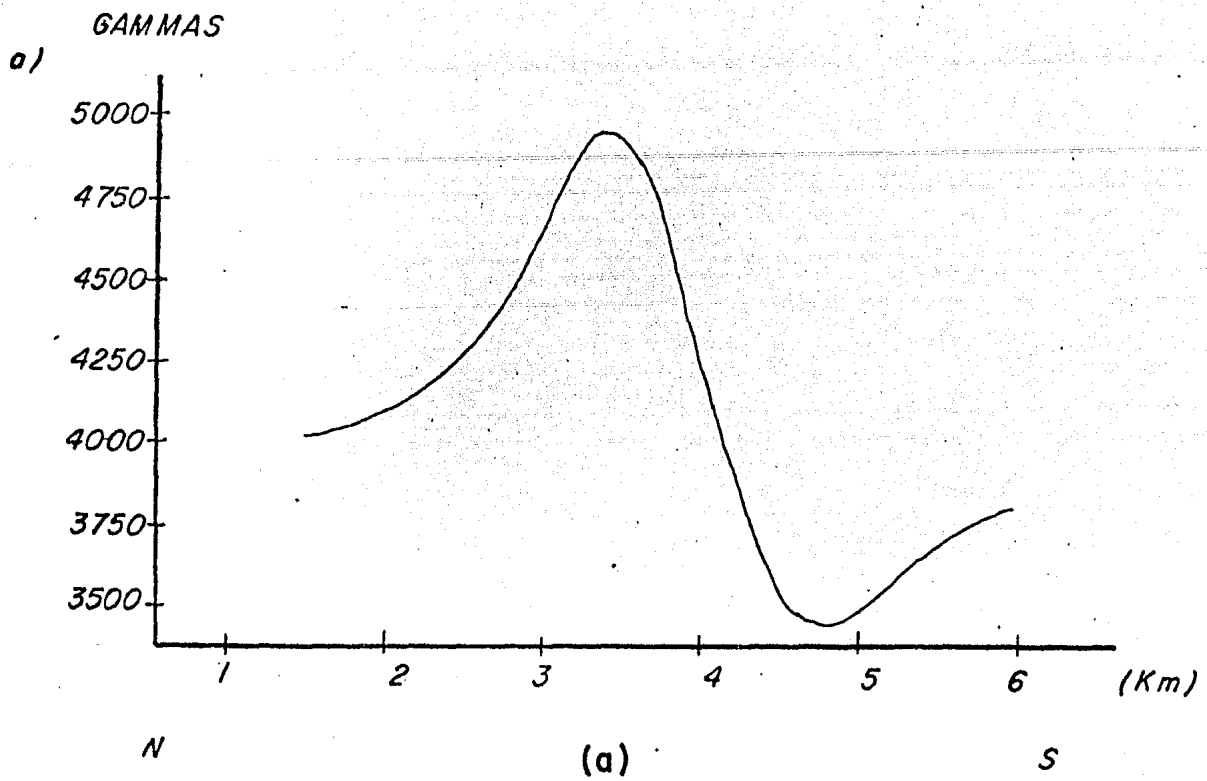
El plano de segunda derivada en superficie se muestra en la figura VI.19. En esta figura podemos ver la delineación de muchos contornos. Parece ser que el contorno A delinea la forma del cuerpo principal. Además de este cuerpo principal parece que existen cuerpos pequeños B, C, D, E encima del cuerpo principal.

De la forma y orientación de la anomalía (ver fig. VI.11 y VI.12) se estimaron los posibles parámetros geométricos y las propiedades magnéticas de la estructura fuente de la anomalía. La forma dipolar y orientación de la anomalía puede modelarse con un cuerpo tabular ó prismático, con una magnetización efectiva (mag. remanente mag. inducida) con declinación aproximada N-S ($D 7^\circ$). De aquí se hizo una primera estimación de los parámetros del modelo, profundidad 3 km, ancho 3 km y posición y de sus propiedades magnéticas, dirección 40° e intensidad 43000 gammas de su magnetización efectiva. Con estos datos, se usó el algoritmo bidimensional de Talwani para calcular el efecto magnético correspondiente, el cual se comparó con los datos de la anomalía observada. A partir de esto, se variaron los parámetros del modelo para tratar de ajustar los datos calculados con los observados. Se probaron varios modelos, lo que permitió también evaluar los efectos relativos de las variaciones en los parámetros del cuerpo. En la figura VI.20 se muestra el modelo que mejor reproduce los datos observados. Este modelo tiene los siguientes parámetros: profundidad 4 km, ancho 4 km, sus 0.012 emu, dirección 50° e intensidad 43000 gammas de su magnetización efectiva.

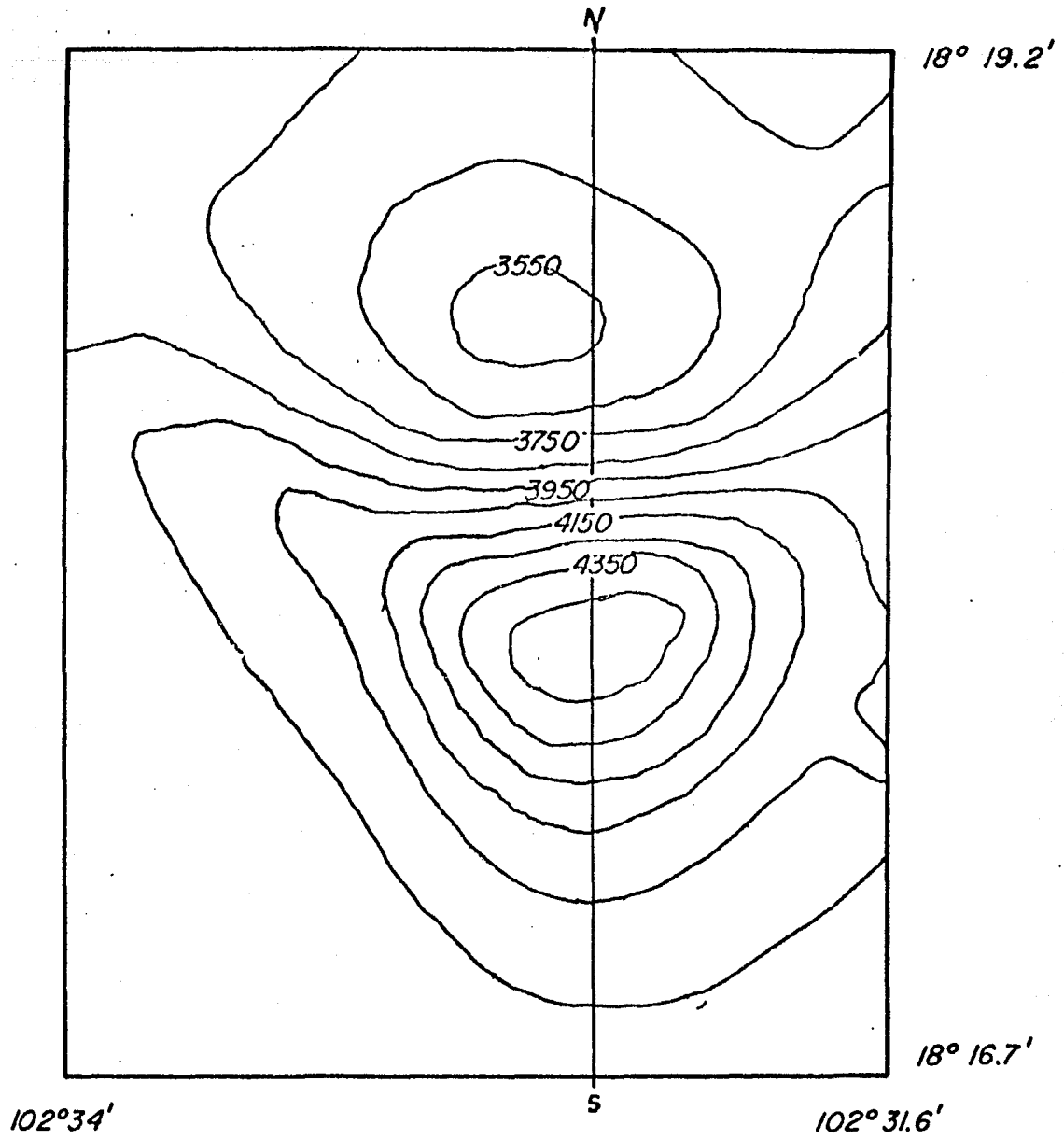
De acuerdo a las características del cuerpo anómalo, de sus propiedades y de la geología regional, podemos decir que el cuerpo anómalo se trata de un cuerpo ígneo intrusivo, pudiendo corresponder a un dique.



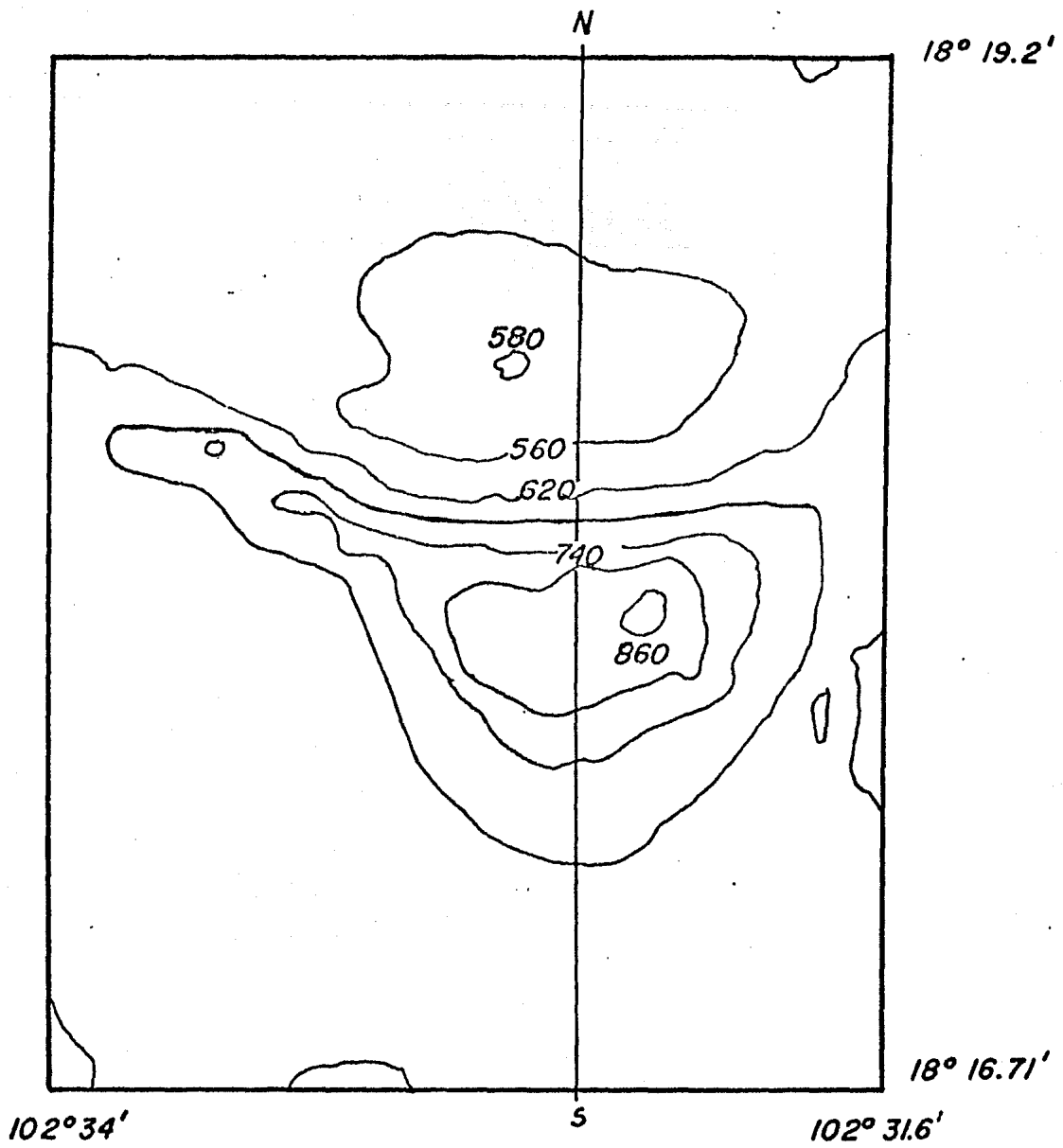
*Fig VI. II Mapa aeromagnético de la anomalía
Pozos 2*



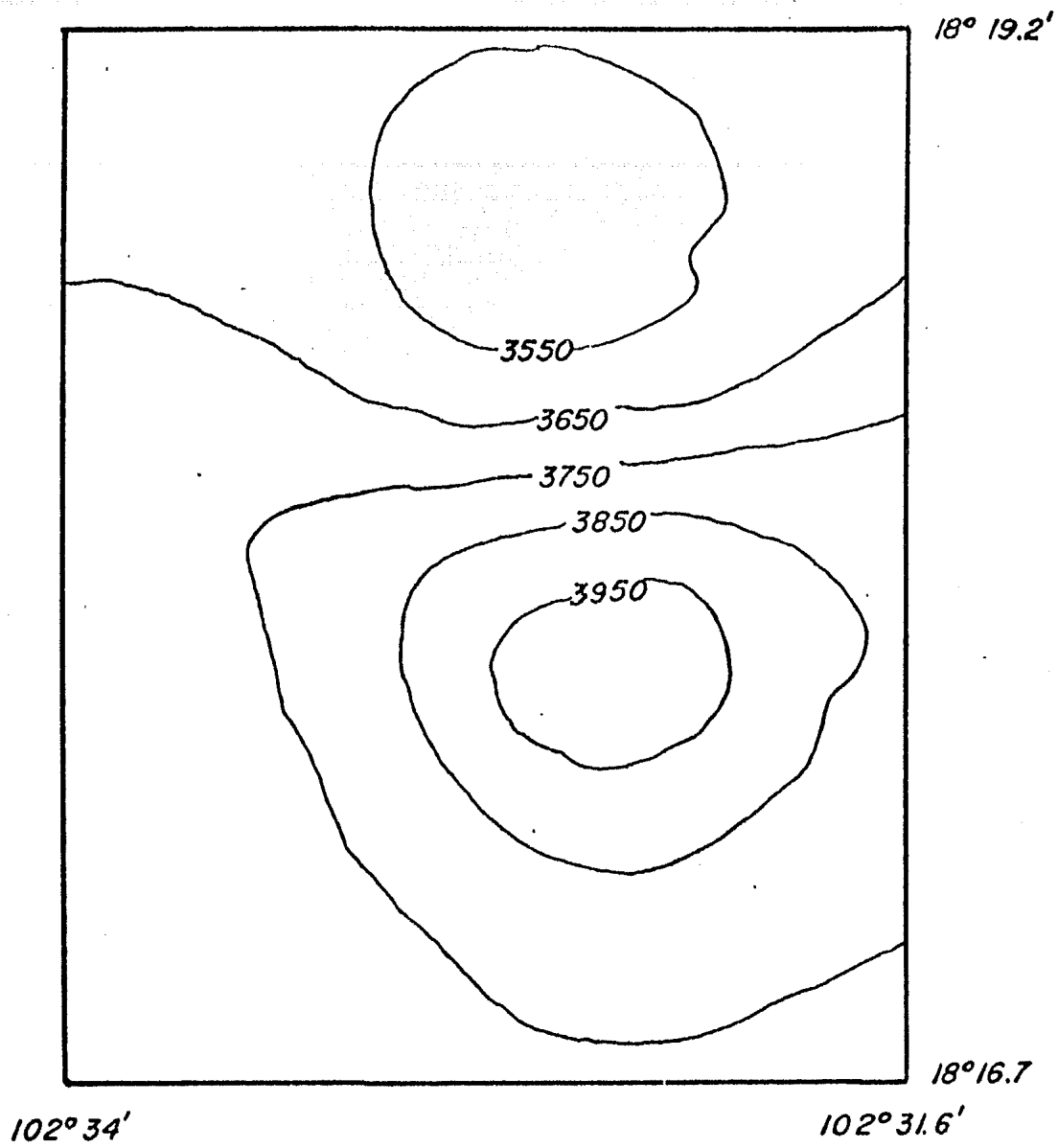
Perfiles: a); Magnético b); Topográfica de la anomalía, Pozos 2



*Fig VI.13 Mapa de continuación analítica hacia arriba
200 metros de la anomalía Pozos 2*



*Fig VI.16 Mapa de continuación analítica hacia abajo
200 metros de la anomalía Pozos 2*



*Fig VI.15 Mapa de continuación analítica hacia arriba
600 metros de la anomalía Pozos 2*

