



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**INTERPRETACIÓN MAGNETOMÉTRICA MEDIANTE TÉCNICAS DE
FOURIER EN LA REGIÓN DE PENA COLORADA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEOFÍSICO

PRESENTA:

ANAYA RENOVATO, CARLOS

GARCÍA ABDESLEM, JUAN

ASESOR: CAMARGO ZAMOGUERA, ANTONIO

Ciudad Universitaria, México, Distrito Federal,

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

F 1

I N D I C E

I. - INTRODUCCION

I.1. - Antecedentes	1
I.2. - Objeto del trabajo	2
I.3. - Localización y acceso	3
I.4. - Fisiografía	4
I.5. - Hidrografía	4
I.6. - Clima y vegetación	6

II. - GEOLOGIA DEL AREA

II.1. - Estratigrafía	7
II.2. - Estructura	17
II.3. - Yacimientos Minerales	20

III. - PROCESAMIENTO DE DATOS AEROMAGNETICOS

III.1. - Generalidades	24
III.2. - Continuación Analítica	24
III.3. - Segunda Derivada Vertical	26
III.4. - Reducción al Polo Magnético	26
III.5. - Teoría General del Filtrado y Respuestas de las Funciones Filtro	28
III.6. - Prueba de los Algoritmos de Cálculo	43

IV. - INTERPRETACION

IV.1. - Generalidades	54
IV.2. - Análisis de los Mapas Obtenidos	56
IV.2.1. - Mapa aeromagnético	56
IV.2.2. - Mapa de continuación analítica hacia arriba, nivel 550 m	57
IV.2.3. - Mapa de continuación analítica hacia arriba, nivel 800 m	58
IV.2.4. - Mapa de continuación analítica hacia abajo, nivel 175 m	58
IV.2.5. - Mapa de continuación analítica hacia abajo, nivel 50 m	60

IV.2.6. - Mapa Residual	61
IV.2.7. - Segunda derivada vertical del mapa aeromagnético, nivel 300 m	62
IV.2.8. - Segunda derivada del mapa de continuación analítica hacia arriba, nivel 550 m	63
IV.2.9. - Reducción al polo magnético del mapa aeromagnético original, 300 m ...	64
IV.2.10.- Reducción al polo magnético del mapa continuado hacia arriba, nivel - - 550 m	65
IV.2.11.- Reducción al polo magnético del mapa residual	65

CONCLUSIONES	66
--------------------	----

BIBLIOGRAFIA.

APENDICE.

I. INTRODUCCION.

I.1 ANTECEDENTES.

A partir del mes de octubre de 1962, el Consejo de Recursos Naturales No Renovables, ahora Consejo de Recursos Minerales, en un trabajo conjunto con el Fondo Especial de la Organización de las Naciones Unidas, emprendió una exploración aeromagnética en la porción SE del Estado de Jalisco y W del Estado de Colima, limitada por el Océano Pacífico, con el propósito de localizar yacimientos minerales de hierro y cobre. A continuación, se describe el método y equipo empleado en la exploración.

El método utilizado consistió en volar siguiendo el perfil del terreno (vuelo de contorno) a una altura de $300 \text{ m} \pm 75 \text{ m}$ de tolerancia, a lo largo de 157 líneas de rumbo $N 60^\circ E$ y espaciadas entre sí 1 Km.; además, se volaron 5 líneas de control transversales a las anteriores. Un total de 11 682 Km, fueron volados, cubriendo un área de 10 040 Km².

El equipo utilizado consistió de un magnetómetro aéreo de registro continuo de tipo "Flux Gate", marca Gulf, modelo Marck III; un radioaltímetro RT7/APN-1, con escala de sensibilidad de 0 a 700 m; un cintilómetro Interprice Marck IX, modelo 321 PL y -

una cámara fotográfica de toma continua de 35 mm.; estos instrumentos estuvieron instalados en un avión "Twin Pioneer", cuya velocidad de crucero es de 185.6 Km./h.

De los resultados del reconocimiento aeromagnético y apoyados por Fotogeología, se seleccionaron 271 anomalías para ser verificadas con Magnetometría terrestre; en la primera fase de reconocimiento, 213 áreas fueron eliminadas, 24 fueron clasificadas de mayor interés y 34 de menor interés, siendo las más importantes, en cuanto a mineralización de hierro, Peña Colorada, La Huerta, Paso Real, Cerro Nahuatl, El Astillero, El Peón, Cerro de La Mina y Los Crestones.

Peña Colorada es un yacimiento de hierro, bien conocido, que se localiza a 4 Km. al W de Minatitlán, Col., y fue estudiado posteriormente por el C.R.N.N.R. en el año de 1969 con métodos geofísicos y geología de detalle.

1.2 OBJETO DEL TRABAJO.

El objeto del presente trabajo es comprobar la eficacia de procesos tales como continuaciones analíticas, segunda derivada vertical y reducción al polo magnético aplicados a anomalías aeromagnéticas. Se seleccionó el área de Peña Colorada debido a la --

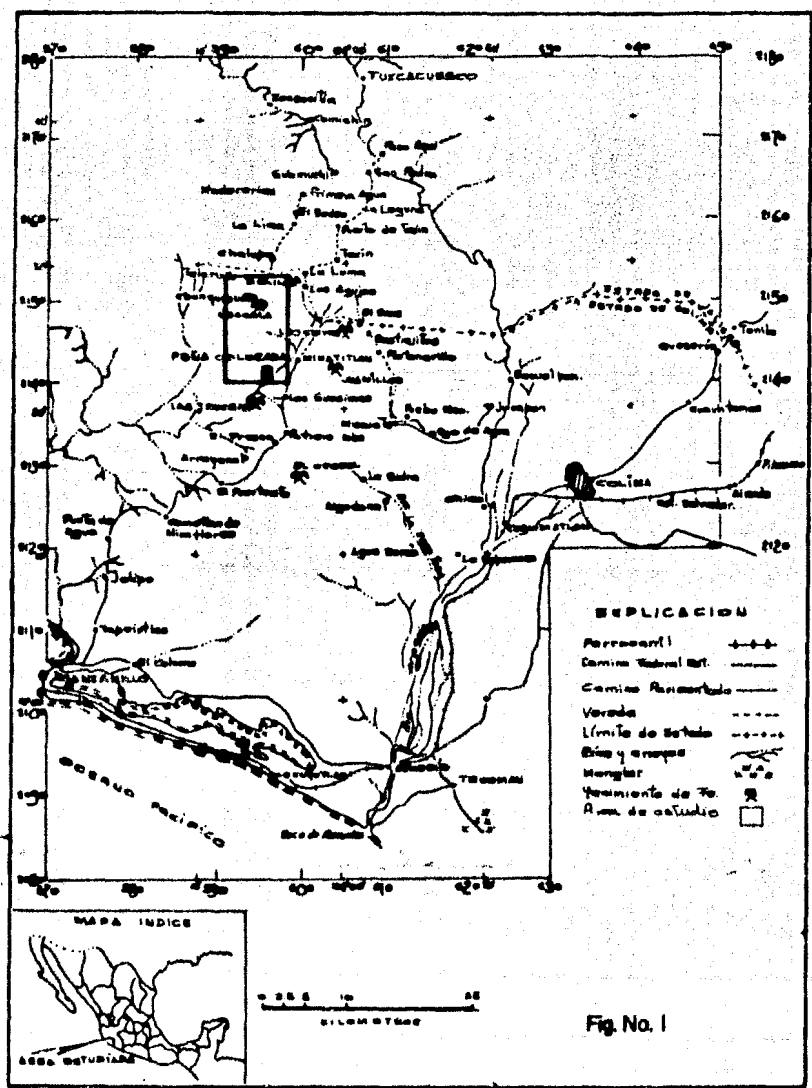
existencia de dos yacimientos de hierro, conocidos como Peña Colorada y La Chula. El primero pertenece al Consorcio Minero Benito Juárez-Peña Colorada y el segundo a la Compañía Fundidora de Monterrey. Peña Colorada se encuentra en etapa de explotación y La Chula en cuantificación de reservas.