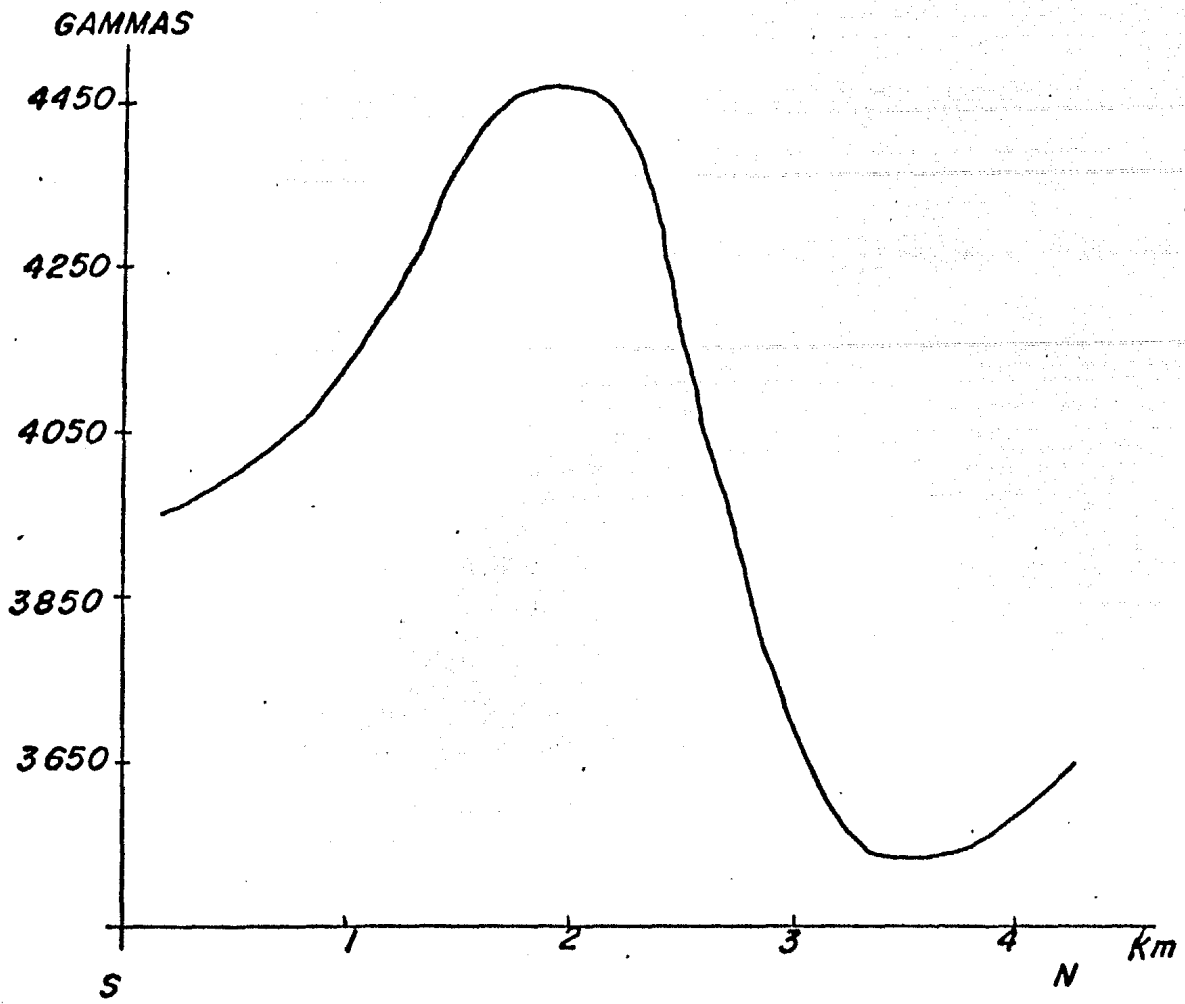


Fig. VI.14 Perfil de la c. a. hacia arriba 200m de la anomalía Pozos 2

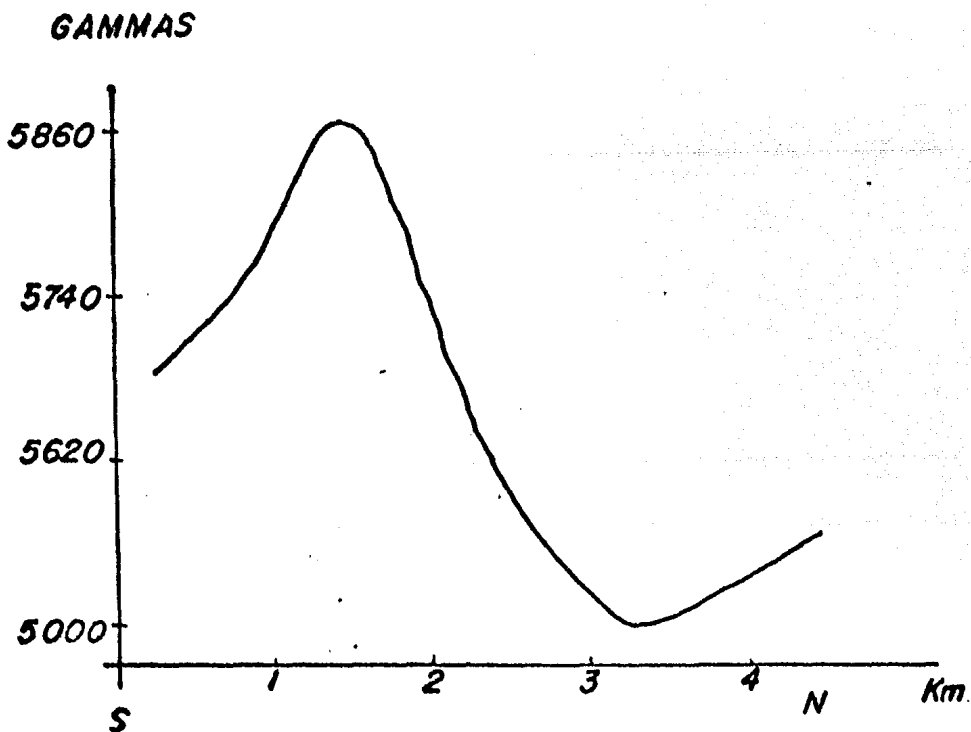


Fig. VI.17 Perfil de la c. a. hacia abajo 200 m de la anomalía Pozos 2

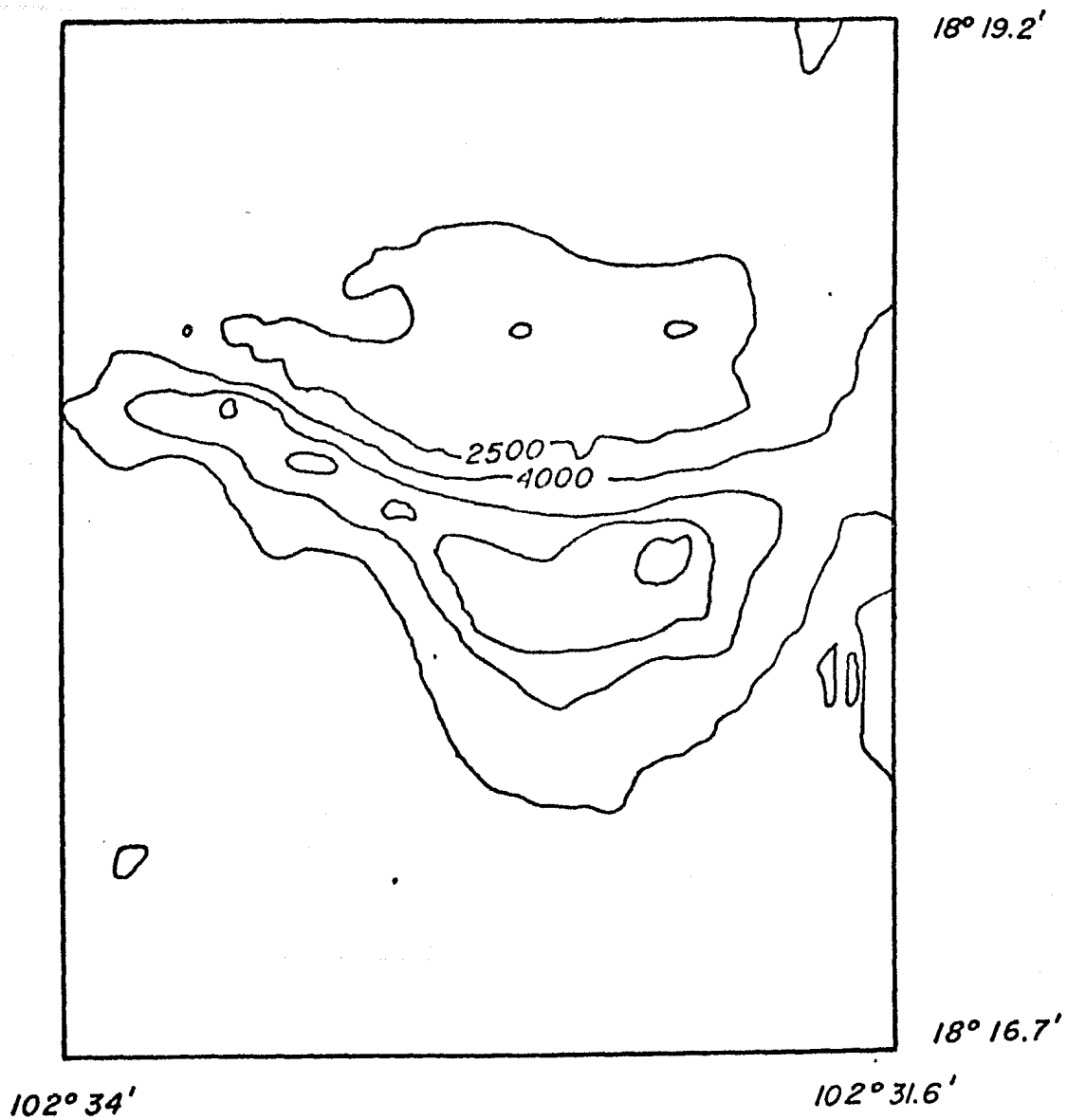


Fig VI.18 Mapa de primera derivada en superficie de la anomalía Pozos 2

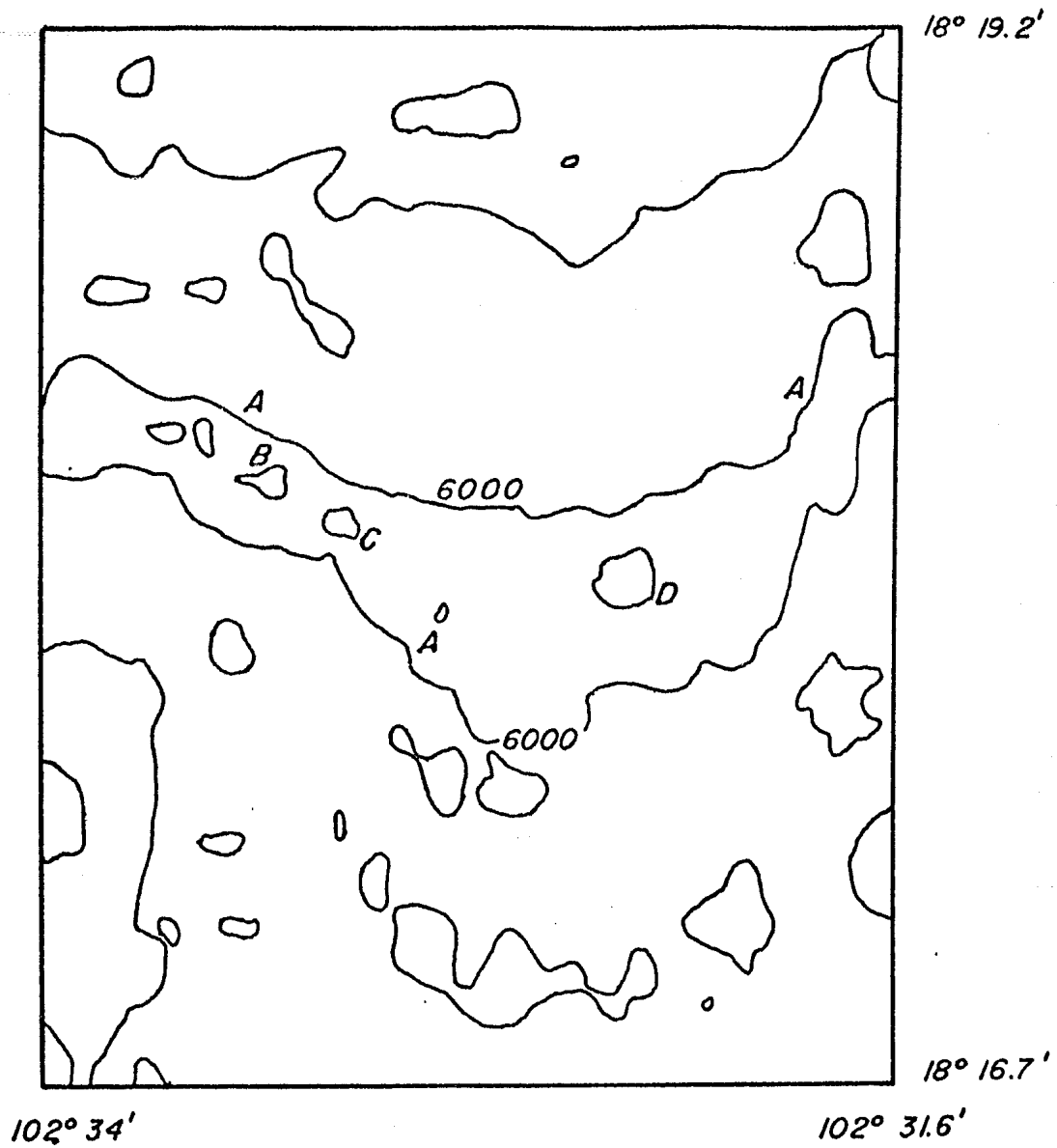
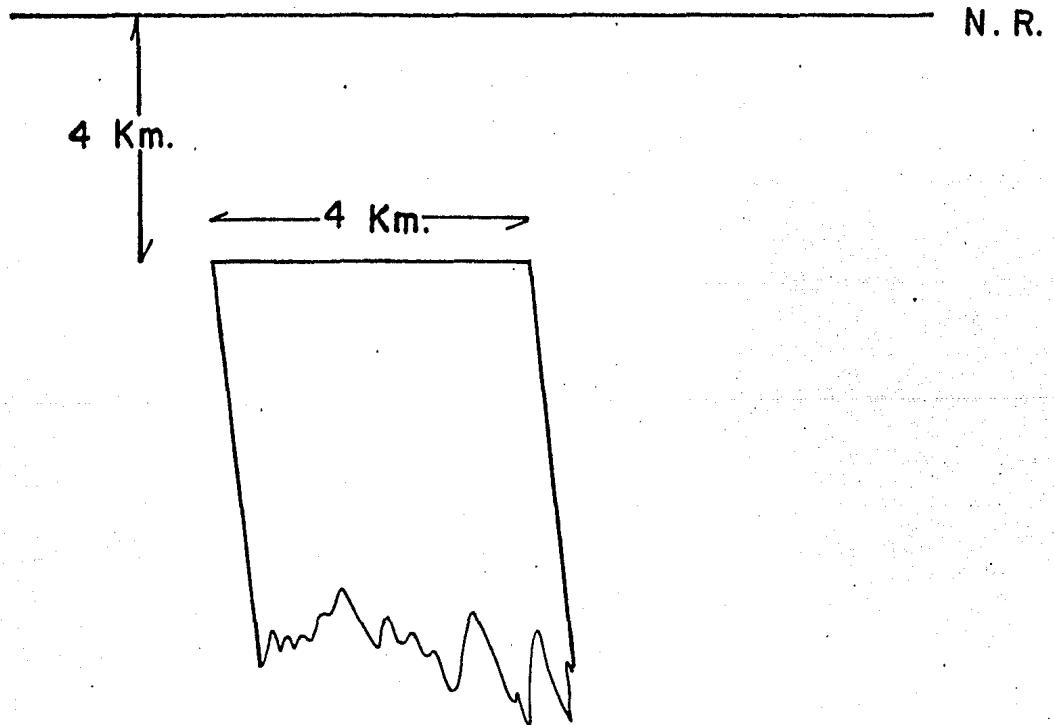
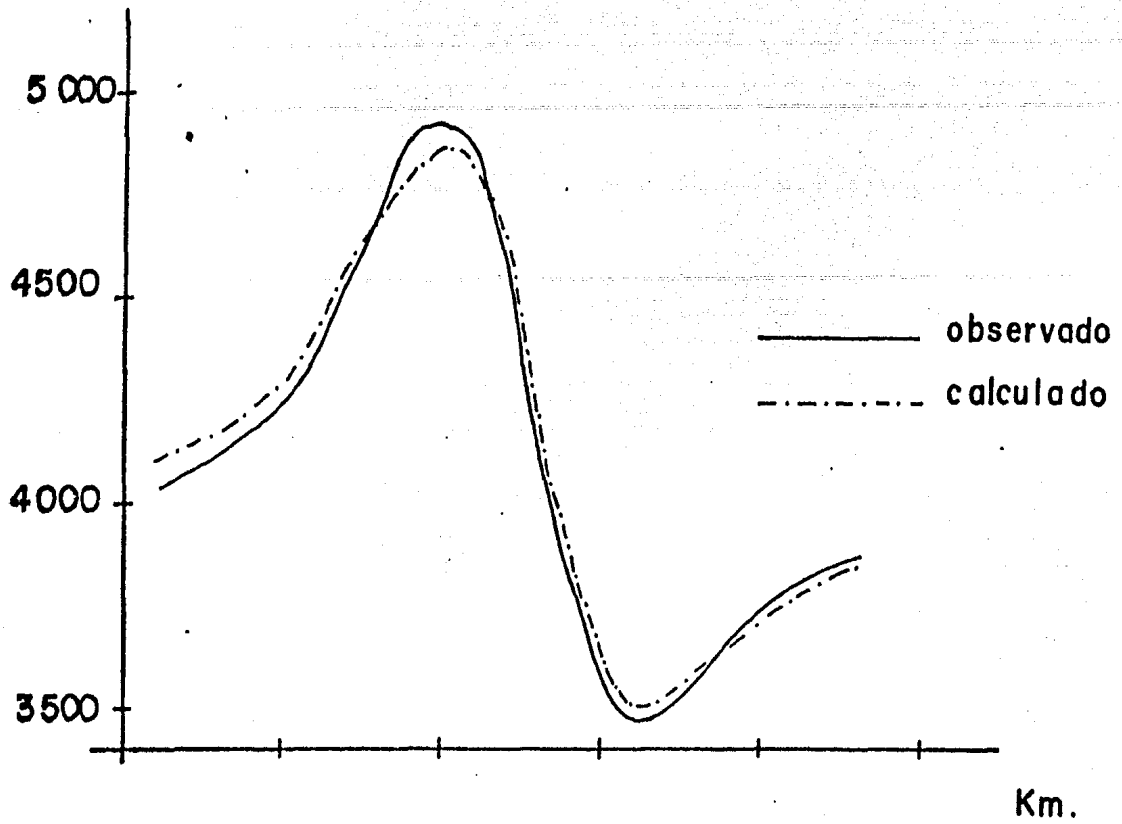


Fig VI.19 Mapa de segunda derivada en superficie de la anomalía Pozos 2

Gamma



Comparación del perfil magnético observado con el calculado de la anomalía Pozos 2.

VI.3 ANALISIS DE LA ANOMALIA POZOS 3.

La anomalía denominada Pozos 3 es un poco compleja, difícil de describirla, tiende a una forma monopolar (ver fig. VI.21). Su máximo está bien definido y es de 600 gammas de amplitud. Se encuentra sobre los afloramientos de rocas dioríticas y metamórficas asignadas al Terciario (Td y Mef). Cubre un área de 6 km^2 , se extiende en la dirección E-W,

De la comparación de los perfiles magnético y topográfico (ver fig. VI.22) se observa que el máximo de la anomalía corresponde al máximo topográfico.

Al continuar analíticamente hacia arriba 200 metros esta anomalía (ver fig. VI.23), y de la observación del perfil de esta continuación (ver fig. VI.24) notamos que la forma de la anomalía se distorsiona, y al continuar 600 metros hacia arriba (ver fig. VI.25) observamos que la forma conserva la misma distorsión.

Del plano de continuación analítica hacia abajo 200 metros (ver fig. VI.26) y del perfil de esta continuación (ver fig. VI.27) observamos que la forma de la anomalía es similar a la observada.

El plano de primera derivada en superficie se muestra en la figura VI.28. Observamos que el gradiente sigue la forma de la anomalía y el cambio de éste es suave.

En la figura VI.29 se muestra el plano de segunda derivada en superficie. En esta figura vemos que algunos contornos son delineados y que los contornos A y B posiblemente sean del cuerpo anómalo.