Ya que la respuesta aeromagnética sobre estos yacimientos presenta características bien definidas, tanto en forma como en intensidad, se seleccionó como modelo para emitir conclusiones fundamentadas sobre la posible existencia de otro yacimiento de hierro al N de Peña Colorada.

1.3 LOCALIZACION Y ACCESO.

El área de estudio se localiza en la porción Norte Poniente del Estado de Colima, en su línea divisoria con el Estado de Jalisco, ocupando parte de los Municipios de Minatitlán, Col. y Cuautitlán, Jal., y sus coordenadas geográficas están dadas por las latitudes $19^{\circ}21'10''$ y $19^{\circ}28'12''$ al Norte y $104^{\circ}4'7''$ y $104^{\circ}7'32''$ de longitud W de Greenwich. El área estudiada ocupa una superficie de 78 Km^2 , como se muestra en la Figura 1.

La ruta para llegar al área de estudio es por la carretera Manzanillo-Camotlán-Poblado Benito Juárez-Minatitlán, que tiene una



PLANO DE LOCALIZACION

longitud de 57 Km. y bordeando el área en su parte occidental la terracería Minatitlán-Agua Salada-La Loma. En Minatitlán se cuenta con una pista aérea donde pueden descender avionetas, pero no existe servicio aéreo regular.

I. 4 FISIOGRAFIA.

El área de estudio forma parte de la provincia de la Sierra Madre del Sur, su topografía es muy accidentada y presenta un aspecto que corresponde a una etapa de juventud avanzada dentro del ciclo de erosión fluvial, las eminencias más notables son el Cerro de la Astilla, con 1 450 m s.n.m., el Cerro de Peña Colorada con 1 320 m s.n.m. y el Cerro Prieto con 1 580 m s.n.m. Las formas topográficas se suavizan hacia el Sur.

I. 5 HIDROGRAFIA.

El Río Minatitlán y sus arroyos tributarios forman en el área un sistema de drenaje dendrítico. Este río es de corriente perenne y tiene su nacimiento en la falda E del Cerro del Epazote (al N del área), de donde parte hacia el SW para desembocar en el Océano Pacífico. En casi todo su recorrido sirve de límite a los Estados de Jalisco y Colima.

1.6 CLIMA Y VEGETACION.

El clima que prevalece en la región es del tipo subtropical de montaña, caluroso durante el día y fresco en la noche, sin estación invernal bien definida. El invierno y la primavera son, generalmente, secos; las temperaturas máximas se registran en la temporada que precede a las lluvias, las cuales son torrenciales y bien definidas (junio-octubre). La precipitación media anual varía de 800 a 900 mm. y la temperatura es superior a 18°C.

La vegetación es variada y exuberante, predominando en las partes altas encino, primavera, pino, higuera, zapotillo y abundante otate; en las partes bajas son comunes los arbustos, matorrales y con frecuencia algunos árboles frutales como mango, papayo, plátano y guayabo.

II. GEOLOGIA DEL AREA.

II.1 ESTRATIGRAFIA.

Rocas sedimentarias.

Cretácico.

Las calizas del Cretácico son las rocas sedimentarias más antiguas encontradas en el área; sus afloramientos, aunque dispersos, ponen de manifiesto que estas rocas originalmente cubrieron toda la zona.

Litología.

El color de la caliza varía de gris claro a gris oscuro y verde claro, cuando ésta se encuentra recristalizada presenta un color blanco; su estratificación va de delgada a gruesa, variando entre 30 y 60 cm. de espesor.

Dimensiones.

Los mayores espesores se encuentran, hacia el NE del área de estudio, en el Cerro del Epazote, alcanzando un espesor de 800 m; al NE del Cerro de la Astilla alcanza un espesor de 250 m y en el área de Peña Colorada 60 m.

Relaciones Estratigráficas.

Las calizas sobreyacen discordantemente sobre rocas metamórficas del Paleozoico y han sido intrusionadas por rocas graníticas, diorita, pórfido andesítico y diabasa, en tanto que la cubren pórfidos riolíticos, riolitas, andesitas, pórfido andesítico y rocas piroclásticas. Están en algunas localidades interestratificadas con caliza arcillosa y tobas de color amarillo.

Estructura.

A escala regional (De Scerna, 1960), la estructura de las calizas está representada por anticlinales producidos por plegamiento, estando sus ejes orientados al NNW, encontrándose en una etapa erosiva de madurez, no siempre conservan su estructura original y están recristalizadas en algunas localidades. En el área de Peña Colorada se observan buzamientos que varían de 11 a 15 grados al SW.

Edad y Correlación.

Las calizas que se depositaron en el Cretácico, en el período de tiempo que abarca del Albiano al Cenomaniano, se correlacionan con la Formación Morelos, al W del Estado de Morelos y parte central Norte del Estado de Guerrero, según estudios paleontológicos realizados por el Instituto de Geología de la UNAM.

Sistema Cuaternario.

Conglomerado

Ocupa parte del Valle de Minatitlán, sus fragmentos varían de arredondados a subangulosos, alcanzando hasta 20 cm. de diámetro y están muy bien cementados.

Depósitos aluviales.

Se les encuentra en las márgenes de los cauces, meandros y en las planicies erosionadas casi horizontales.

Terciario Inferior.

Rocas Igneas Intrusivas,

Estas rocas tienen amplia distribución batolítica regional y sus superficies de afloramiento son, en algunos casos, muy grandes. Regionalmente existe un estudio que hace una correlación de los cuerpos batolíticos de toda Baja California, Sonora, Nayarit, Jalisco y Colima (Castil G. et al. Bol. Soc. Geol. Mex. XXXVII, No. 2).

En este trabajo se llega a la conclusión de que, paleogeográficamente, en la segunda mitad de la era Mesozoica existía un arco volcánico plutónico que se extendía desde el Sur del Estado de California (E.U.A.), a través de lo que se conoce ahora como el Sur de

la Península de Baja California, hasta la porción Poniente del Sur de México. En la parte occidental del arco se extendía en forma insular y en la orilla interior penetraba en el antiguo basamento de rocas precámbricas. En base a estudios petrológicos y radiométricos, se divide regionalmente en subzonas petrográficas, una zona de gabbro hacia el Oeste y tierra adentro las zonas de tonalita y adamelita.