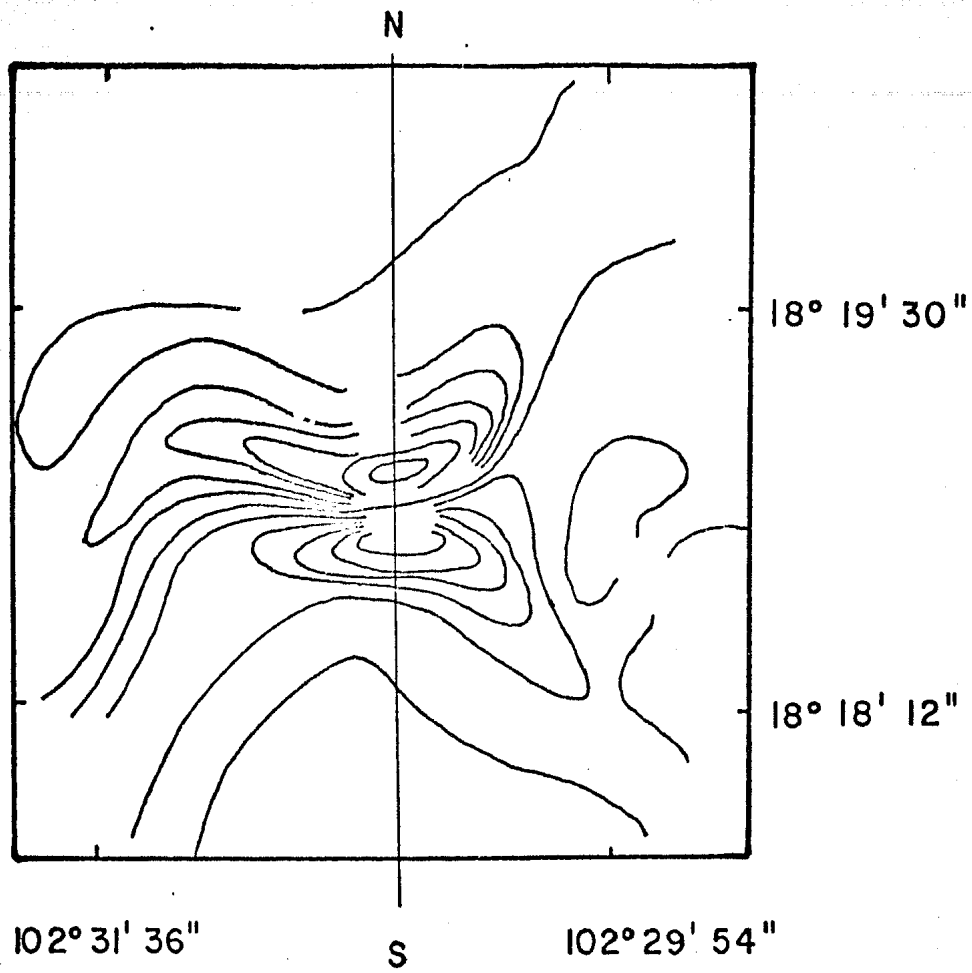


Fig VI.21 Mapa aeromagnético de la anomalía Pozos 3

a) GAMMAS

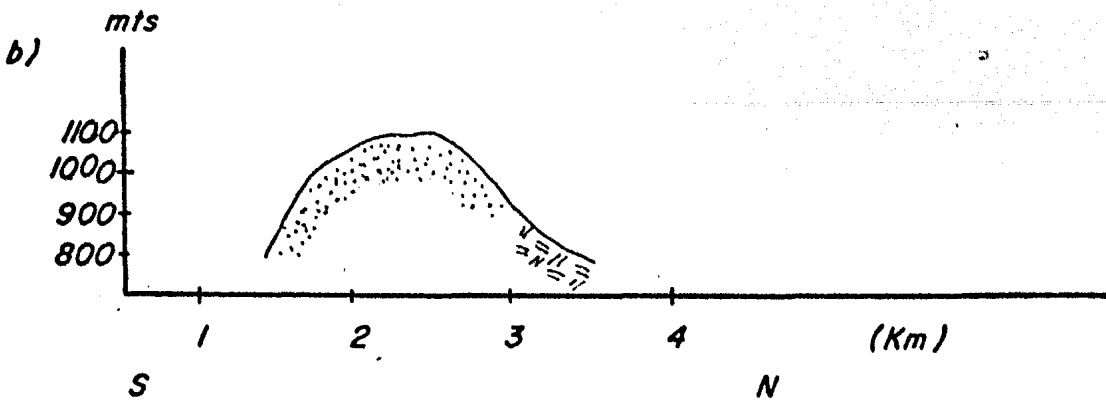
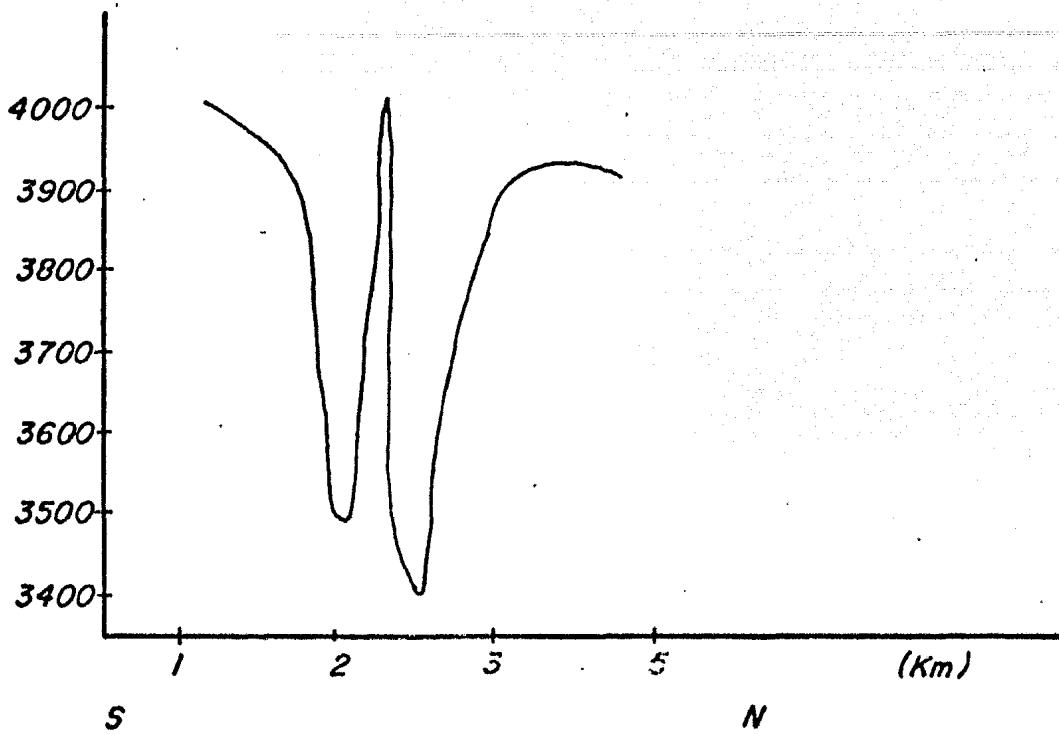
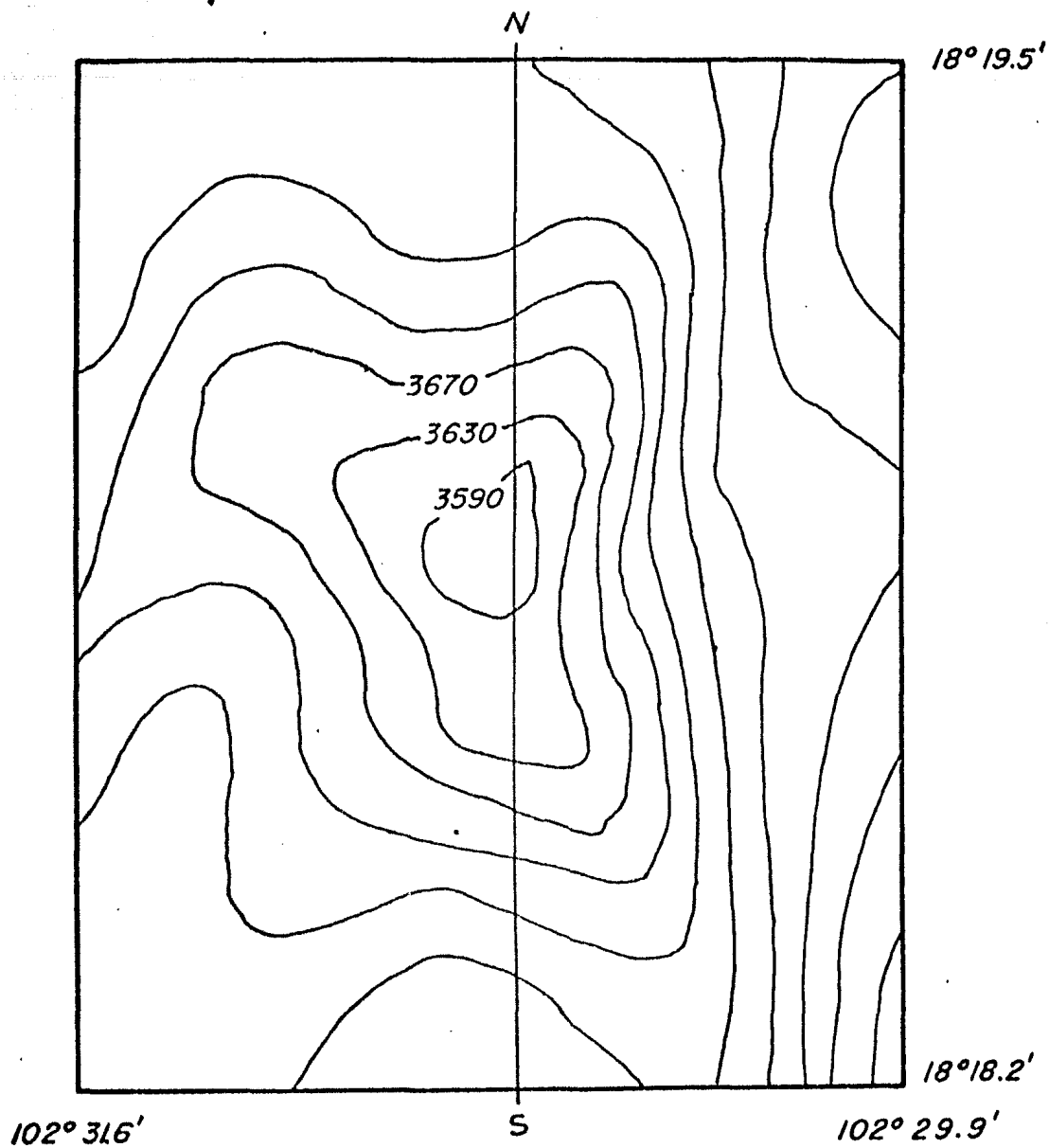


Fig VI.22 Perfiles magnéticos a) y b) topográfico de la anomalía Pozos 3



*Fig VI.23 Mapa de continuación analítica hacia arriba
200 metros de la anomalía Pozos 3*

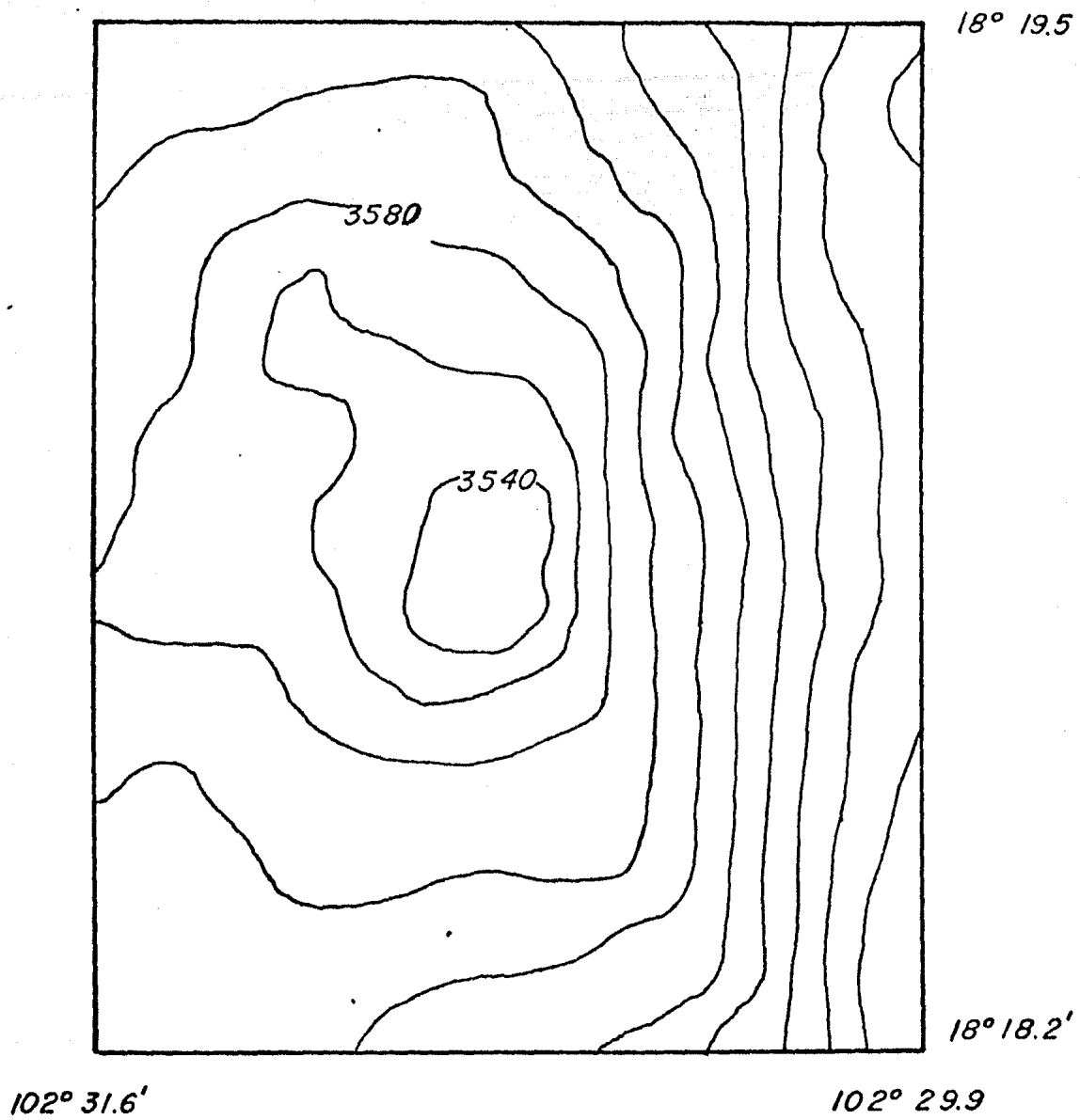
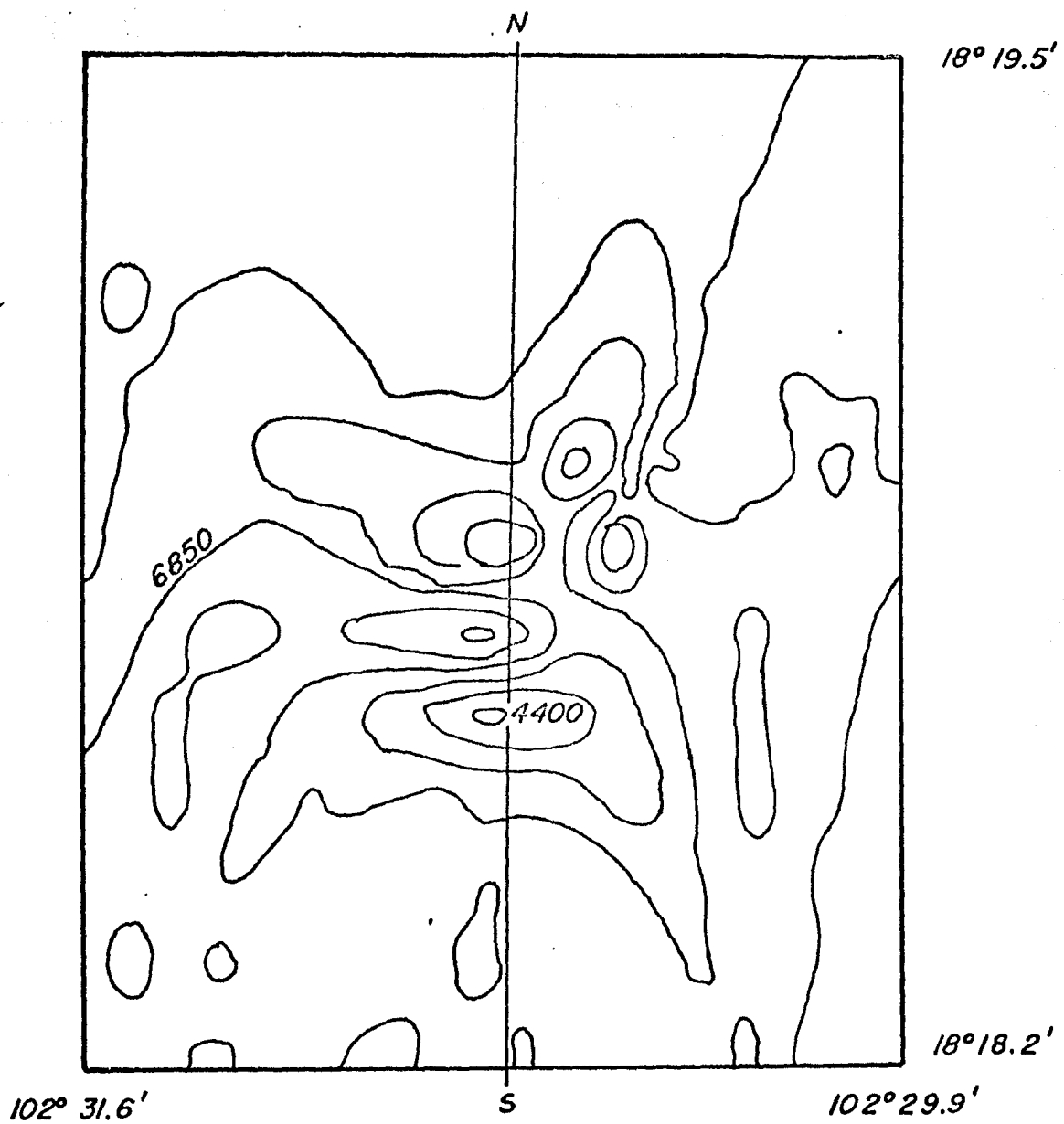


Fig VI. 25 Mapa de continuación analítica hacia arriba 600 metros de la anomalía Pozos 3



*Fig VI.26 Mapa de continuación analítica hacia abajo
200 metros de la anomalía Pozos 3*