La época de intrusión, supone en su trabajo Gastil, empezó del lado del Pacífico (zona occidental) hace 145 m.a. y se movía hacia el Oriente a través de la zona hasta hace 60 m.a., siguiendo su levantamiento y enfriamiento por 5 a 20 m.a.

La región estudiada pertenece a la subzona oriental de Gabbro y a la subzona occidental de tonalita (diorita cuarcífera), delimitada hacia el interior del continente por la subzona oriental de tonalita (diorita cuarcífera-granodiorita) y la subzona occidental de adamelita (monzonita cuarcífera).

Las rocas ígneas intrusivas cubren aproximadamente un 30% de la zona de estudio, están constituidas principalmente por granodiorita, diorita, cuarzo monzonita, pórfido andesítico y pórfido diabásico.

La diorita es la roca intrusiva más ampliamente distribuida en la región; posiblemente forma parte junto con la granodiorita

del batolito granítico mencionado anteriormente, por lo que, en el área, puede considerársele como una facies de él, seguramente marginal, producida por procesos de diferenciación magmática en los que debe de haber intervenido la asimilación de sedimentos. Este cerro, al igual que la granodiorita, intrusión a las calizas del Cretácico.

Los colores de la diorita son blanco y negro y su textura es fanerítica.

La diorita aflora principalmente en los valles localizados al E de Peña Colorada y está cubierta por conglomerados y aluvión.

Otra intrusión más reciente y menor extendida que la enunciada en primer término está representada por cuarzdiorita, la cual aflora en la parte SE de Peña Colorada, en el Cerro Pelón del Sur; la roca varía de un color blanco a crema, con textura fanerítica de grano fino.

En el área de Peña Colorada aflora un pórfido andesítico de color gris o gris verdoso y de textura porfírica.

Al Sur del Cerro de la Astilla aflora un pórfido diabásico - cuya estructura está representada por diques de buzamiento general hacia el N. Está caracterizado por fenocristales blancos de labrado

rita contenidos en una matriz fina de color gris.

Rocas Metamórficas.

Las rocas metamórficas tienen una distribución más restringida que las precedentes y consisten de rocas de contacto tales como hornfels de granate, hornfels cuarzofeldespático y tactitas. Sus colores varían de gris verde claro y de crema a blanco con textura fanerítica.

El metamorfismo de contacto en algunas ocasiones fue acompañado por la adición de materiales a partir del magma, dando origen, por un lado, a la recristalización de las rocas preexistentes y, por otro, creando nuevos minerales dentro de dichas rocas. En ésta se incrementa el grado de metamorfismo a medida que se aproxima al intrusivo. Las calizas más alejadas del intrusivo se recristalizaron, mientras que las más próximas se han transformado en mármol y aún contienen minerales nuevos. El metamorfismo de contacto de las calizas se llevó a cabo por lo menos durante tres etapas distintas, debido tanto a agentes físicos como químicos derivados de la intrusión de el cuerpo granítico, de las dioritas, cuarzo-dioritas y de los cuerpos hipabisales de diabasa y andesita.

Por otra parte, dentro de cada una de estas etapas indicadas existen dos fases, la primera de ellas debida a la intrusión

(metamorfismo de contacto) y la segunda originada por los flujos -
provenientes del intrusivo (metasomatismo), cuando éste ya estaba
consolidado.

Las rocas de contacto, principalmente las corneanas, es-
tán íntimamente relacionadas a los yacimientos de hierro de tipo --
metasomático, constituyendo frecuentemente la roca encajonante de
los mismos.

Las rocas corneanas, skarn y tactitas, afloran casi siem-
pre en la proximidad de las calizas y tal vez estuvieron en contacto
con calizas que fueron ya completamente erosionadas, pero los --
afloramientos más típicos se encuentran en los yacimientos de hie-
rro.

Terciario Superior.

Rocas Igneas Extrusivas.

Estas rocas son las representantes de la intensa actividad
volcánica desarrollada durante el Cenozoico y se les encuentra dis-
tribuidas en toda la región, la geomorfología del terreno volcánico
es en general quebrada y de formas agudas. El area que cubrie--
ron estas rocas fue extensa, pero la erosión las ha reducido con-
siderablemente, presentándose en algunas localidades sólo remanen

tes cubriendo a las rocas preexistentes.

A continuación se describen los principales tipos de rocas volcánicas y piroclásticas que afloran en el área:

Brechas y Grauvacas Volcánicas.

La brecha se encuentra superyaciendo a las calizas del Cretácico, a los intrusivos (granodiorita y diorita) y al mineral de hierro.

Esta unidad tiene un color que varfa de gris claro a - - gris verdoso y café rojizo, está muy bien consolidado, se presenta en lechos bastante bien desarrollados y sus espesores osci lan desde unos cuantos metros hasta un máximo de 300 m.

Interestratificadas con las brechas se presentan horizontes de grauvacas volcánicas de material fino, su litología se compone casi en su totalidad de guijas y gujarros angulosos de rocas ígneas intrusivas (diorita y pórfido andesítico) y extrusivas (no clasificadas).

Diques.

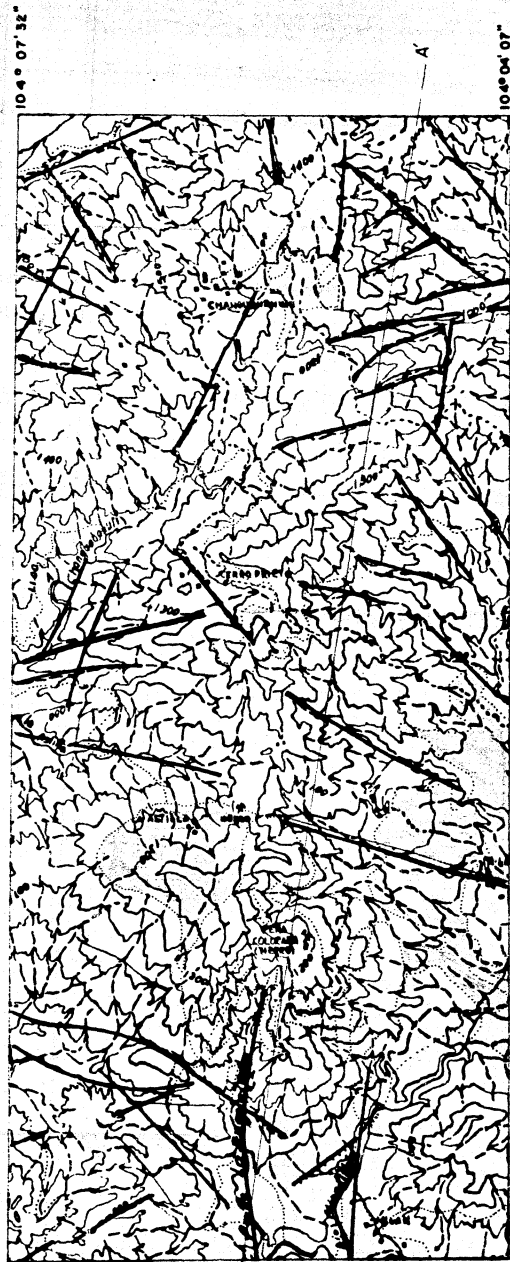
Constituyen un tipo de rocas muy común en la zona. - Se presentan como cuerpos tabulares e irregulares, de dimensio-

ERA	PERIODO	ROCA	LOCALIDAD	
C E N O Z O I C O	CUATERNARIO	ALUVION	Al norte del área de estudio y curso del río Mingitán.	
	T E R C I A R I O S U P E R I O R	RIOLITA	Extremo SE del área de estudio	
		GRAUVACA	Al SW de Peña Colorada y al SE de La Astilla.	
		BRECHA VOLCANICA	Corro de La Astilla y al NE de Peña Colorada.	
		TODAS ANDESITICAS Y CINERITICAS	Extremo SE del área de estudio.	
		IGNEA EXTRUSIVA NO DIFERENCIADA	Al norte del área de estudio.	
			DISCORDANCIA	
	T E R C I A R I O I N F E R I O R		YACIMIENTOS DE HIERRO	Peña Colorada y La Chula.
			ROCAS METAMORFICAS	Encabezado al yacimiento de hierro.
			IGNEA INTRUSIVA	Parte central y extremo NW del área de estudio y cor de Peña Colorada.
		PORFIDO ANDESITICO	En el área de Peña Colorada.	
MESO-ZOICO	CRETACICO	CALIZA	Al Este de Peña Colorada.	
			DISCORDANCIA	
PALEOZOICO		SASAMENTO CRISTALINO	No aflora en el área.	

COLUMNA GEOLOGICA

Fig. No. 2

PRELIMINAR



104° 04' 07"

19° 28' 12"

19° 21' 10"

EXPLICACION

ROCAS SEDIMENTARIAS

cuaternario { Aluvión ----- [Al] }
 mesozoico { Caliza ----- [Cz] } cretácico

ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS

Riolita ----- [R]
 Grauwacke ----- [G]
 Brecha ----- [Br]
 cenozoico { Tobas, andesitas y cinerificas ----- [T] } terciario sup.
 Igneas ext. no diferenciada ----- [Ige]
 Porfido andesítico ----- [Ps] } terciario inf.

ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

cenozoico { Ignea intrusiva ----- [Igl] } terciario inf.
 paleozoico { Basamento cristallino ----- [] } ?

ROCAS METAMORFICAS

cenozoico { Rocas metamórficas ----- [M] } terciario inf.

SIMBOLOS GEOLOGICOS

contacto geológico -----
 falla o fractura -----
 minas -----

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

rancheria -----
 camino o vereda -----
 rios y arroyos -----
 curvas de nivel a cada 100m -----
 1300
 1200
 1100

ESCALA
 1: 50 000



PLANO
 GEOLOGICO

Fig. No. 3

nes muy variables, cuyo espesor va de unos cuantos centímetros hasta 2 metros, que cortan a la mayoría de las rocas existentes y aun al cuerpo de hierro. Su composición es de tipo andesítico, por lo que se supone representan los canales de acceso de los derrames andesíticos; presentan colores que varían de gris claro a gris oscuro y verde, con textura porfírica.

Andesita.

Aflora al Oeste del Cerro de la Astilla, como remanente de erosión sobre la brecha, su color varía de gris claro a café rojizo, con estructura vesicular, textura afanítica, holocristalina, porfírica.

Riolitas.

Afloran en el Cerro de La Palma al E del área y al Norte de Milan en el extremo SE del área. Su color varía de gris rosado a café rojizo, con textura porfírica.

II.2 ESTRUCTURA.

El área estudiada se localiza, Figura 4, en los límites de la porción Noroeste de la Depresión del Balsas y hacia el Pacífico ocupa la porción Noroeste de la Sierra Madre del Sur,

quedando comprendida dentro del Sistema Volcánico Transmexicano.

En la región de Peña Colorada se manifiesta una importante intersección que involucra los siguientes sistemas de fracturamiento:

- a) Un fracturamiento con rumbo $N35^{\circ}-40^{\circ}E$, La Encantada, que es el más importante y separó los cuerpos del Chinformazo, la Encantada y El Espinazo del Diablo;
- b) Un fracturamiento con rumbo $N65^{\circ}W$, Cerro de La Astilla, que se extiende 20 Km. al NW;
- c) Un sistema de fracturamiento con rumbo NS que se manifiesta hacia el SE del yacimiento de hierro Peña Colorada, donde se intersectan los ríos Minatitlán y Las Truchas; y,
- d) Al SW del yacimiento de Peña Colorada se localiza un fracturamiento con rumbo EW que delimita un bloque separado del cuerpo del Chinformazo, La Prieta y La Chula.

Las evidencias que se tienen al respecto son la presencia de espejos de falla en el mineral de La Prieta y su posición topo--

gráfica (La Chula).

II.3 YACIMIENTOS MINERALES.

A continuación se presentan algunas características del yacimiento de hierro de Peña Colorada:

Dimensiones.

Se presentan en forma de varios afloramientos separados por distancias cortas, distribuidos en un área de 5 KM. La zona mineralizada adopta la forma general de un cuerpo tabular y alargado, cuyo espesor varía de unos cuantos metros a varias decenas de metros. Su proyección horizontal tiene un ancho que oscila entre 500 y 1 000 m. Dentro de la principal zona mineralizada quedan comprendidos los afloramientos conocidos con los nombres de: La Primorosa, La Encantada, El Chinforminazo, Espinazo del Diablo, La Chula y Los San Juanes.

Según se deduce de la expresión topográfica de estos afloramientos, la zona mineralizada está formada por varios bloques separados por fallas; la más notable es la de La Encantada, con rumbo NE-SW, que posiblemente separó los cuerpos de El Chinforminazo, La Encantada y Espinazo del Diablo.

Composición Mineralógica.

Se distinguen dos tipos de mineral de hierro; para diferenciarlos se les ha designado con los términos "masivo" y "diseminado". La relación que guardan entre sí es tan estrecha, que el mineral "masivo" puede pasar gradual o bruscamente a "diseminado", tanto en sentido lateral como vertical, en forma tal que el mineral "masivo" muchas veces parece formar lentes dentro del mineral -- "diseminado".

El mineral "masivo" presenta colores que varían de negro a café rojizo, con brillo metálico; su estructura es compacta, en ocasiones ligeramente porosa y con textura que varía de afanítica a fanerítica de grano fino. Este tipo de mineral de hierro está constituido en su mayor parte por magnetita, hematita y algo de limonita. Las impurezas más comunes son cuarzo, apatita y pirita; cerca de los contactos con la roca encajonante también se encuentra zircón, biotita, epidota, clorita, sericita y arcillas.