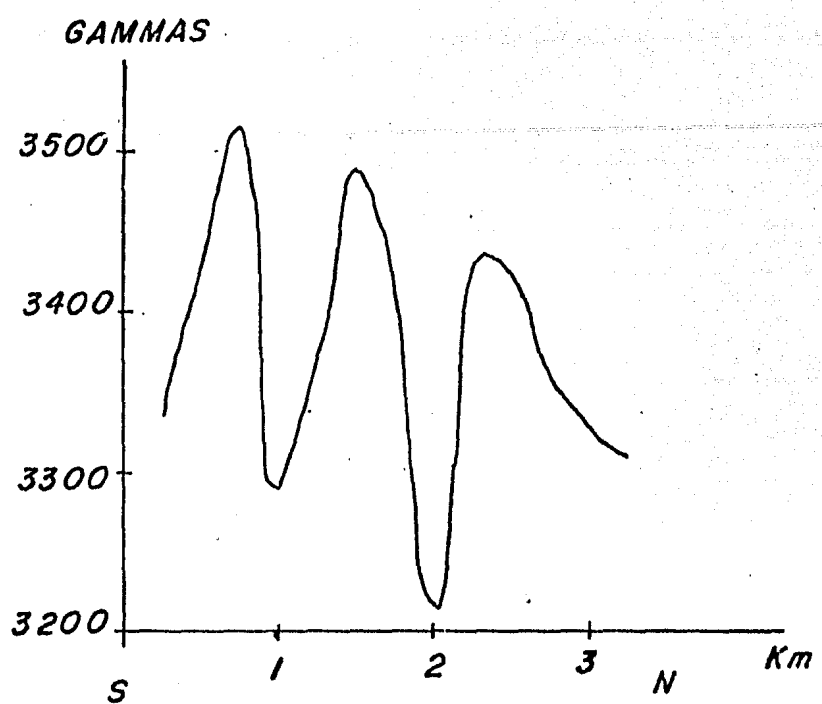


Fig. VI.24. Perfil de la c. a. hacia arriba 200m de la anomalía Pozos 3

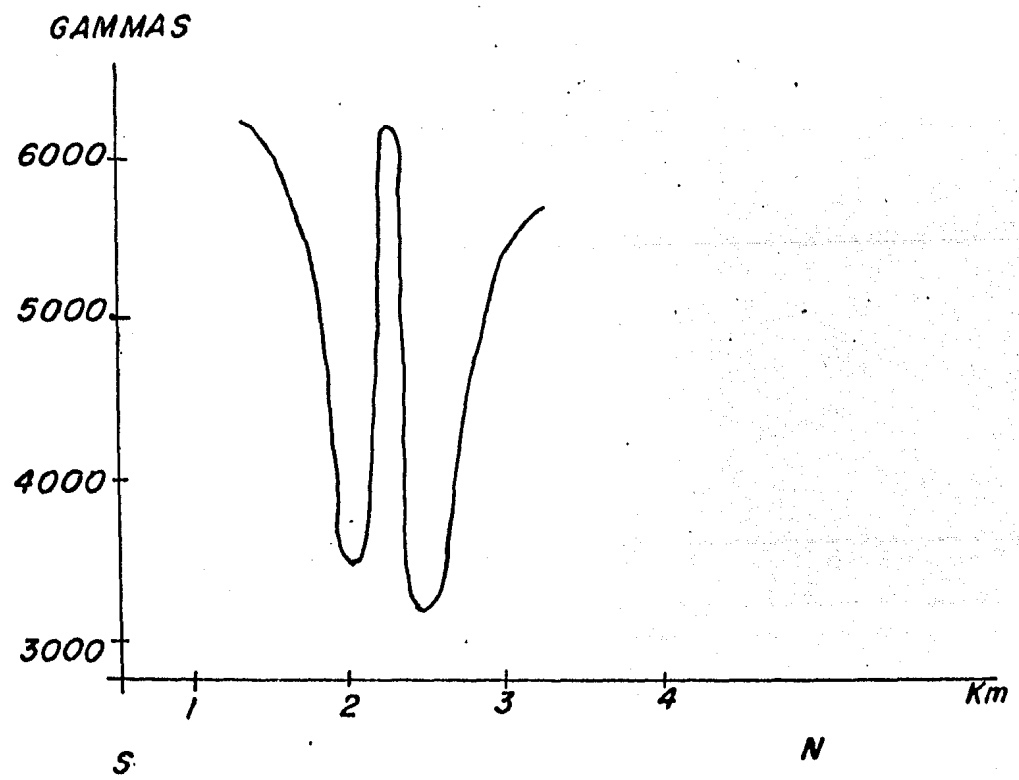


Fig. VI.27. Perfil de la c. a. hacia abajo 200 m de la anomalía Pozos 3

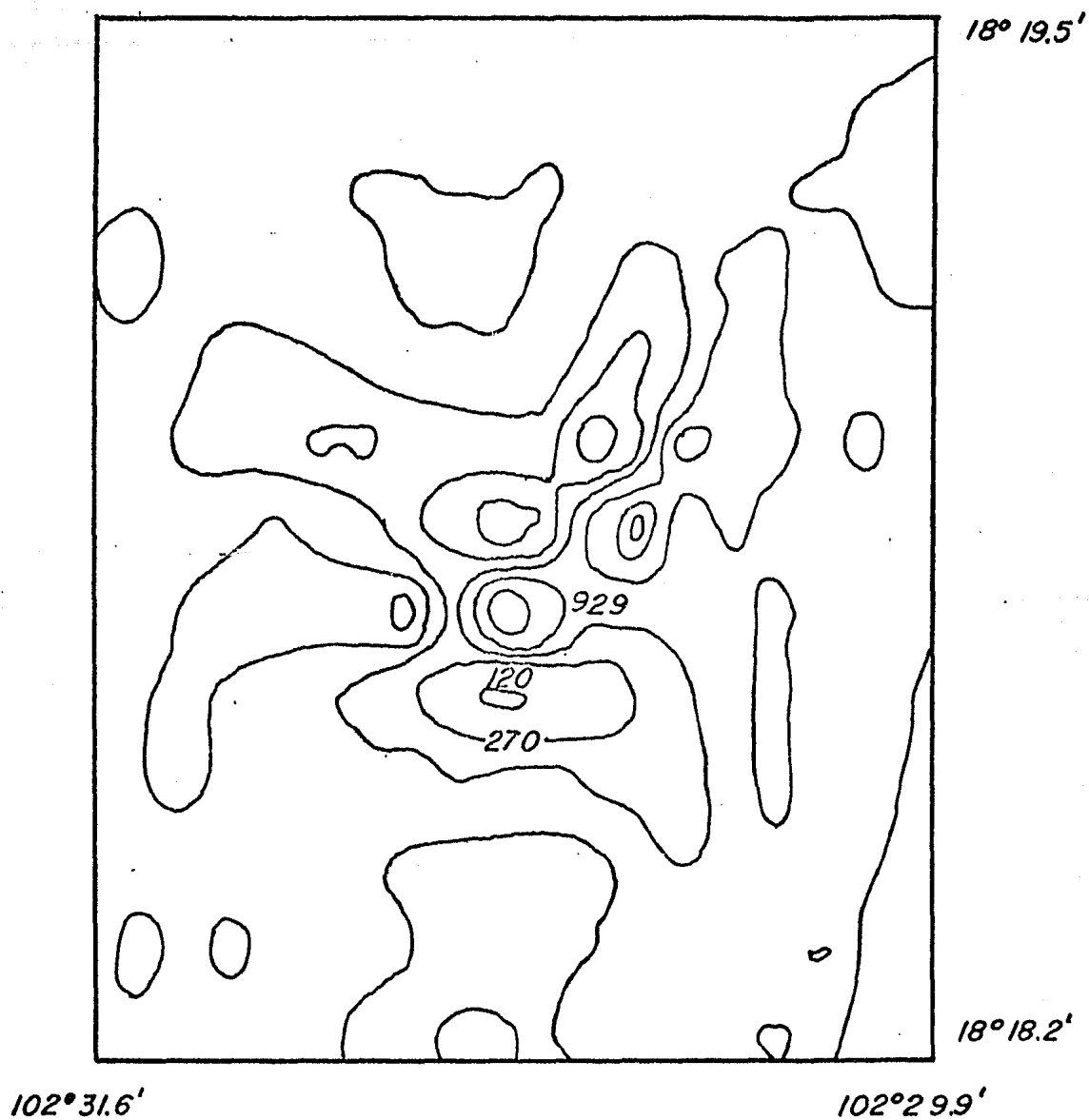


Fig VI.28 Mapa de primera derivada en superficie de la anomalía Pozos 3

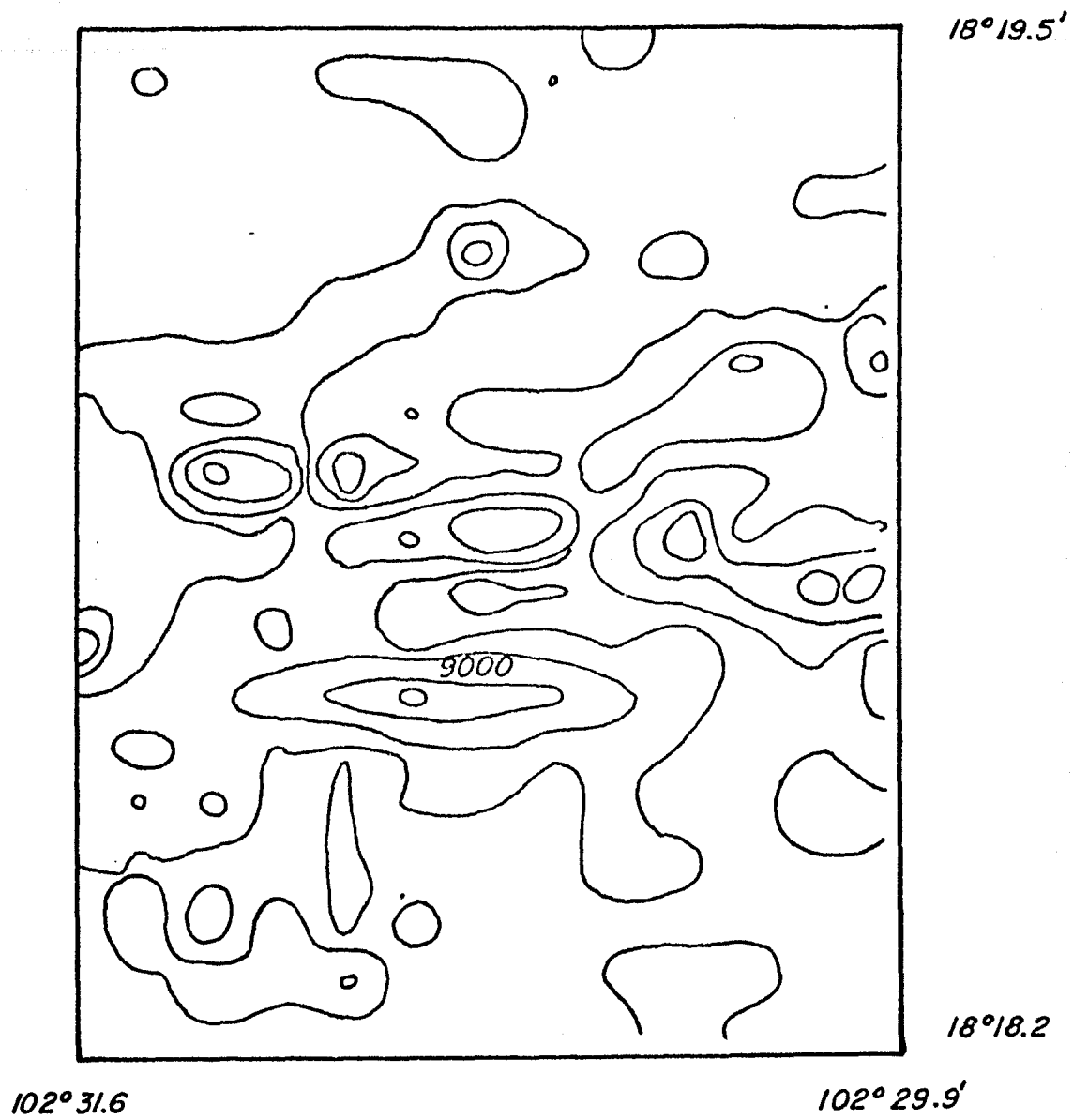


Fig VI.29 Mapa de segunda derivada en superficie de la anomalía Pozos 3

VI.4. ANALISIS E INTERPRETACION DE LA ANOMALIA LA MIRA.

La anomalía denominada La Mira presenta una forma dipolar con el mínimo hacia el NE y el máximo hacia el SW (ver fig. VI.30). La anomalía se localiza aproximadamente sobre un extenso afloramiento de rocas graníticas y andesíticas asignadas al Terciario (Tgr y Tva). La diferencia de amplitud entre el máximo y mínimo es de 1500 gammas. La separación entre el máximo y el mínimo es de 3000 metros. El máximo y el mínimo están orientados aproximadamente 30° NE. La anomalía cubre una área de 25 km^2 .

Los perfiles magnético y topográfico se muestran en la figura VI.31. La topografía presenta poco relieve.

En la figura VI.32 se muestra el plano de continuación analítica hacia arriba 200 metros y en la figura VI.33 el perfil de esta continuación. De la figura VI.32 vemos que la forma de la anomalía es exactamente igual a la observada y en la figura VI.33 observamos que el borde en la pendiente desaparece. Al continuar esta anomalía 600 metros hacia arriba (ver fig. VI.34) observamos que la forma de la anomalía se sigue conservando, el máximo y el mínimo todavía se definen. De esta observación podemos pensar que el cuerpo causante de esta anomalía es de dimensiones y profundidad considerables.

En la figura VI.35 se muestra el plano de continuación analítica hacia abajo 200 metros y en la figura VI.36 el perfil de esta continuación, observamos que la forma de la anomalía se conserva. El perfil es similar al observado.

En la figura VI.37 se muestra el plano de primera derivada en superficie. Lo que observamos es que hay un cambio suave en el gradiente y que éste sigue la forma de la anomalía. Además parece que éste nos indicara la presencia de dos cuerpos ó un cuerpo alargado.

El plano de segunda derivada en superficie se muestra en la figura VI.38. En esta figura observamos la delineación de un contorno A que posiblemente pueda ser del cuerpo principal.

De la forma y orientación de la anomalía (ver fig. VI.30 y VI.31) se estimaron los posibles geométricos y las propiedades magnéticas de la estructu-

ra fuente de la anomalía. La forma dipolar y orientación de la anomalía puede modelarse con un cuerpo tabular ó prismático, con una magnetización efectiva (mag. remanente mag. inducido) con declinación aproximada N-S ($D=7^{\circ}$). De aquí, se hizo una primera estimación de los parámetros del modelo, profundidad 3.5 km, ancho 5 km y posición y de sus propiedades magnéticas, dirección e intensidad de su magnetización efectiva. Con estos datos, se usó el algoritmo bidimensional de Talwari para calcular el efecto magnético correspondiente, el cual se comparó con los datos de la anomalía observada. A partir de esto, se variaron los parámetros del modelo para tratar de ajustar los datos calculados con los observados. Se probaron varios modelos, lo que permitió también evaluar los efectos relativos de las variaciones en los parámetros del cuerpo. En la figura VI.39 se muestra el modelo que mejor reproduce los datos observados. Este modelo tiene los siguientes parámetros: profundidad 5 km, ancho 6 km, sus 0.012, dirección 50° e intensidad 43000 de su magnetización efectiva.

De acuerdo a las características del cuerpo anómalo, de sus propiedades y de la geología regional, podemos decir que el cuerpo anómalo es un dique, un cuerpo ígneo intrusivo.

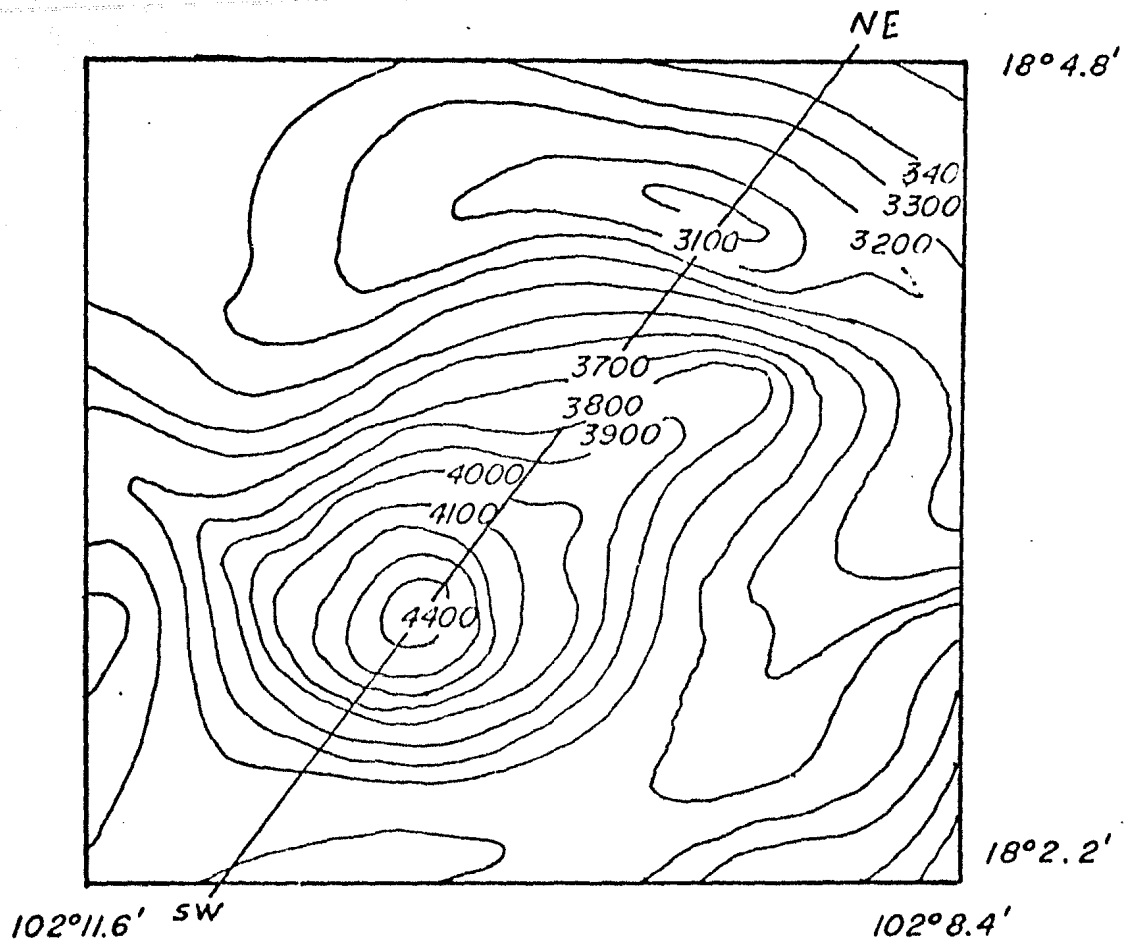
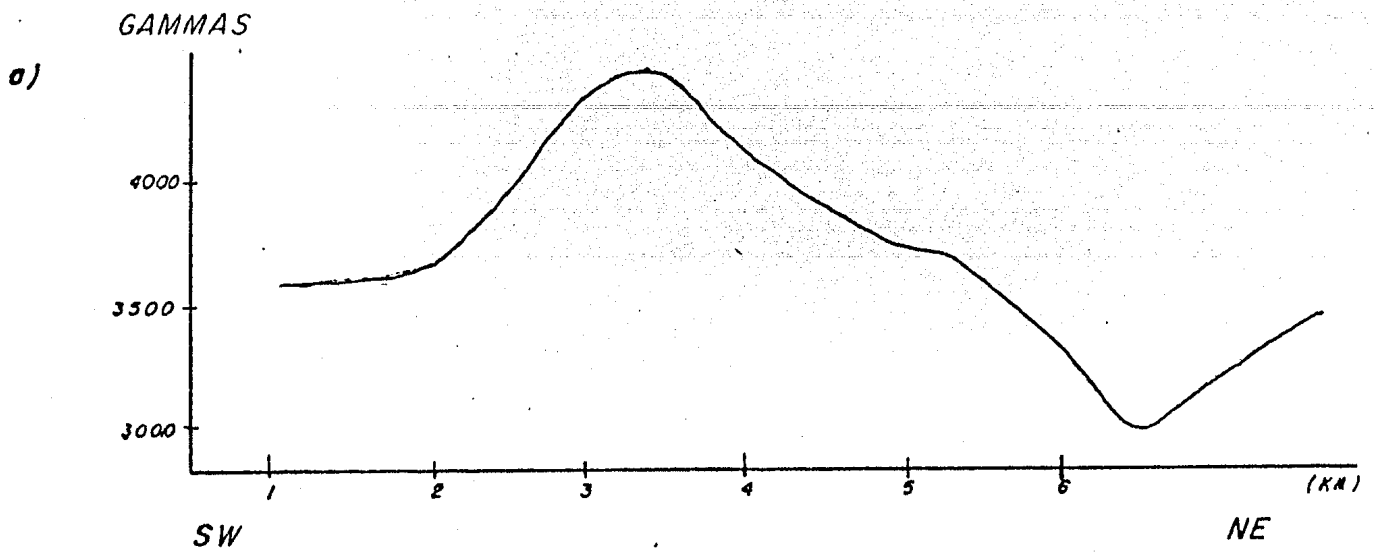
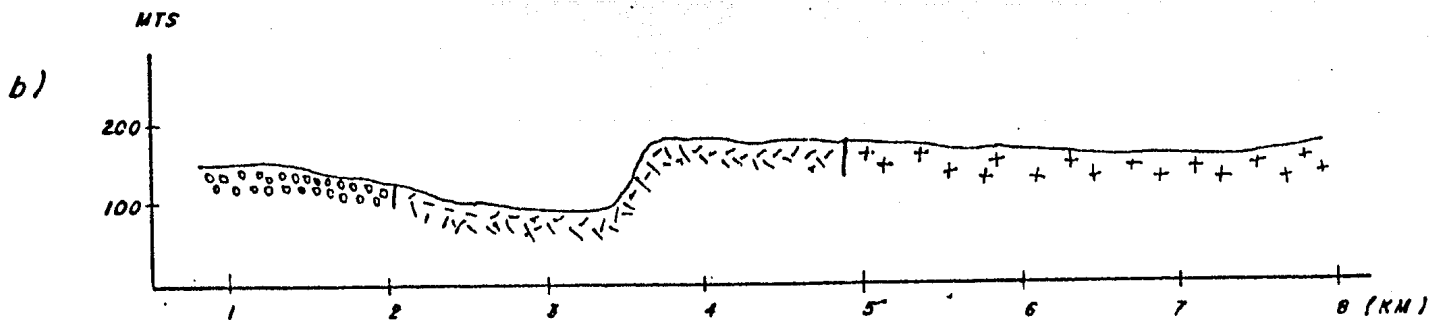


Fig VI.30 Mapa aeromagnético de la anomalía

La Mira

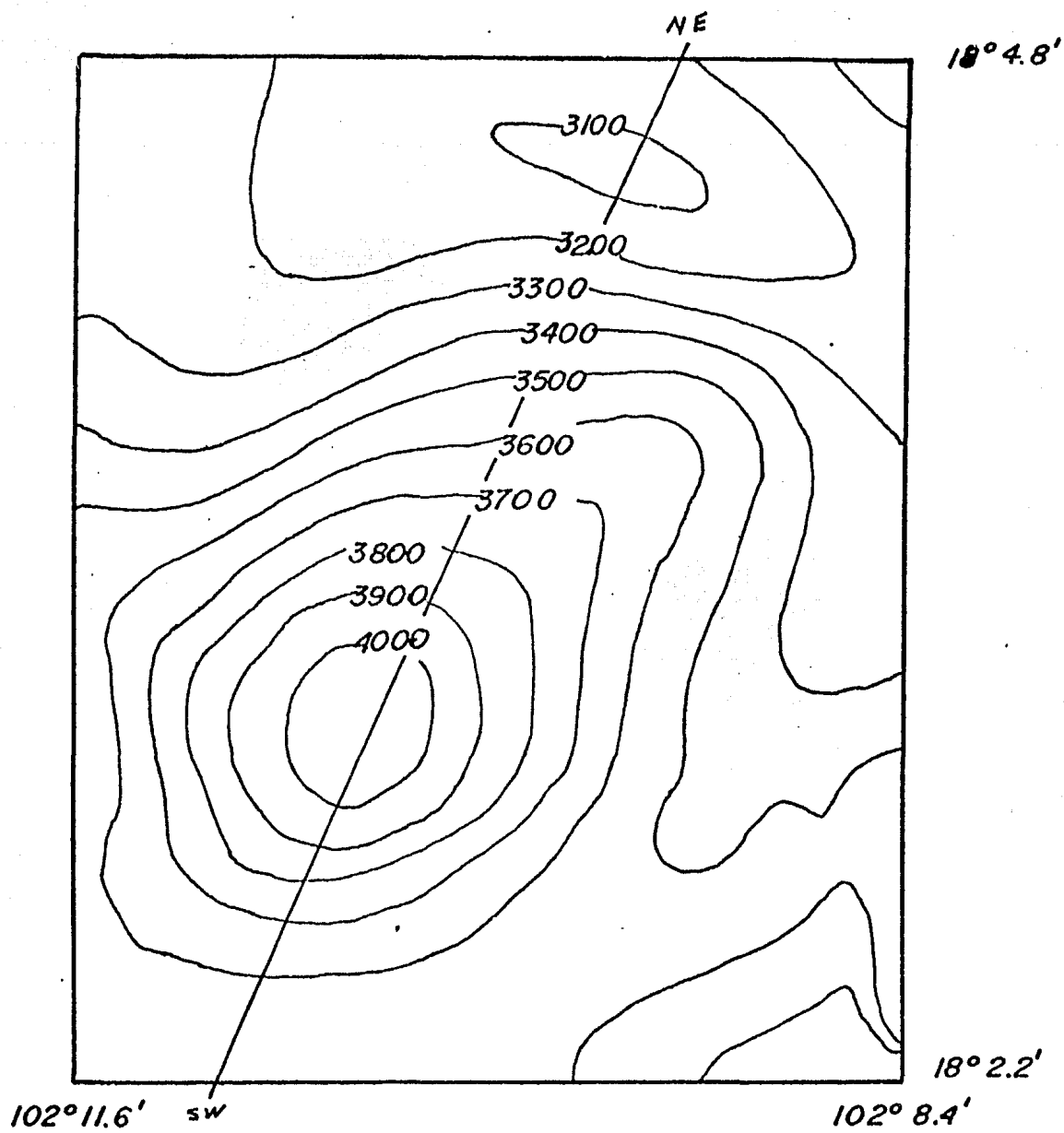


(a)