El mineral "diseminado" está constituido principalmente -- por magnetita y hematita, esparcido en las rocas genéticamente asociadas al yacimiento, por lo que sus impurezas están constituidas por gran variedad de minerales, entre los que predominan los silicatos de origen ígneo y metamórfico; su textura varía de afanítica a

fanerítica de grado fino y colores muy variados, que dependen de -- las impurezas.

Características de la roca encajonante.

La roca encajonante de la zona mineralizada de Peña Colorado presenta características variables en cuanto a tipo y composición se refiere. En su contacto inferior se identifican diferentes -- variedades de diorita y granodiorita, que se diferencian entre sí, -- principalmente, por su textura y su contenido de magnetita y epidota y un pórfido andesítico caracterizado por un alto contenido de -- magnetita y epidota de origen primario. En la parte superior de la zona mineralizada, particularmente en El Chinforminazo y en La Chula, se presentan algunas variedades de hornfels. En algunas porciones del yacimiento, el mineral de hierro se encuentra encajonado -- en diorita.

Calidad y Reservas.

En base a muestreo superficial, a once barrenos y a exploración magnetométrica, el C.R.N.N.R. reportó en 1962 que la mineralización está compuesta por un 70% de magnetita y un 30% de hematita, con ocasional martita. De acuerdo con los datos, el material "masivo" tiene un promedio de 56% de hierro y 2.35% de sulfuros; el material "diseminado" tiene un promedio de 36% de hierro

y 2.4% de sulfuros, estimándose las siguientes reservas de mineral de hierro:

	<u>Tonelaje positivo</u>	<u>Tonelaje probable</u>	<u>T o t a l</u>
Masivo	33 100 000	12 500 000	45 600 000
Diseminado	17 200 000	41 800 000	54 000 000
T o t a l	50 300 000	54 300 000	104 600 000

III. PROCESAMIENTO DE DATOS AEROMAGNETICOS.

III.1 GENERALIDADES.

Para su interpretación, los datos geofísicos tomados en el campo son modificados en ciertas formas, utilizando métodos tales como: continuaciones analíticas, derivadas verticales, reducción al polo magnético y otros. Con esto se logra suprimir algunas características indeseables o enfatizar otros atractivos no muy evidentes en los datos originales. Enseguida se describen los efectos que pueden lograrse con estas operaciones o procesos y sus usos en la interpretación.

III.2 CONTINUACION ANALITICA.

Para ciertos propósitos, es de interés considerar la forma que un campo potencial pudiera tener a un nivel más alto o más bajo que el de medición. En principio, el campo potencial puede ser calculado a un nivel diferente si no existen fuentes, en nuestro caso material magnético, dentro del rango de la continuación que provoquen distorsiones.

La continuación hacia arriba suaviza los datos, estando este suavizamiento asociado con fuentes relativamente profundas o

de extensión regional. Esta ha sido usada como una base para la separación de anomalías, calculando el campo a niveles más altos y comparando los resultados obtenidos con los datos originales.

La continuación hacia abajo hará los datos más pronunciados, estando esto asociado a fuentes someras. Esta es aplicada para la separación de anomalías, en particular a la de efectos trag lapados debido a fuentes cercanas entre sí. En el caso de dos fuentes cercanas una de otra y cubiertas por material homogéneo, la continuación hacia abajo, hecha a un nivel cercano a las dos fuentes, haría posible separar en una forma clara ambos efectos, que de otro modo serían confusos al ser interpretados sobre los datos originales. Si la continuación es hecha a profundidades más grandes que la de la fuente, en campo continuado empezará a oscilar; esta oscilación puede darnos un criterio para estimar la profundidad de la fuente.

La continuación analítica hacia abajo tiene gran aplicación en la interpretación de anomalías aeromagnéticas debido a que estos levantamientos se hacen a elevaciones substanciales sobre el nivel del terreno y, por lo tanto, lejanos de las posibles fuentes. Las continuaciones son relativamente suaves y pueden ser realizadas sin hacer énfasis de fuentes poco profundas.

III.3 SEGUNDA DERIVADA VERTICAL.

La segunda derivada vertical del campo geomagnético, a causa de su alta resolución, es a menudo útil en la interpretación de anomalías aeromagnéticas. Una ventaja del método proviene del hecho de que la doble diferenciación con respecto a la profundidad tiende a enfatizar los efectos de fuentes pequeñas y poco profundas a expensas de las características regionales.

La interpretación, tanto cualitativa como cuantitativa, puede ser hecha más objetivamente con el cálculo de mapas de segunda derivada del campo observado; Vacquier sugiere el uso de mapas de segunda derivada del campo observado, junto con las anomalías de intensidad magnética total de cuerpos prismáticos, para estimar la profundidad del basamento (Vacquier y otros, 1951). En regiones donde la geología es bastante bien conocida, se han calculado mapas de segunda derivada vertical. Un rasgo interesante en tales mapas es la manera en que ellos tienden a delinear formaciones geológicas de conocida respuesta magnética; también se detecta la presencia de rocas magnéticas en sedimentos más fácilmente que con el campo observado.

III.4 REDUCCION AL POLO MAGNETICO.

Aun cuando consideremos un cuerpo magnetizado uniforme-

mente, la forma de las anomalías depende no sólo de las dimensiones físicas del cuerpo, sino también del vector del campo total normal terrestre y del vector de polarización asociado al cuerpo magnético. La marcada influencia de estos dos vectores provoca que la anomalía no sea simétrica con respecto a la fuente que lo provoca, haciendo el trabajo de interpretación más difícil. Estas consideraciones nos muestran que cuando nos enfrentamos al problema de la interpretación magnetométrica, sería ventajoso empezar con una transformación que nos permitiera suprimir la distorsión y hacer la anomalía magnética tan clara como una Anomalía de Bouger. Algunos estudios han demostrado que los valores del campo magnético total causados por un cuerpo magnetizado situado a una latitud magnética dada pueden ser transformados matemáticamente para obtener los valores del campo magnético total que tendría este mismo cuerpo localizado en el polo magnético (Baranov, 1957 y 1964, Bhattacharyya, 1965). La anomalía resultante se dice que ha sido reducida al polo magnético.

La interpretación cualitativa de las anomalías reducidas al polo magnético es más fácil y rápida debido a que las anomalías no están alteradas por la oblicuidad del vector del campo magnético terrestre ni por la del vector de polarización asociado al cuerpo magnético. Debido a esto, la correlación de los resultados de una ex-

ploración magnetométrica reducidos al polo con la información geológica disponible es mucho más fácil, simplifica la interpretación cuantitativa y la evaluación de la profundidad del cuerpo magnetizado.

El campo magnético total reducido al polo magnético equivale hasta cierto punto al mapa de gradiente vertical del campo gravitacional. Una anomalía gravimétrica representa el efecto combinado de la densidad del material magnético y del no magnético. La anomalía magnetométrica reducida al polo magnético en sí no es una anomalía gravimétrica; es una anomalía magnetométrica calculada, considerando que el vector de magnetización es vertical. Debido a lo antes expuesto, las anomalías reducidas al polo magnético son llamadas también "pseudo gravimétricas".