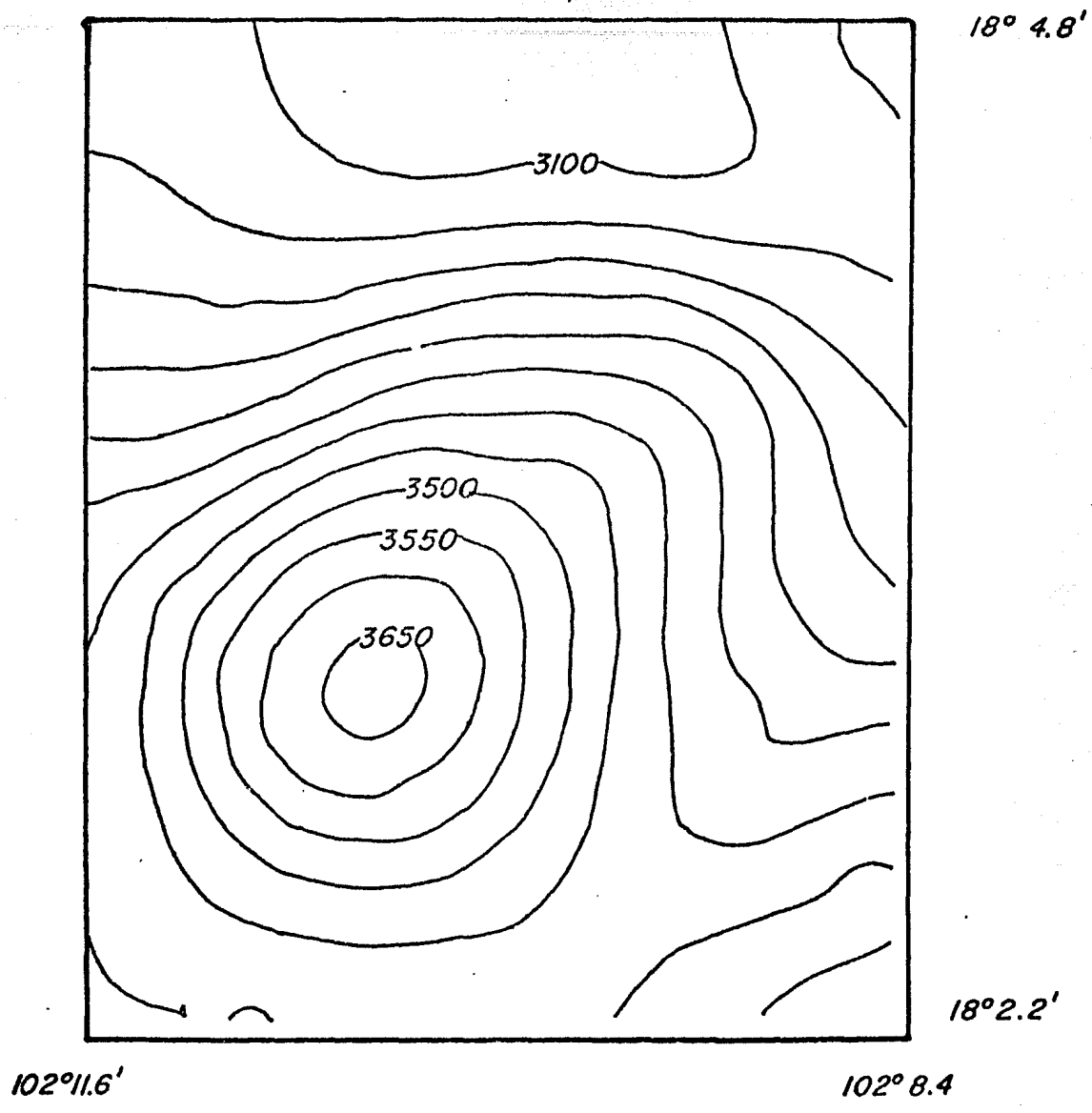


(b)

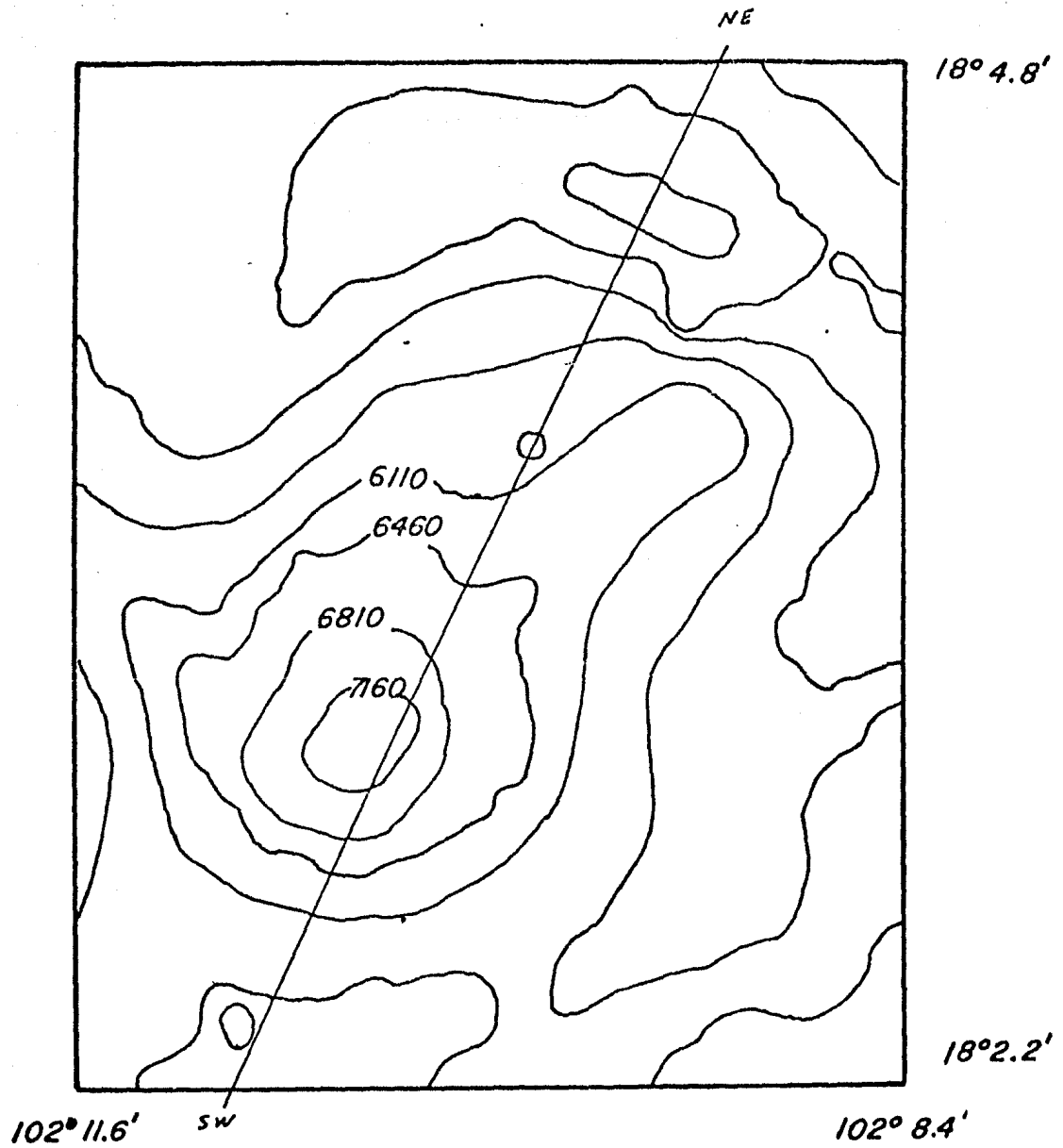
Perfiles a) Magnético b) Topográfico de la anomalía la Mira



*Fig VI.32 Mapa de continuación analítica hacia arriba
200 metros de la anomalía La Mira*



*Fig VI.34 Mapa de continuación analítica hacia arriba
600 metros de la anomalía La Mira*



*Fig VI.35 Mapa de continuación analítica hacia abajo
200 metros de la anomalía La Mira*

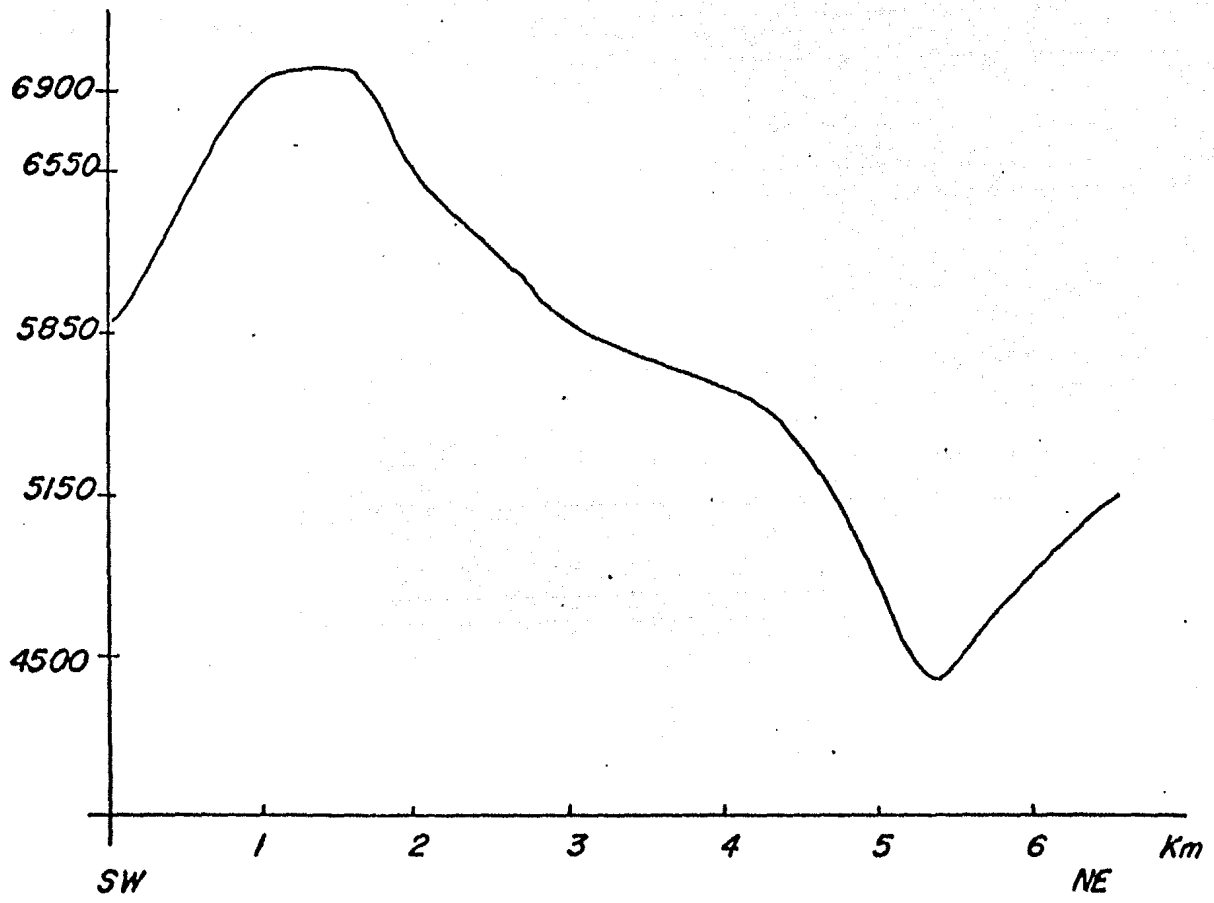
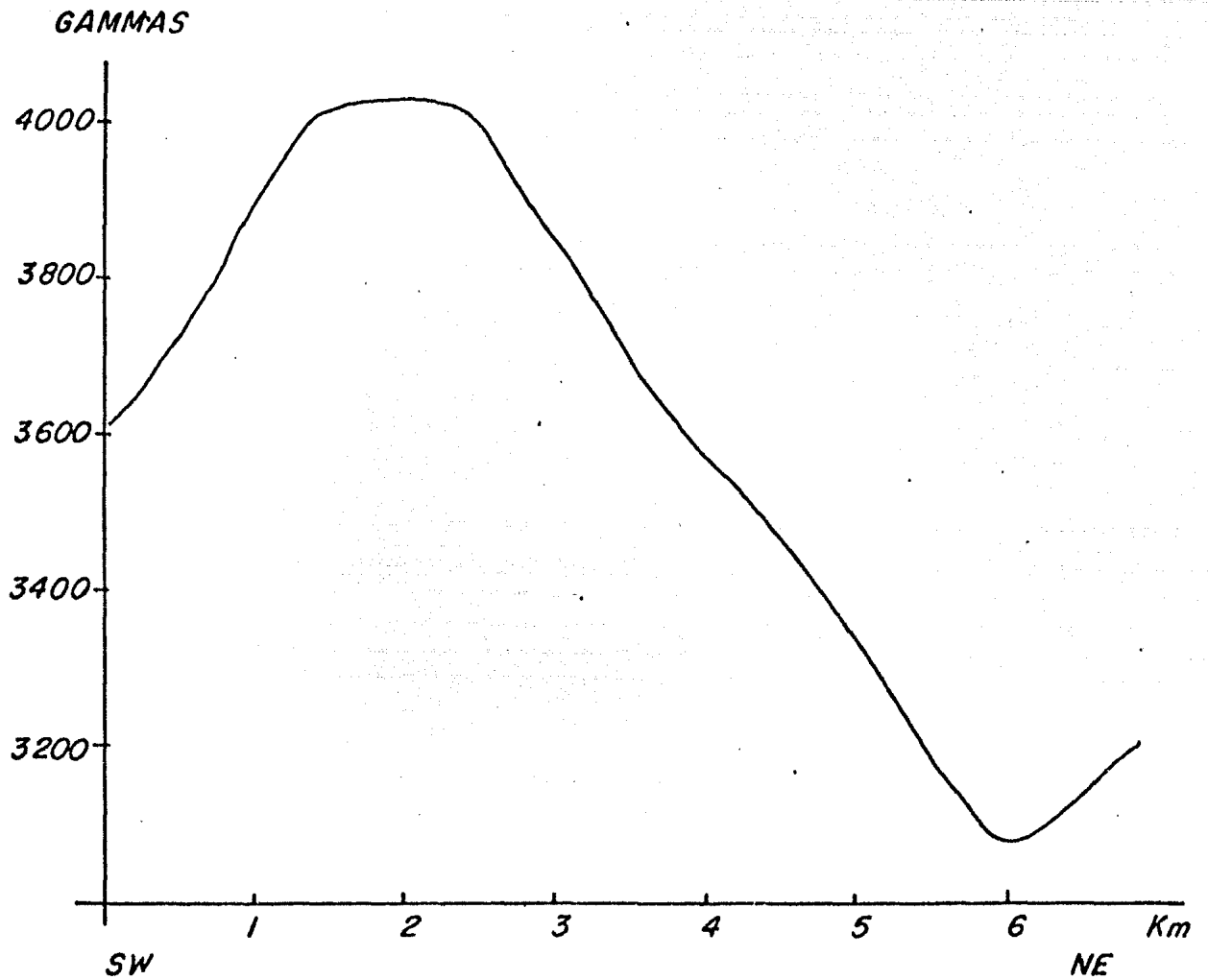


Fig VI. 36 Perfil de la c.a. hacia abajo de la anomalía La Mira



*Fig VI. 33 Perfil de la c.a. hacia arriba de la anomalia
La Mira*

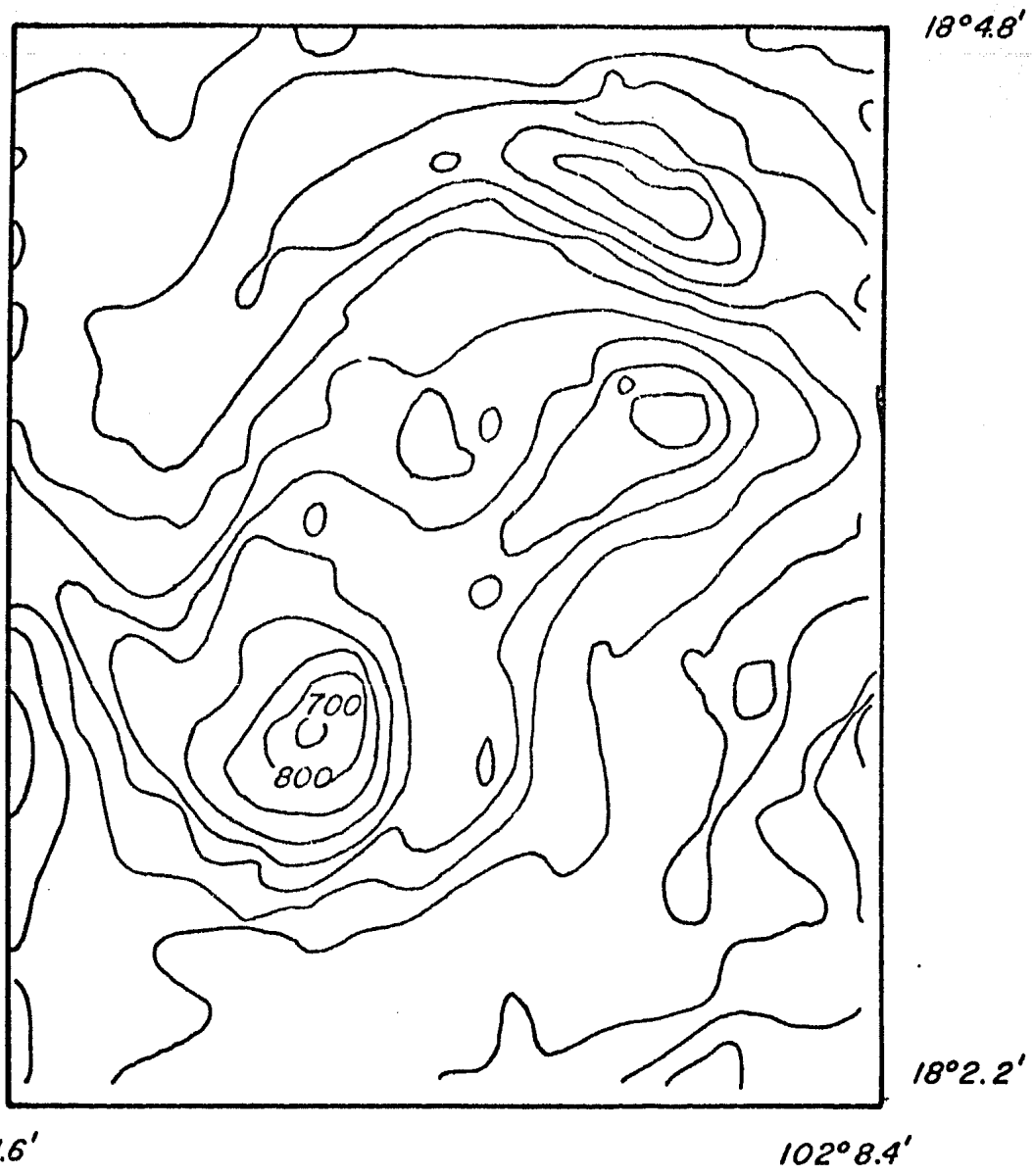


Fig VI.37 Mapa de la primera derivada en superficie de la anomalía La Mira

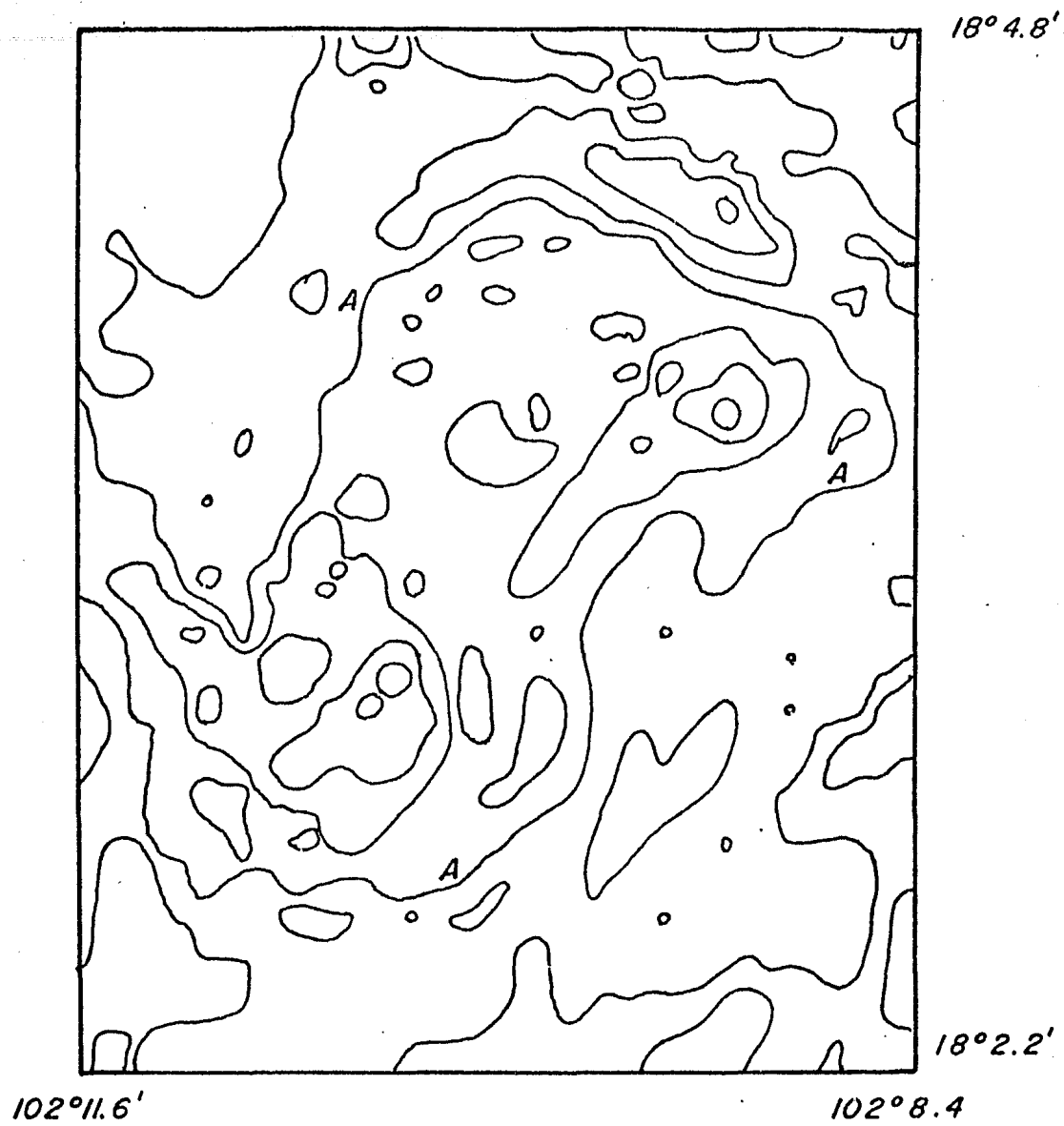
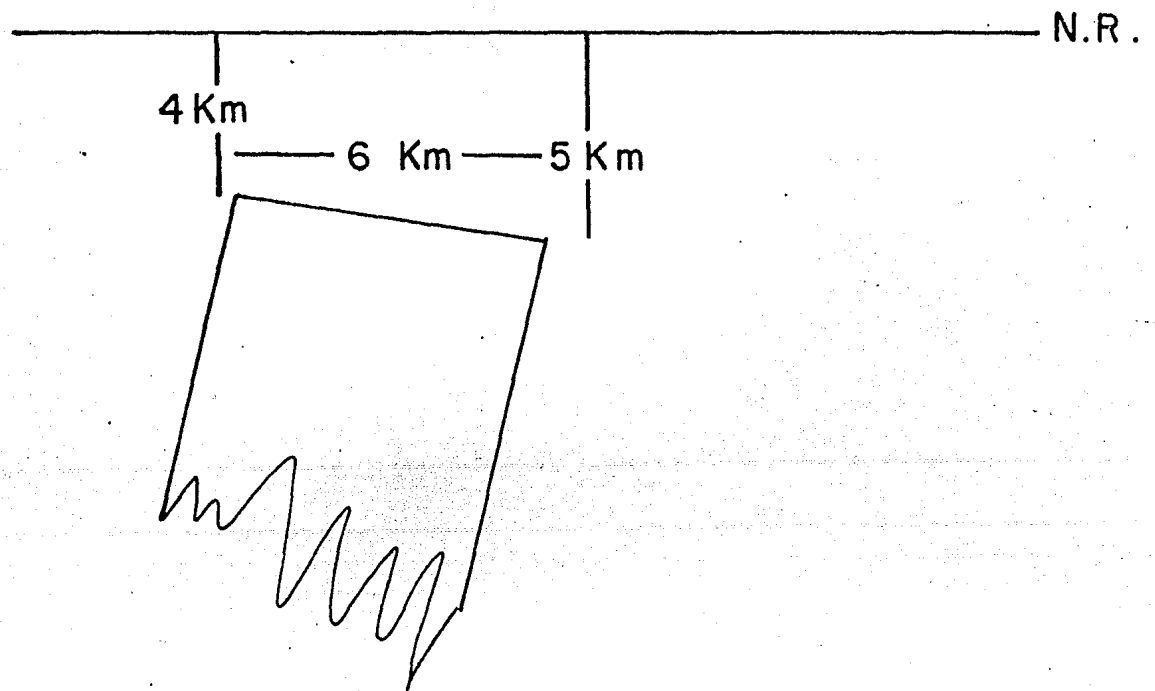
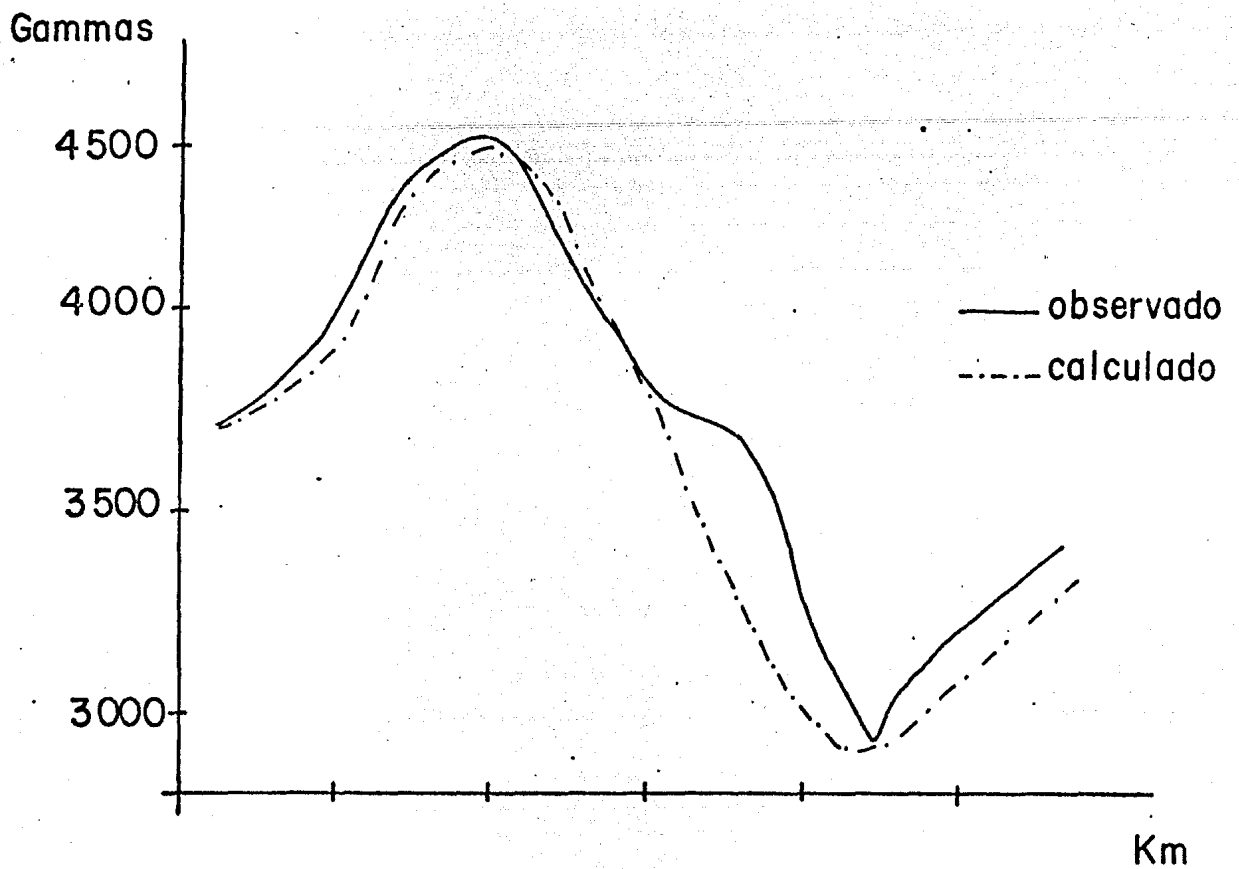


Fig VI.38 Mapa de segunda derivada en superficie de la anomalía La Mira



Comparación del perfil magnético observado con el calculado para la anomalía La Mira.

VI.5. ANALISIS E INTERPRETACION DE LA ANOMALIA LAS TRUCHAS.

En la figura VI.40 se muestra a la anomalía Las Truchas.

Esta es una anomalía bastante compleja, presenta una serie de máximos y mínimos en diferentes direcciones.

En la figura VI.41 se presenta el perfil magnético y topográfico en la dirección N-S. Además, se trazaron varios perfiles magnéticos en diferentes direcciones para ver la complejidad de la anomalía (ver fig. VI.42).

El perfil principal en la dirección N-S nos muestra que la diferencia de amplitud entre el máximo y el mínimo es de 2000 gammas. Se observa que la forma de la anomalía es monopolar. La anomalía se encuentra sobre un afloramiento extenso de rocas cuarzo-dioritas, areniscas, graníticas, metamórficas asignadas al Terciario (Tcd, Tac, Tgr, Tm). Esta anomalía cubre una área de 56 km².

En la figura VI.43 se presenta el plano de continuación analítica hacia arriba 200 metros y en la figura VI.44 se muestra el perfil de esta continuación. De las figuras mencionadas podemos observar que la forma general de la anomalía se conserva, aunque desaparecen algunas formas locales. En la figura VI.45 se muestra el plano de continuación analítica hacia arriba 600 metros y también observamos que la forma general de la anomalía se conserva.

En la figura VI.46 se muestra el plano de continuación analítica hacia abajo 200 metros y en la figura VI.47 el perfil de esta continuación. Podemos observar que la forma de la anomalía es similar a la forma observada, el efecto del posible cuerpo principal se manifiesta.

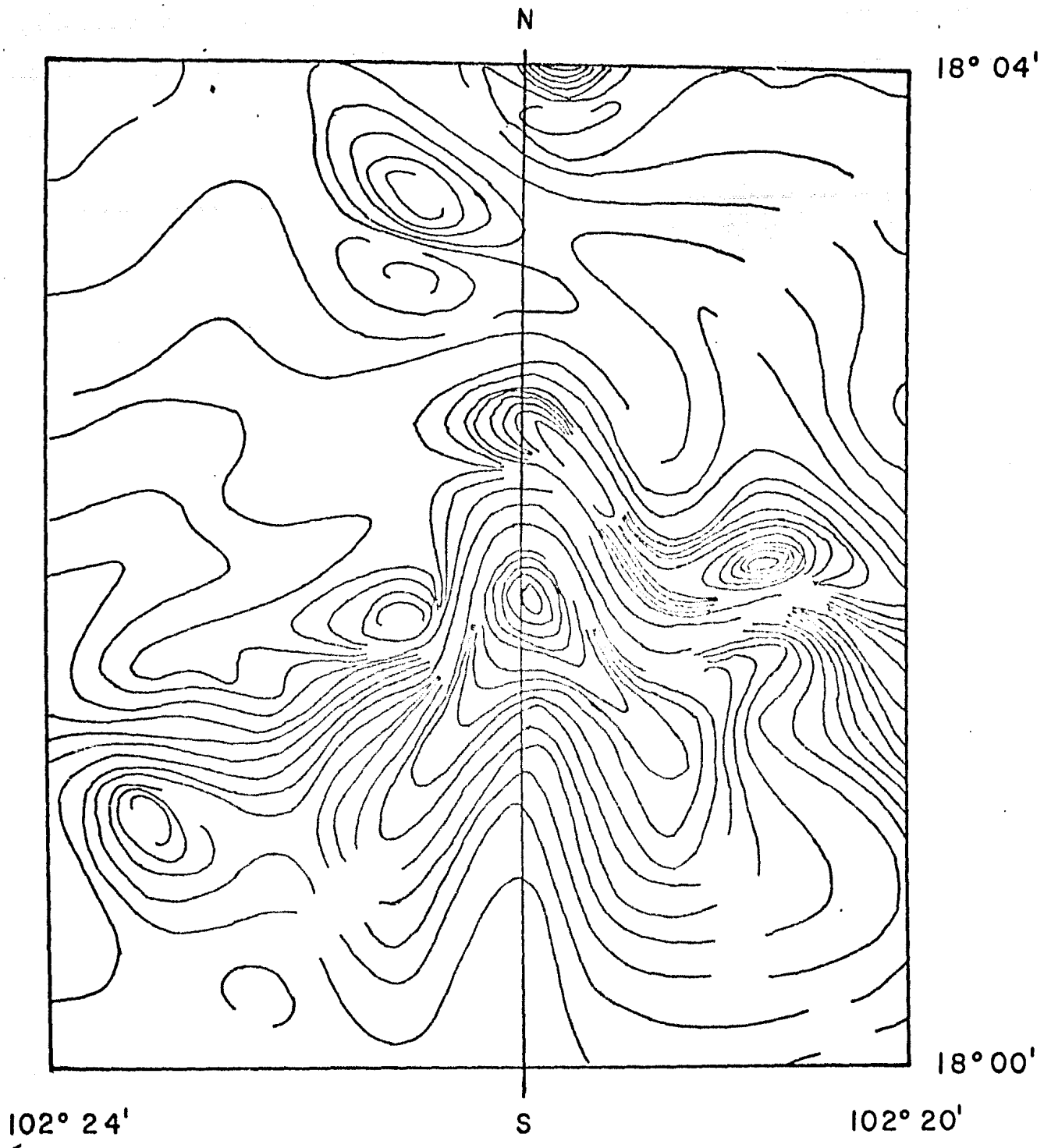
En la figura VI.48 se muestra el plano de primera derivada en superficie y observamos que el gradiente sigue a la forma general de la anomalía y sobre todo la del cuerpo principal.

El plano de segunda derivada en superficie se muestra en la figura VI.49. Se delinea un contorno que posiblemente sea el del cuerpo principal.

De la forma y orientación de la anomalía (ver fig. VI.40 y VI.41) se estimaron los posibles parámetros geométricos y las propiedades magnéticas de la estructura fuente de la anomalía. La forma dipolar y orientación de la anomalía puede modelarse con un cuerpo tabular ó prismático, con una magnetiza--

ción efectiva (mag. remanente mag. inducida) con declinación aproximada N-S - ($D=7^\circ$). De aquí, se hizo una primera estimación de los parámetros del modelo, profundidad 4.5 km, ancho 6 km, posición y de sus propiedades magnéticas, dirección e intensidad de su magnetización efectiva. Con estos datos, se usó - el algoritmo bidimensional de Talwani para calcular el efecto magnético correspondiente, el cual se comparó con los datos de la anomalía observada. A partir de esto, se variaron los parámetros del modelo para tratar de ajustar los datos calculados con los datos observados. Se probaron varios modelos, lo que permitió también evaluar los efectos relativos de las variaciones en los parámetros del cuerpo. En la figura VI.50 se muestra el modelo que mejor reproduce los datos observados. Este modelo tiene los siguientes parámetros: profundidad 5.5 km (promedio), ancho 8 km, sus 0.012 emu, dirección 50° e intensidad 43000 gammas de su magnetización efectiva.

De acuerdo a las características del cuerpo, de sus propiedades y de la geología regional, podemos decir que el cuerpo anómalo se trata de un cuerpo ígneo intrusivo, pudiendo corresponder a un dique.



Mapa aeromagnético de la anomalía Las Truchas.

a) GAMMAS

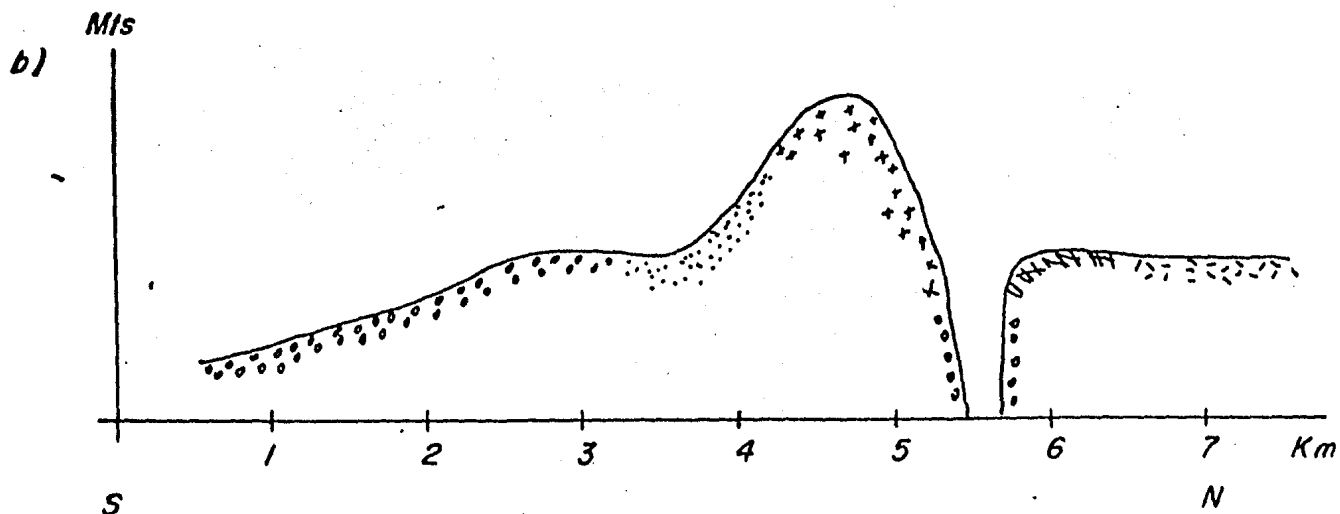
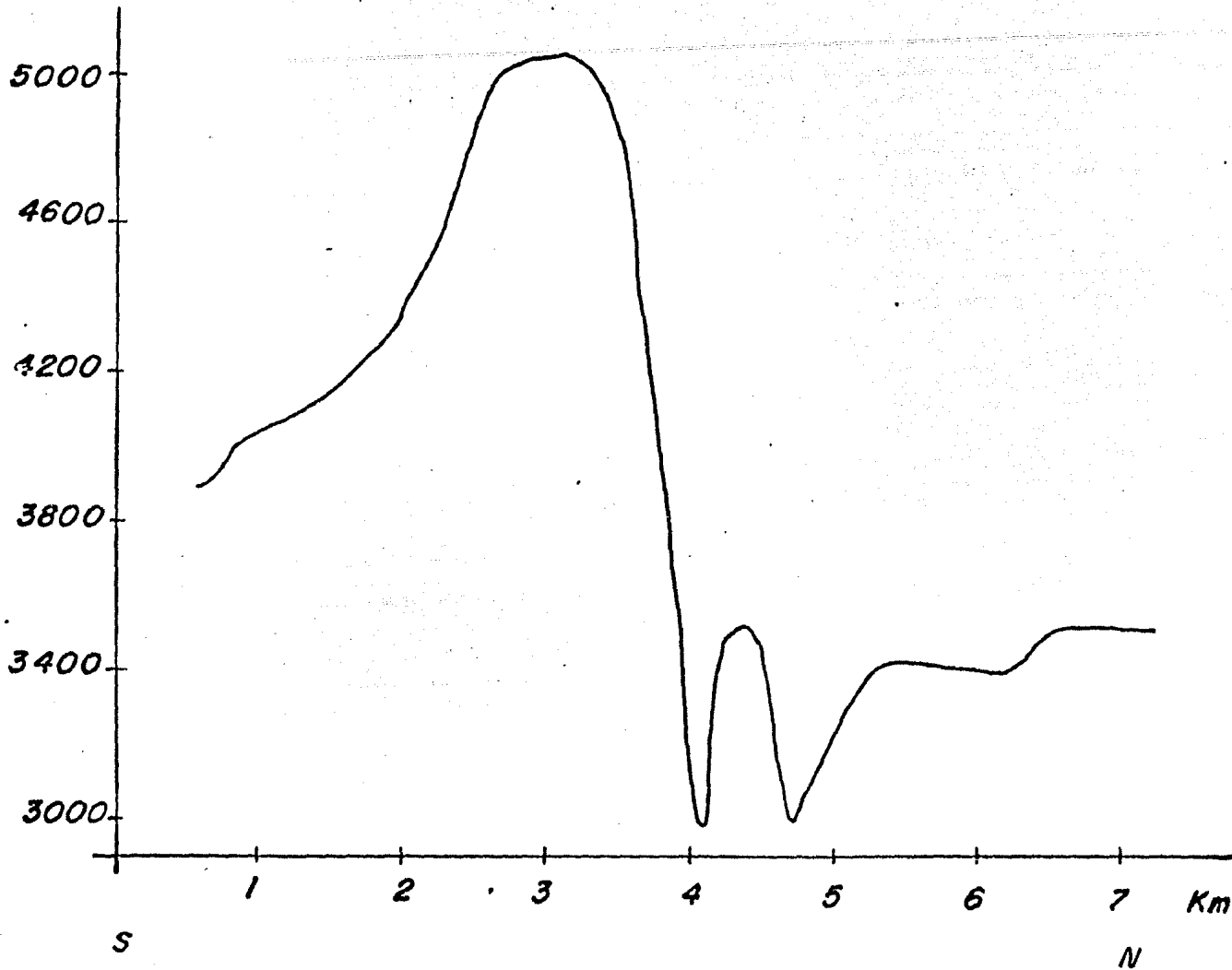


Fig VI.41 Perfil a) Magnético; b) Topográfico de la anomalía Las Truchas.