III.5 TEORIA GENERAL DEL FILTRAJE Y RESPUESTAS DE LAS FUNCIONES FILTRO.

Las operaciones antes descritas, continuaciones, derivadas y reducción al polo magnético, pueden, por su carácter, ser consideradas como procesos de filtraje, en donde la "función-filtro" representa el tipo de operación que se desea efectuar.

El filtrado bidimensional puede ser descrito por la integral de convolución en dos dimensiones,

$$\phi'(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha, \beta) \phi(x-\alpha, y-\beta) d\alpha d\beta \quad (1)$$

donde: $\phi(x, y)$ es la señal de entrada

$\phi'(x, y)$ es la señal de salida

$f(x, y)$ es la función filtro

Para que una función filtro sea útil, deberá ser de una extensión finita. Si $f(x, y)$ es cero para $|x| \geq X$ y $|y| \geq Y$, es decir, es una señal de banda limitada, entonces (1) puede ser reemplazada por

$$\phi'(x, y) = \int_{-X}^X \int_{-Y}^Y f(\alpha, \beta) \phi(x-\alpha, y-\beta) d\alpha d\beta \quad (2)$$

Denotando la transformada de Fourier de una función por su letra mayúscula correspondiente y su argumento en frecuencia, tomaremos la transformada de Fourier de (2).

$$\Phi(f_x, f_y) = F(f_x, f_y) \Phi(f_x, f_y) \quad (3)$$

La ecuación (3) clarifica el efecto de filtraje provocado en la función de entrada $\phi(x, y)$ por la función filtro $f(x, y)$.

La ecuación (3) es conocida como el teorema de la convolución en el dominio de la frecuencia. Este importante teorema nos permite el diseño de filtros en el dominio del número de onda y el

uso de aquéllos bien conocidos, tales como continuaciones analíticas hacia arriba o hacia abajo y segunda derivada vertical, aplicándolos en sus formas más puras, haciendo uso de la expresión dada en (3).

A continuación se representa la señal de entrada y las funciones filtro en el dominio del número de onda.

Consideramos que la respuesta en el dominio del número de onda de la anomalía magnética de campo total medida en el plano de datos está expresada por la doble serie de Fourier, a saber:

$$T = \sum_m \sum_n [A_{mn} \cos kmx \cdot \cos kny + B_{mn} \sin kmx \cdot \cos kny + C_{mn} \cos kmx \cdot \sin kny + D_{mn} \sin kmx \cdot \sin kny] \quad (4)$$

donde A_{mn} , B_{mn} , C_{mn} , D_{mn} son los coeficientes de la serie

$$km = 2\pi m/Lx, \quad kn = 2\pi n/Ly$$

Lx y Ly son las longitudes de onda fundamentales en las direcciones x y y , respectivamente.

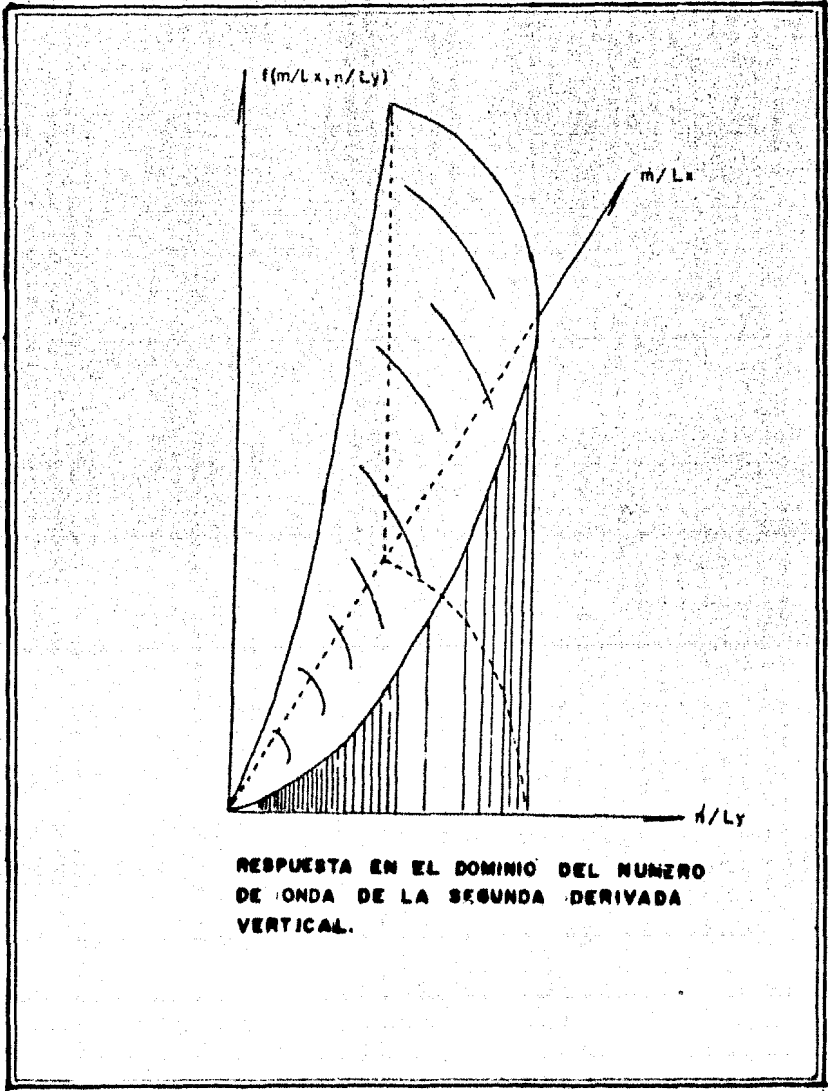
De acuerdo con Fuller, 1967, tenemos:

$$F(km, kn) = (km^2 + kn^2) \quad (5)$$

$$Fu(km, kn) = e^{-(km^2 + kn^2)^{1/2} \cdot z} \quad (6)$$

$$Fd(km, kn) = \dot{e}^{-(km^2 + kn^2)^{1/2} \cdot z} \quad (7)$$

La ecuación (5) describe la respuesta en el dominio del nú



RESPUESTA EN EL DOMINIO DEL NUMERO DE ONDA DE LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL.

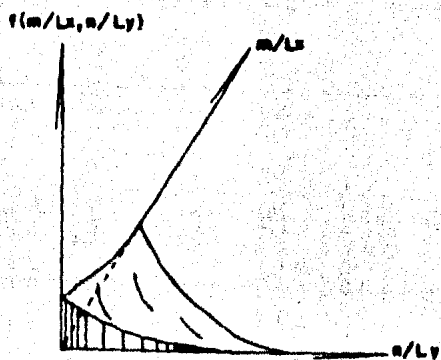
Figura No. 5

mero de onda de la función filtro que da como salida la segunda derivada de la entrada. $F(k_m, k_n)$ tiende a infinito cuando k_m y k_n tienden a \pm infinito y tiende a cero cuando k_m y k_n tienden a cero. En la Figura 5 se representa gráficamente esta función, en donde se observa que su comportamiento es del tipo de un filtro pasa altas.