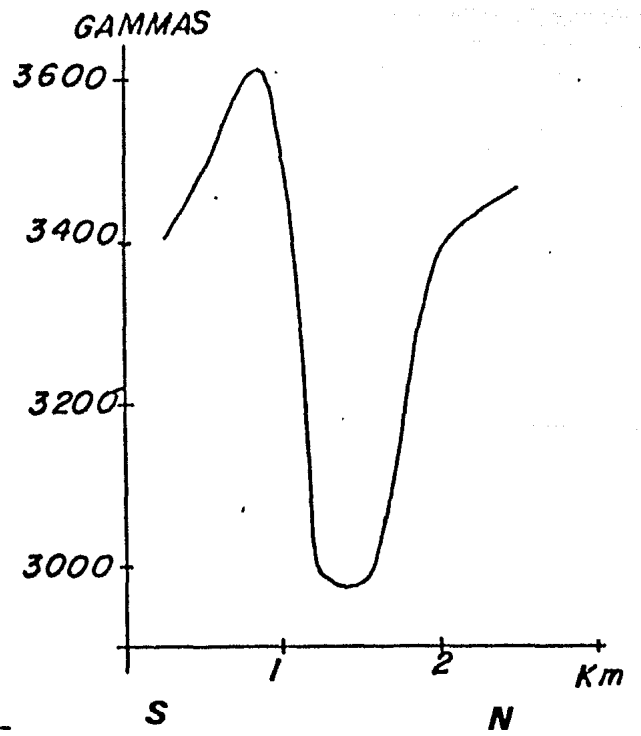
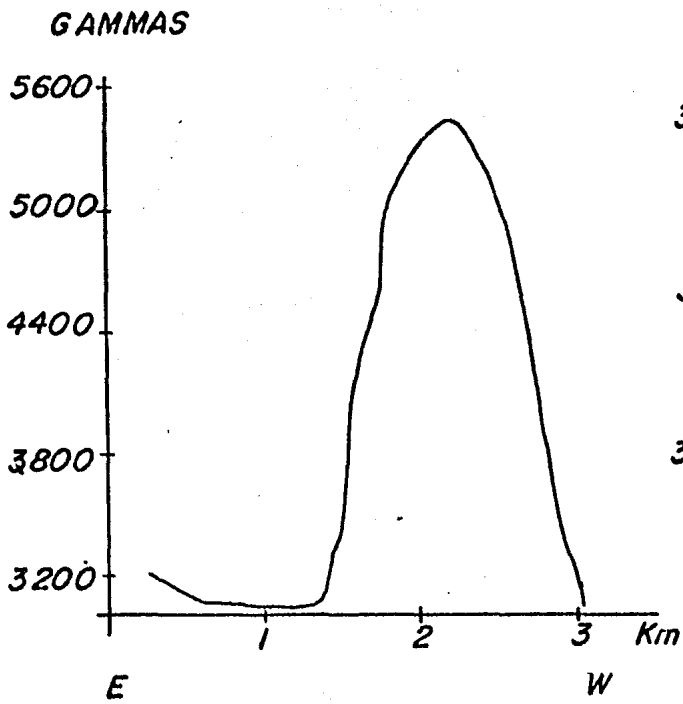
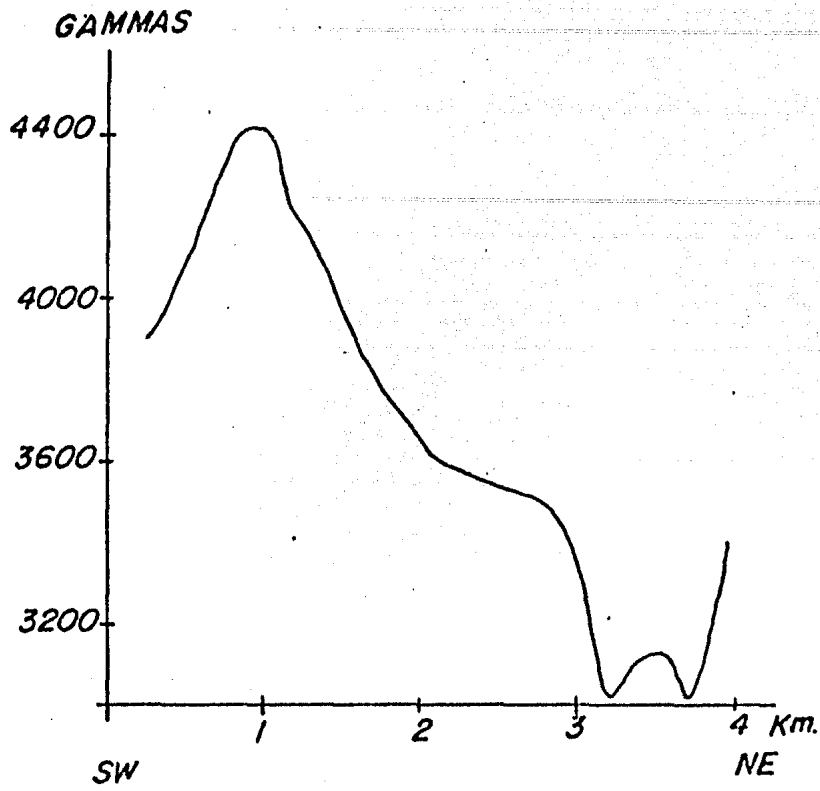
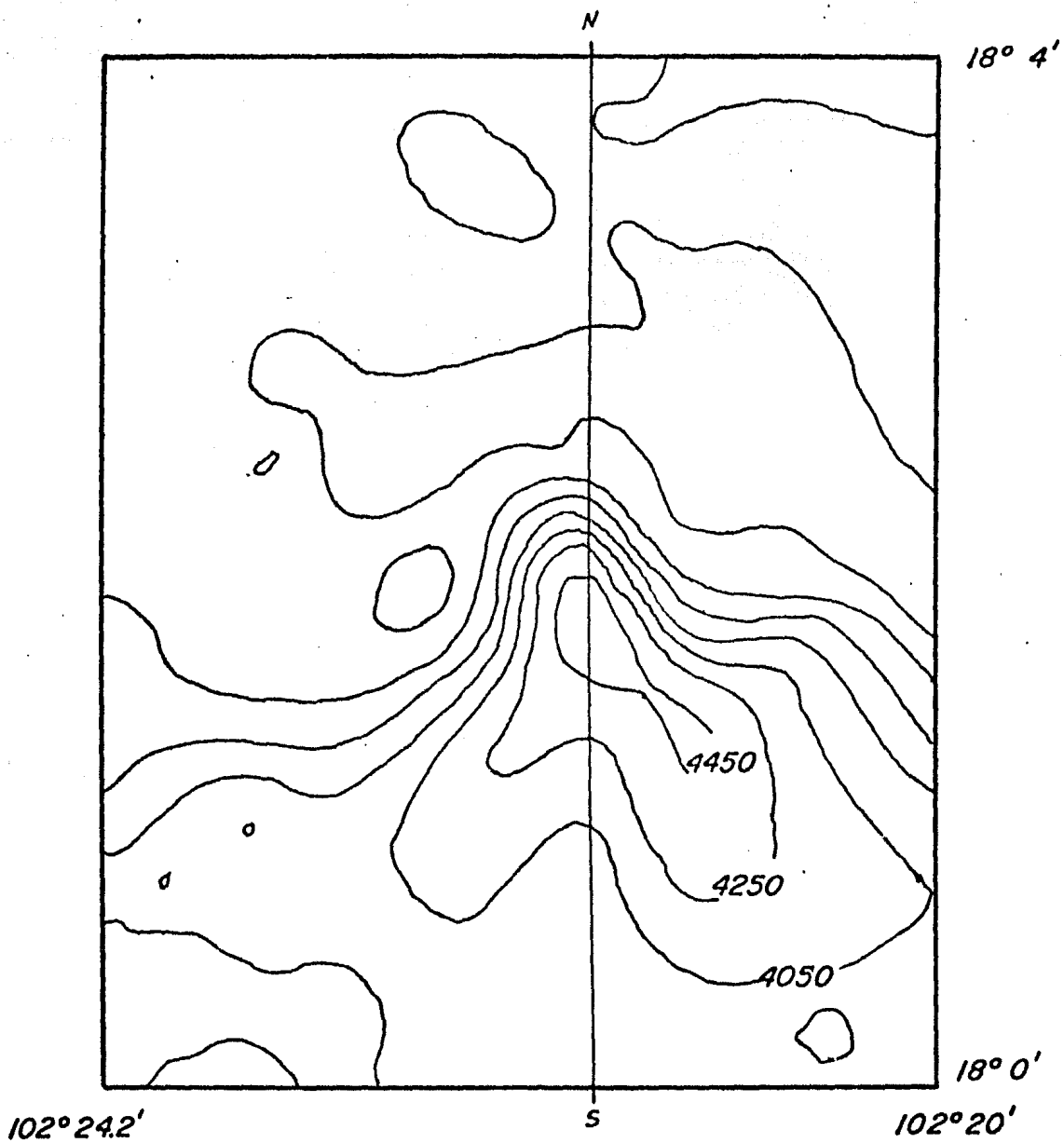
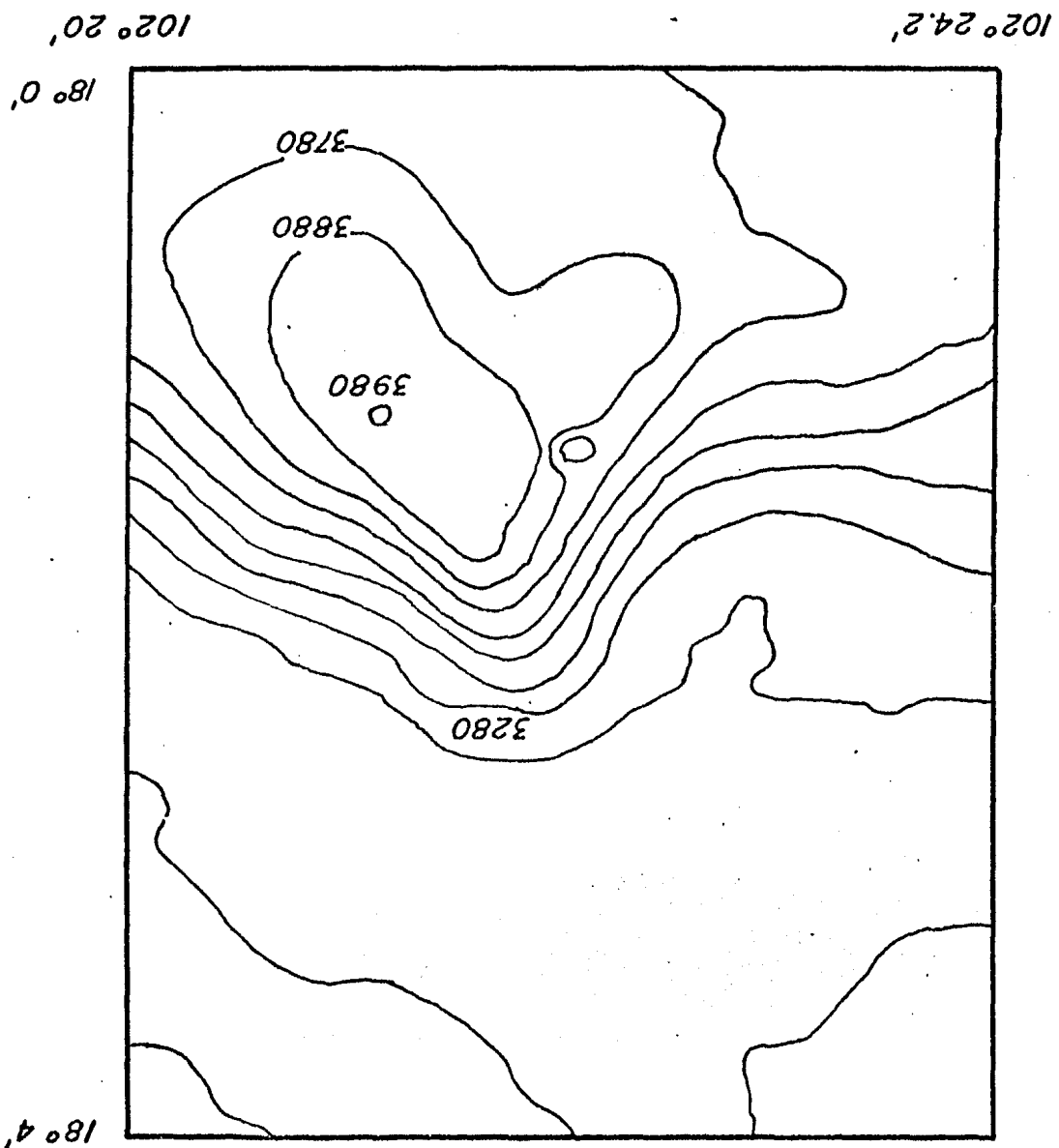


Fig. VI. 42



*Fig VI.43 Mapa de continuación analítica hacia arriba
200 metros de la anomalía Las Truchas*

Fig VI. 45 Mapa de continuación analítica hacia arriba
600 metros de la anomalía Las Truchas



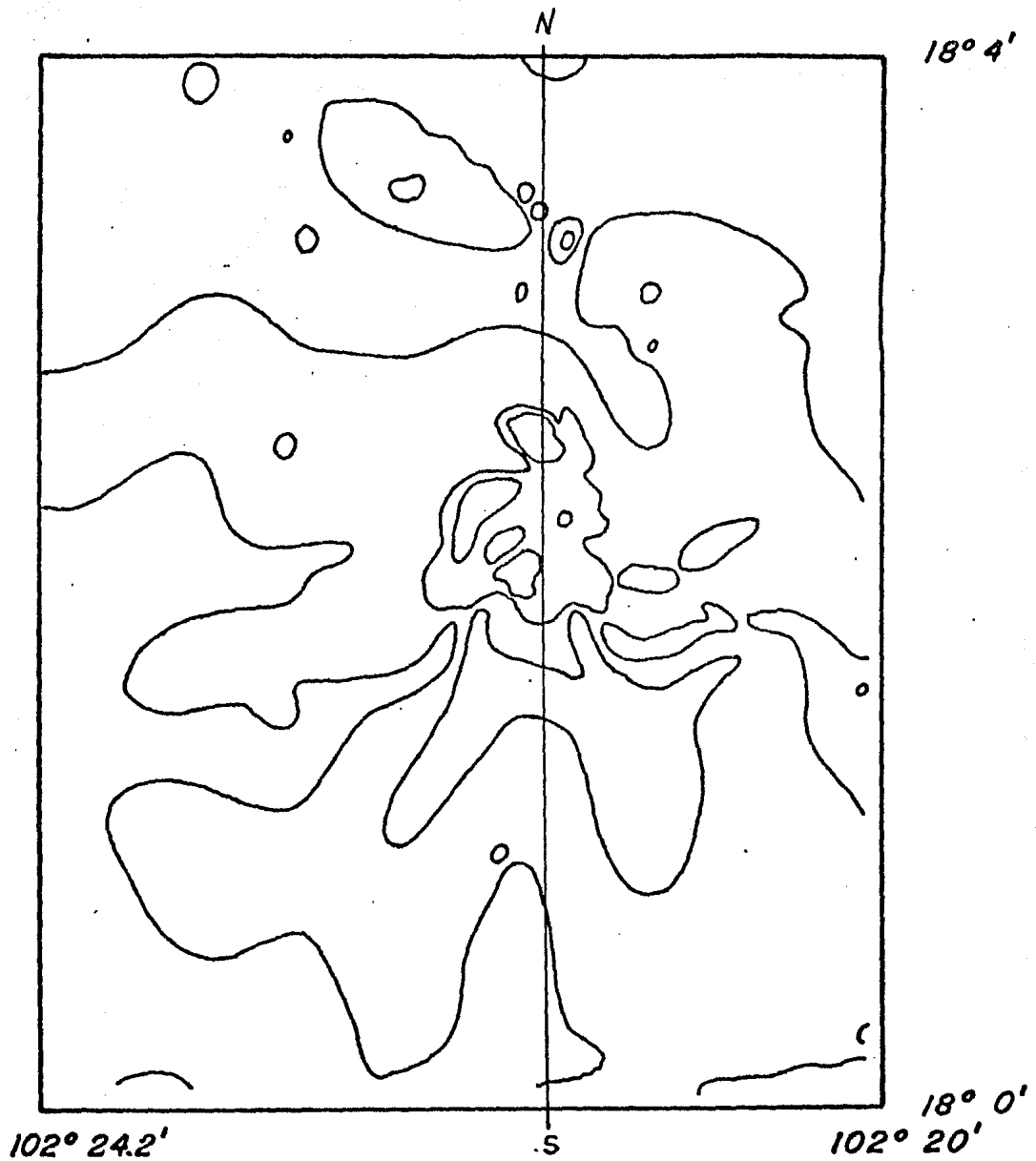


Fig. VI.46 Mapa de continuación analítica hacia abajo 200 m de la anomalía Las Truchas

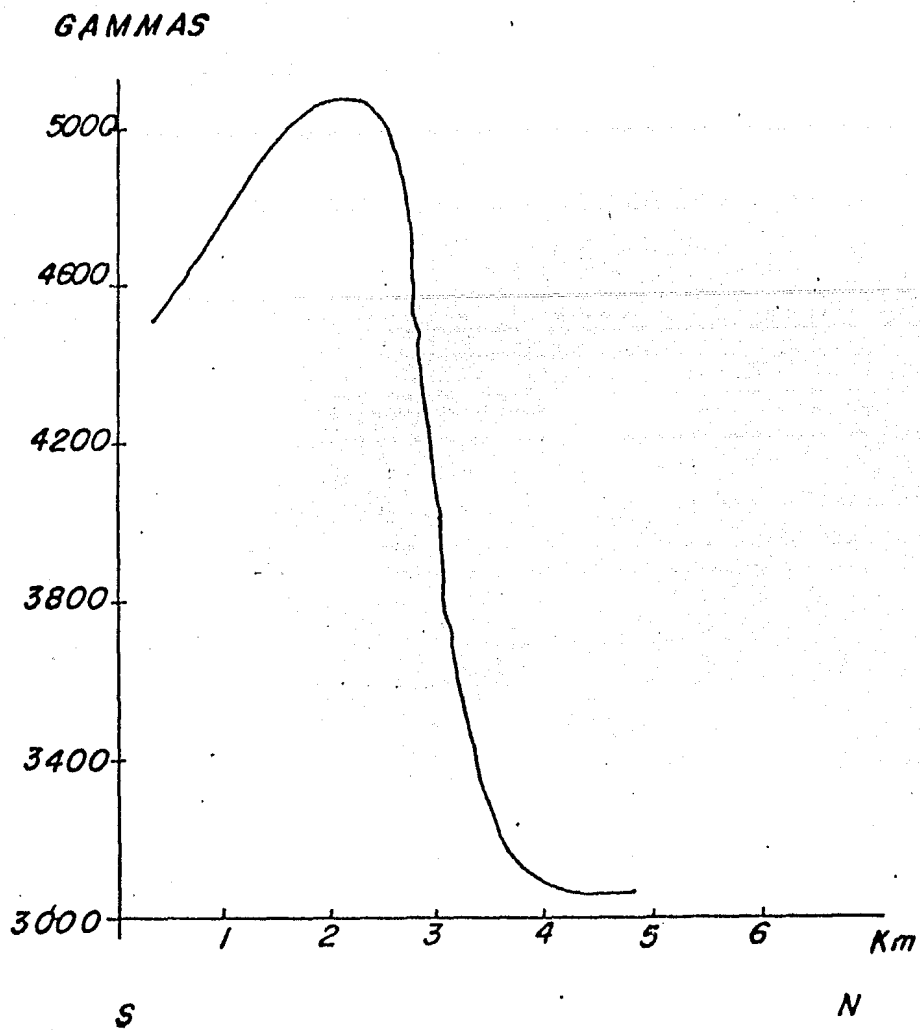


Fig. VI.44. Perfil de la c.a. hacia arriba 200 m de la anomalía Las Truchas.

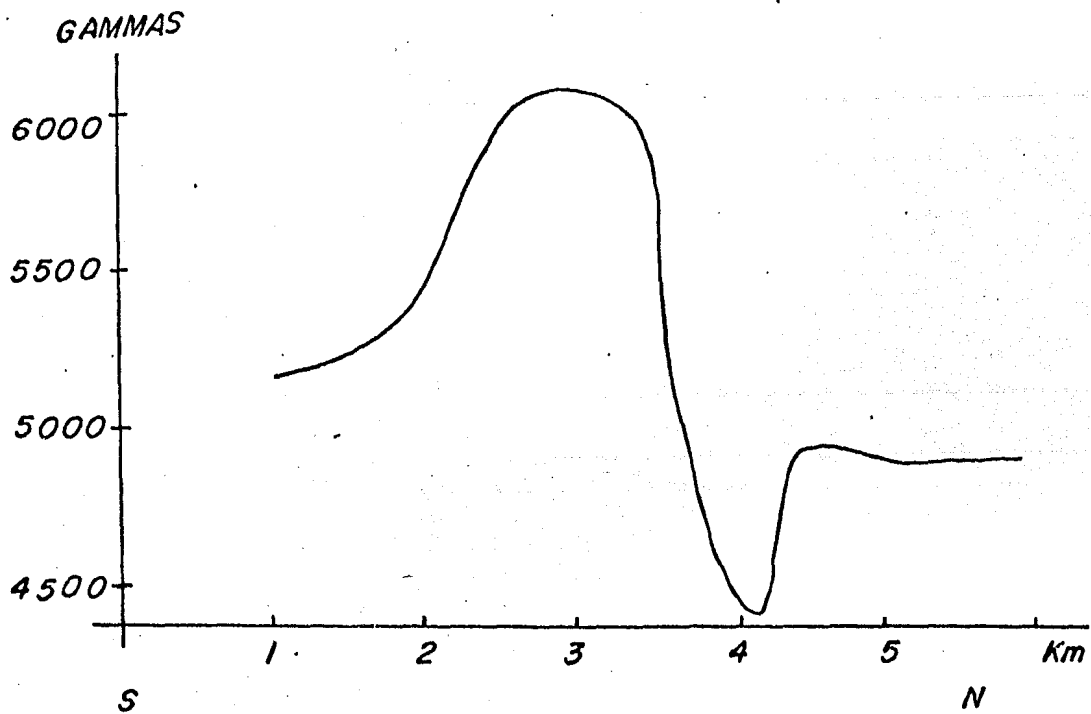


Fig. VI.47. Perfil de la c.a. hacia abajo 200 m de la anomalía Las Truchas

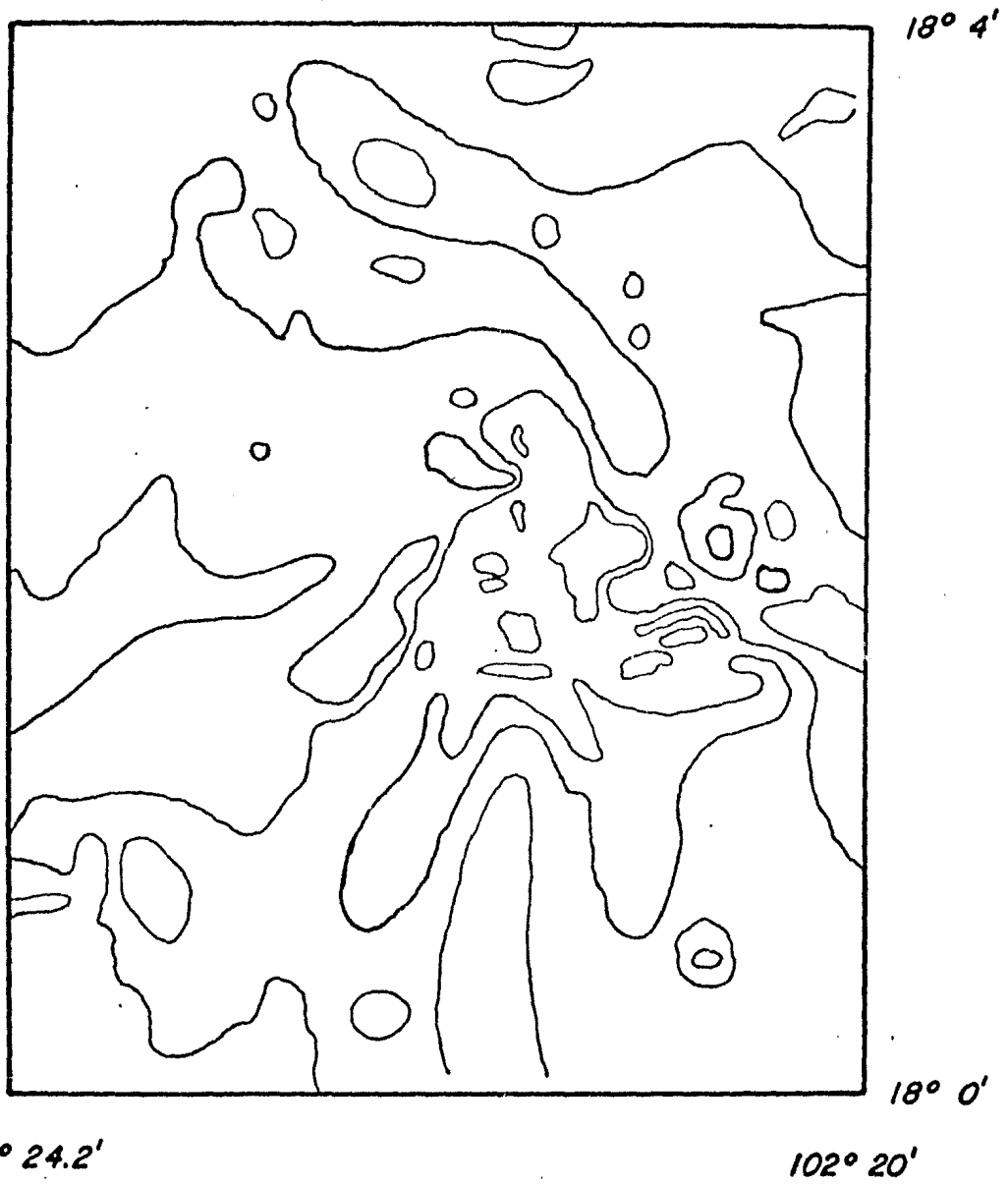


Fig. VI.48 Mapa de primera derivada en superficie de la anomalía Las Truchas

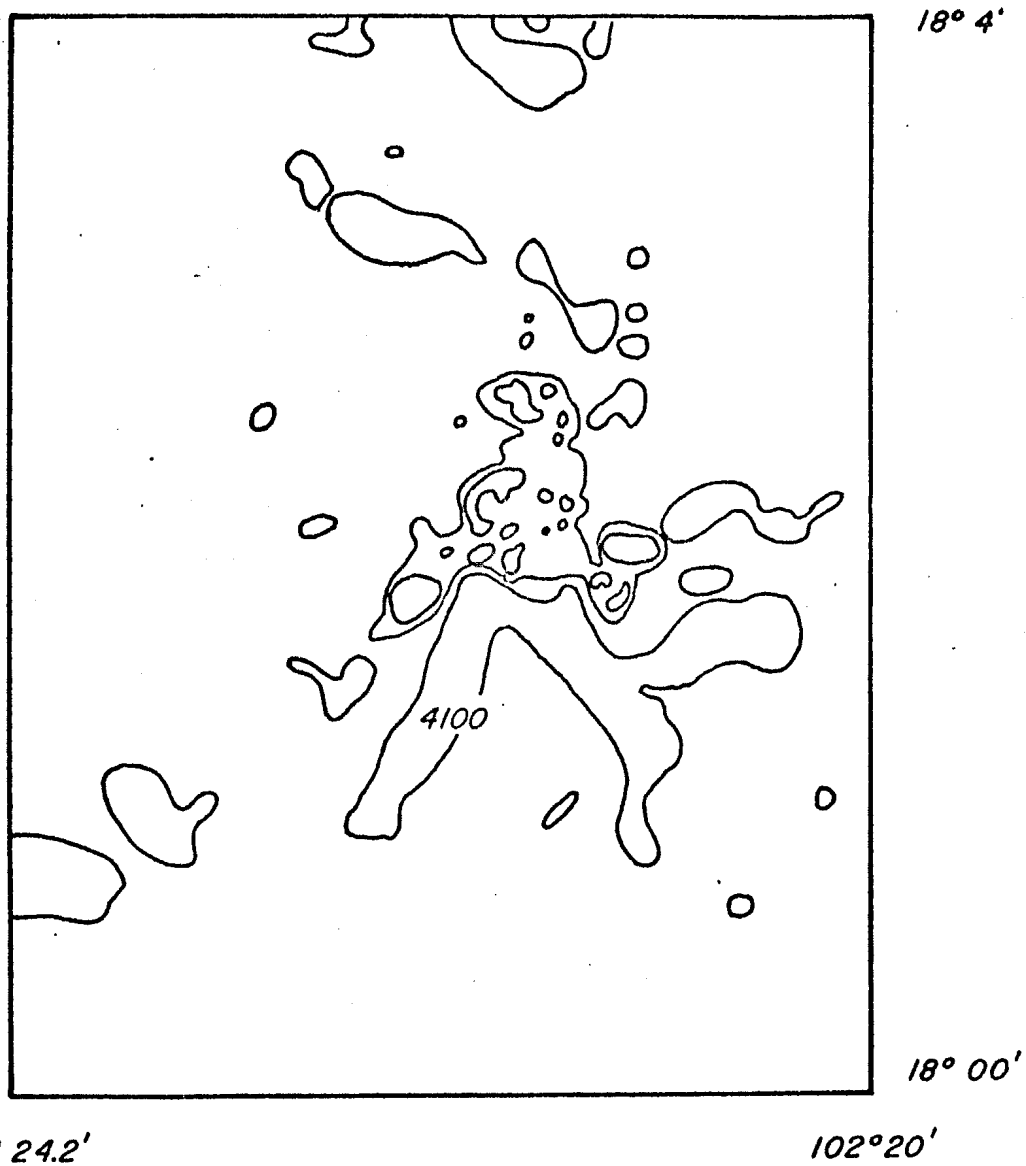
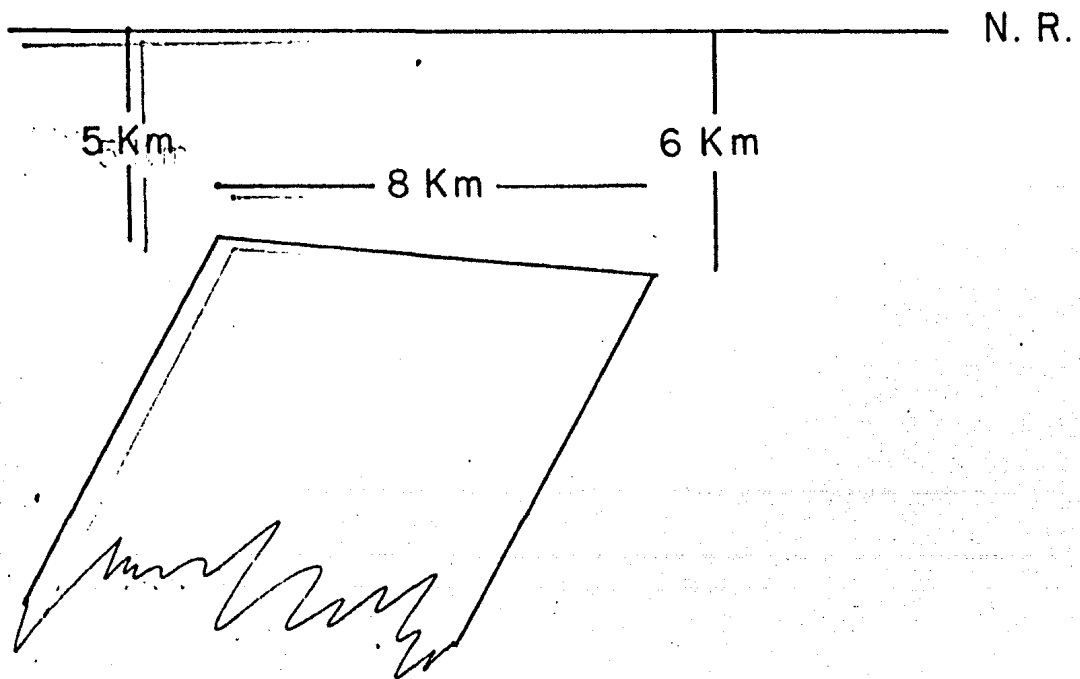
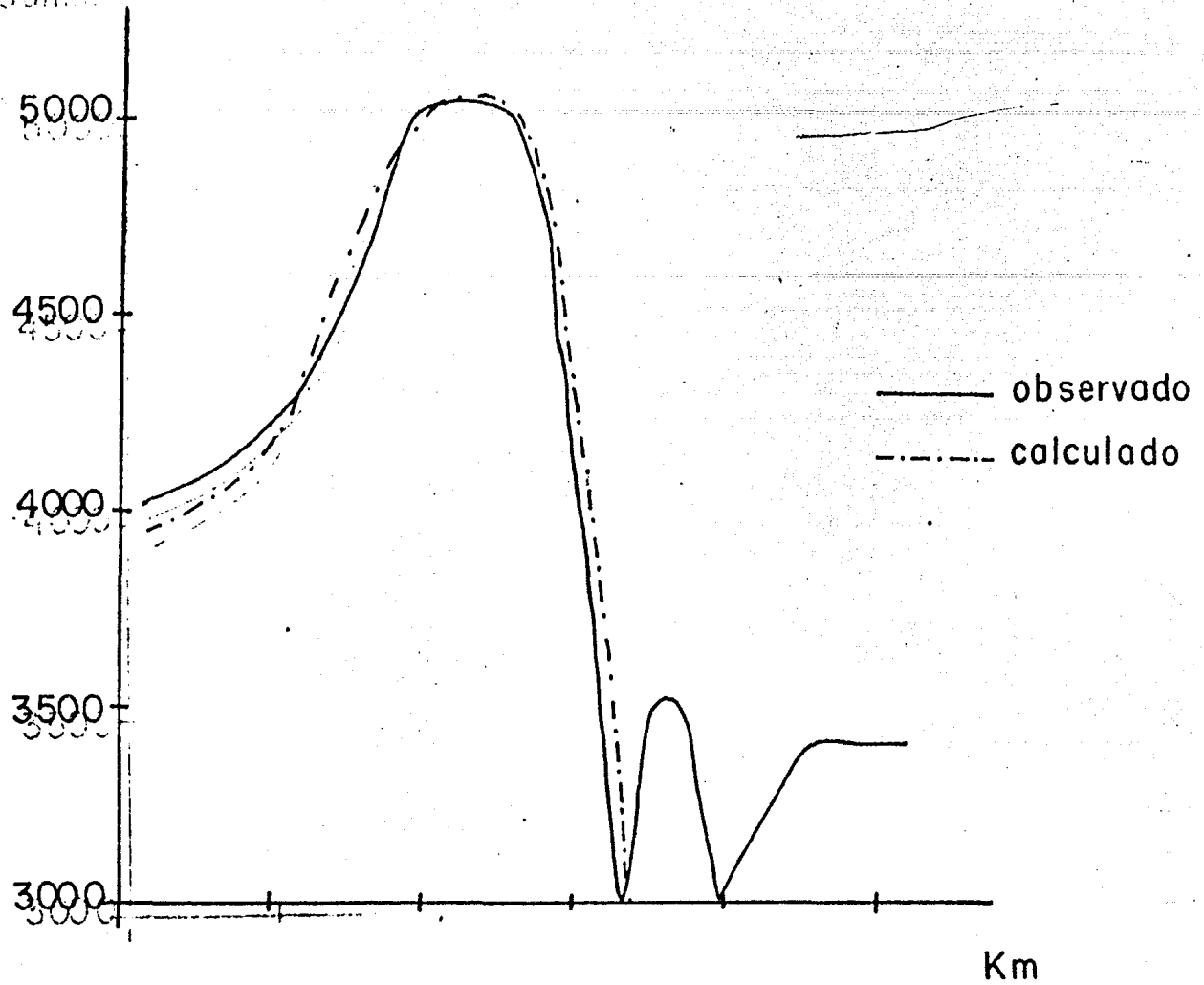


Fig VI.49 Mapa de segunda derivada en superficie de la anomalía Las Truchas

Gamma



Comparación del perfil magnético observado con el calculado de la anomalía Las Truchas.

VII. CONCLUSIONES.

Los procesos aplicados a cada una de las anomalías: continuaciones analíticas, primera y segunda derivada fueron de gran importancia en el estudio de cada una de ellas. Así también, como el modelado porque nos permitió conocer de una manera aproximada las dimensiones de los cuerpos anómalos.

Pozos 1.

Como ha sido descrita esta es una anomalía de forma dipolar con su mínimo hacia el norte y el máximo hacia el sur. La diferencia de amplitud entre el máximo y el mínimo es de 500 gammas y la separación entre ellos es de 1000 metros. El máximo y el mínimo están orientados aproximadamente norte-sur. La anomalía se localiza aproximadamente sobre un afloramiento de rocas andesíticas asignadas al Terciario. Cubre una área aproximada de 3 km².

El modelo que más ajustó los datos calculados a los observados presenta las siguientes características: profundidad 2 km, ancho 4 km, sus 0.003 emu, dirección 50° e intensidad 43000 gammas de su magnetización efectiva.

De acuerdo a las dimensiones del cuerpo anómalo y a sus propiedades, pensamos que el área que cubre esta anomalía es de interés económico y que posteriormente podría ser estudiada a detalle para explotarla.

Pozos 2.

La anomalía Pozos 2 presenta una forma dipolar con el mínimo hacia el norte y el máximo hacia el sur. La anomalía se localiza sobre un afloramiento de rocas metamórficas y dioritas. La diferencia de amplitud entre el máximo y el mínimo es de 1400 gammas. El máximo y el mínimo están orientados aproximadamente norte-sur. La separación entre el máximo y el mínimo es de 1500 metros. La anomalía cubre una área de 25 km².

El modelo que mejor reproduce a los datos observados tiene los siguientes parámetros: profundidad 4 km, ancho 4 km, sus 0.012 emu, dirección 50°, e intensidad 43000 gammas de su magnetización efectiva.

Pozos 3.

Es una anomalía un poco compleja, difícil de describirla, tiende a una

forma monopolar. Su máximo está bien definido y es de 600 gammas de amplitud. Se encuentra sobre los afloramientos de rocas dioríticas y metamórficas. Cubre una área de 6 km^2 , se extiende en la dirección E-W.

La Mira.

La anomalía La Mira tiene una forma dipolar con el mínimo hacia el NE y el máximo hacia el SW. La anomalía se localiza sobre un afloramiento de rocas graníticas y andesíticas asignadas al Terciario. La diferencia de amplitud entre el máximo y el mínimo es de 1500 gammas. La separación entre el máximo y el mínimo es de 3000 metros. Tienen una orientación aproximada de NE 30° . Cubre una área de 25 km^2 .

El modelo que mejor reproduce a los datos observados tiene los siguientes parámetros: profundidad de 5 km, ancho de 6 km, sus de 0.012 emu, dirección de 50° e intensidad de 43000 gammas de su magnetización efectiva.

Las Truchas.

Esta es una anomalía bastante compleja, presenta una serie de máximos y mínimos en diferentes direcciones. La máxima amplitud que presenta es de 2000 gammas. Esta anomalía se encuentra localizada sobre un afloramiento extenso de rocas graníticas, andesíticas, metamórficas asignadas al Terciario. Cubre una área aproximada de 56 km^2 .

El modelo que mejor ajustó los datos calculados a los observados tiene los siguientes parámetros: Profundidad 6 km, ancho 8 km, sus 0.012 emu, dirección 50° e intensidad 43000 gammas de su magnetización efectiva.

Tomando en consideración la confiabilidad de los datos usados en este trabajo, los resultados obtenidos presentan cierta incertidumbre.

En general podemos decir que todas las áreas que cubren las anomalías son de interés económico y posteriormente pueden ser explotadas.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi por su dedicación y consejos al dirigirme este trabajo.

Al Instituto de Geofísica y al Instituto de Investigaciones Antropológicas por haberme permitido el uso de sus instalaciones.

A mis padres, Limber y Auria, por todo.

REFERENCIAS

- Aceituno, S. (1980). Reconocimiento geológico del área de Arteaga, Playa Azul, Edo. de Michoacán. Tesis Profesional. U.N.A.M.
- Chapman, S. and Bartels, J. (1940). Geomagnetismo. Oxford at the claredon - press.
- Collinson, D. (1967). Methods in Paleomagnetism. Elsevier publishing company.
- David, L. Jr. (1956). Fluid self-excited dynamo. Physical Review, V. 102 - pp 939-40.
- Davidson, M. (1968). Spacial coherence of Geomagnetic rapid variations. J.G.R. pp 2143-2163.
- Dobrin, M. (1961). Introducción a la Prospección Geofísica. Ed. Omega.
- Grant, F. S. and West, G. F. (1965). Interpretation theory in applied geophysics. McGraw-Hill.
- Heiland, C. (1940). Geophysical Exploration. Prentice-Hall, Inc.
- López Ramos, E. (1979). Geología de México. Tomo III.
- Mérida, C. (1979). Geología Regional de la zona Coalcomán, Mich. y Estudio Geológico-minero del Yacimiento de fierro Puerto Hondo. Tesis Profesional. U.N.A.M.
- Nettleton, L. (1940). Geophysical Prospecting for Oil. Mc Graw-Hill Book Company, Inc.
- Nettleton, L. (1976). Gravity and Magnetics in Oil Prospecting. Mc Graw-Hill, Inc.
- Parisis, D. (1973). Methods in Geochemistry and Geophysics. Mining Geophysics. Elsevier scientific publishing company.
- Tarling, D. H. (1983). Paleomagnetismo. Principles and Applications in Geology, Geophysics and Archaeology. Chapman and Hall, London.

Telford, W., Geldart, L., Sheriff, R., Keys, D. (1981). *Applied Geophysics*. - Cambridge University Press.

Urrutia, F. (1976). *Estudio Paleomagnético de Rocas Igneas del Noreste del Estado de Jalisco, México. Tesis de Maestría en Ciencias (Geofísica)*.

Urrutia, F. (1981). *Some Observations on Short-Term Magnetic Viscosity Behaviour at Room Temperature. Physics of the Earth and Planetary Interiors # 26.*

Valencio, D. (1976). *El magnetismo de las rocas. Universidad de Buenos Aires.*