La ecuación (6) describe la respuesta en el dominio del número de onda de la función filtro que da como salida la continuación analítica hacia arriba de la señal de entrada. $F_u(k_m, k_n)$ tiende a cero cuando k_m y k_n tienden a infinito y es igual a uno cuando k_m y k_n tienden a cero; z en la exponencial define el nivel de continuación deseado. En la Figura 6 se representa gráficamente (6) y, como puede observarse, se comporta como un filtro pasa bajas.

La ecuación (7) describe la respuesta en el dominio del número de onda de la función filtro que da como salida la continuación analítica hacia abajo de la señal de entrada. $F_d(k_m, k_n)$ tiende a infinito cuando k_m y k_n tienden a infinito y es igual a uno cuando k_m y k_n tienden a cero; z en la exponencial define el nivel de continuación deseado. En la Figura 7 se representa gráficamente (7) y, como puede observarse, se comporta como un filtro pasa altas.

A continuación se presentan las bases del algoritmo de reducción al polo magnético (Bhattacharyya, 1965) que ha sido usado en



RESPUESTA EN EL DOMINIO DEL NUMERO
DE ONDA DE LA CONTINUACION ANALITICA
HACIA ARRIBA.

Figure No. 6

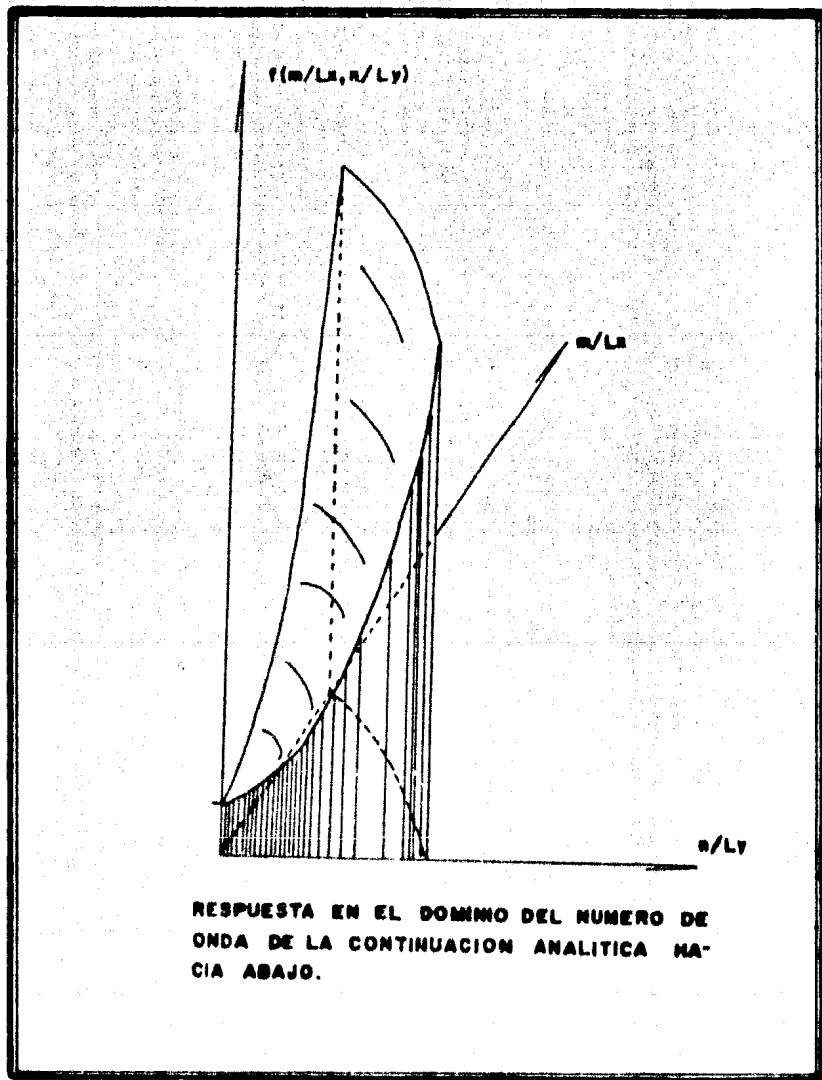


Figura No. 7

el presente trabajo.

La Figura 8 muestra el sistema de coordenadas tomado para el análisis y la dirección de magnetización de la masa magnética, en donde XOY es el plano horizontal donde ha sido medido el campo magnético total; la línea QMD indica la dirección de magnetización.

Correspondiendo a una anomalía magnética, existe un potencial magnético V y el potencial U reducido al polo magnético. Si ds_0 es una longitud elemental a lo largo del vector unitario en la dirección de magnetización, tenemos (Baranov, 1957):

$$V = \frac{dU}{ds_0} \quad (8)$$

La ecuación (8) nos muestra que el potencial magnético V puede ser obtenido tomando la primera derivada de U en la dirección de \vec{v} . Recíprocamente, el potencial reducido al polo magnético puede ser calculado integrando V a lo largo de MQ , donde Q puede ser extendido al infinito. Tomaremos MQ debido a que la línea recta a lo largo de la cual la integración será hecha, no deberá intersectar una zona que contenga material magnetizado. Dado que en el hemisferio Norte la dirección está dirigida hacia abajo en dirección al centro de la tierra, MQ estará en general alejada de la

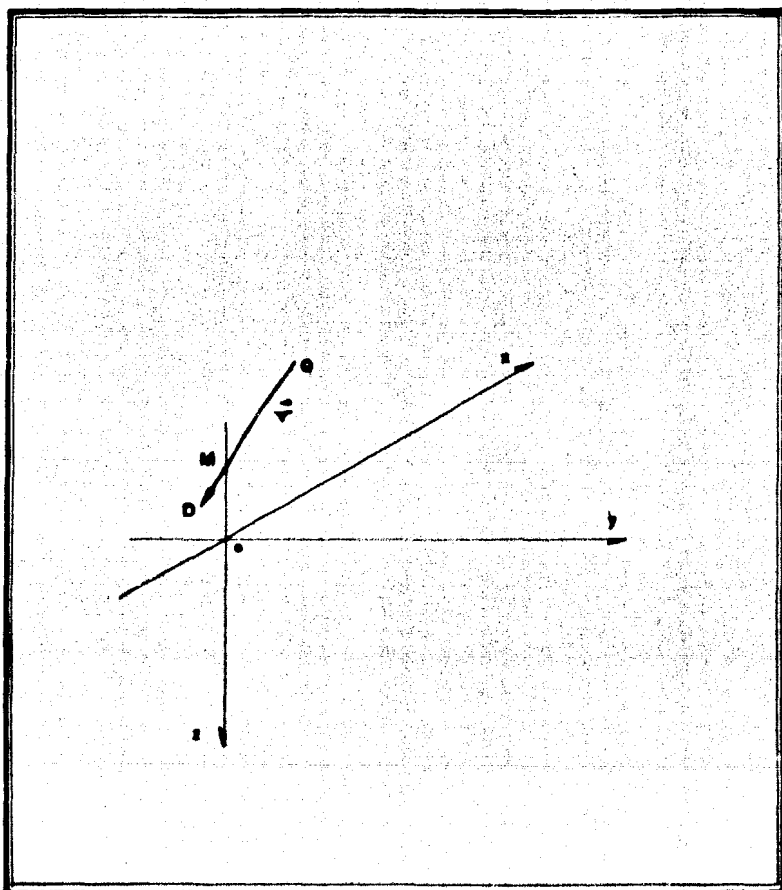


Figura No. 9. SISTEMA DE COORDENADAS USADAS PARA EL ANALISIS Y LA DIRECCION DE MAGNETIZACION.

superficie de ésta.

Si llamamos a T la anomalía magnética de campo total, tenemos que:

$$T = - \frac{d^2U}{ds_0 dr} \quad (9)$$

donde dr es una longitud elemental a lo largo del vector \vec{r} en la dirección del campo total de la tierra. Se considera en este análisis el caso en que \vec{r} y \vec{v} están en direcciones arbitrarias.

Sean las coordenadas de $Q(x_1, y_1, z_1)$ y de $R(x, y, z)$, un punto sobre DMQ, suponiendo que I_0 y D_0 denotan respectivamente la inclinación y la declinación del vector de polarización, integraremos el campo total T a lo largo de la línea QR para obtener una expresión de:

$$\left(- \frac{dU}{dr} \right) \text{ en } Q$$

La línea QR está dada por:

$$\frac{X - X_1}{\cos I_0 \cos D_0} = \frac{Y - Y_1}{\cos I_0 \sin D_0} = \frac{Z - Z_1}{\sin I_0} = S_0$$

donde: $I_0 = 180^\circ - I_0$ y $S_0 = QR$

de (9) obtenemos $\left(- \frac{dU}{dr} \right)_Q = \int_{x_Q}^{\infty} T(R) ds. (10)$

donde $T(R)$ es el campo total en R , y

$$ds_0 = \frac{dz}{\text{sen } \text{los}}$$

$$\text{entonces: } \left(- \frac{dU}{dr} \right)_a = \int_{r_0}^{\infty} \frac{T(R) dz}{\text{sen } \text{los}} \quad (11)$$

donde $T(R)$ está dado por:

$$T(R) = \sum_m \sum_n A_{mn} \cos km x \cdot \cos kny$$

$$+ B_{mn} \text{sen } km x \cdot \text{sen } kny$$

$$+ C_{mn} \cos km x \cdot \text{sen } kny \quad (12)$$

$$+ D_{mn} \text{sen } km x \cdot \text{sen } kny$$

$$\cdot e^{-(km^2+kn^2)z/2}$$

La ecuación (12) es similar a (4), solo que está multiplicada por un factor de atenuación dado por:

$$e^{-(km^2+kn^2)z/2}$$

Integrando la expresión dada en (11) obtenemos:

$$- \frac{dU}{dr} = \frac{1}{2 \text{sen } \text{los}} \sum_m \sum_n e^{-kmn \cdot z}$$

$$\begin{aligned}
 & E_{mn} \cos (kmx+kny) + F_{mn} \sin (kmx+kyn) \\
 & + G_{mn} \cos (kmx-kny) + H_{mn} \sin (kmx-kny)
 \end{aligned} \tag{13}$$

en donde:

$$\begin{aligned}
 p_{mn} &= (km^2+kn^2)^{1/2} & \psi_1 &= \cot \text{ los } (km \cos D_0 + km \sin D_0) \\
 & & \psi_2 &= \cot \text{ los } (km \cos D_0 - km \sin D_0)
 \end{aligned}$$

$$E_{mn} = \frac{p_{mn}}{mn^2 + \psi_1^2} (A_{mn} - D_{mn}) + \frac{1}{mn^2 + \psi_1^2} (B_{mn} + C_{mn})$$

$$F_{mn} = \frac{p_{mn}}{p_{mn}^2 + \psi_1^2} (B_{mn} + C_{mn}) - \frac{1}{p_{mn}^2 + \psi_1^2} (A_{mn} - D_{mn})$$

$$G_{mn} = \frac{p_{mn}}{p_{mn}^2 + \psi_2^2} (A_{mn} + D_{mn}) + \frac{2}{p_{mn}^2 + \psi_2^2} (B_{mn} - C_{mn})$$

$$H_{mn} = \frac{p_{mn}}{p_{mn}^2 + \psi_2^2} (B_{mn} - C_{mn}) - \frac{2}{p_{mn}^2 + \psi_2^2} (A_{mn} + D_{mn})$$

Para obtener una expresión de U , tendremos que integrar - (13) con respecto a ds , que es una longitud elemental en la dirección de $-Y$, de tal modo que la línea de integración no intersekte la región de masa magnetizada. Estando el campo geomagnético definido por una inclinación I y una declinación D , calcularemos U en el punto $Q(x_1, y_1, z_1)$ y tomaremos a $R(x, y, z)$ como un punto sobre DMQ. La ecuación de la línea recta QR está dada por:

$$\frac{x - x_1}{\cos I_s \cos D} = \frac{y - y_1}{\cos I_s \sin D} = \frac{z - z_1}{\sin I_s} = S$$

donde:

$$I_s = 180^\circ - I, \quad S = QR \quad y \quad ds = \frac{dz}{\sin I_s}$$

y:

$$\frac{dU}{dr} = \frac{dU}{ds} = \frac{dU \sin I_s}{dz}$$

La integración de (13) con respecto a z es igual a:

$$\begin{aligned}
 (U)_a = & \frac{1}{2 \sin I_s \sin I_s} \sum_m \sum_n e^{-k_{mn} \cdot z} \\
 & P_{mn} \cos(kmx + kny) + Q_{mn} \sin(kmx + kny) \\
 & + R_{mn} \cos(kmx - kny) + S_{mn} \sin(kmx - kny)
 \end{aligned} \quad (14)$$

en donde:

$$P_{mn} = \frac{1}{mn^2 + 3^2} (\beta_{mn} E_{mn} + \psi_3 F_{mn})$$

$$Q_{mn} = \frac{1}{mn^2 + 3^2} (\beta_{mn} F_{mn} - \psi_3 E_{mn})$$

$$R_{mn} = \frac{1}{mn^2 + 4^2} (\beta_{mn} G_{mn} + \psi_4 H_{mn})$$

$$S_{mn} = \frac{1}{mn^2 + 4^2} (\beta_{mn} H_{mn} - \psi_4 G_{mn})$$

$$\psi_3 = \cot I_s (km \cos D + kn \sin D) \quad \psi_4 = \cot I_s (km \cos D - kn \sin D)$$

La ecuación (14) nos da la expresión del potencial reducido al polo magnético, el cual ha sido obtenido de los valores conocidos de la anomalía de campo total sobre un plano horizontal. El campo total reducido al polo puede ser obtenido tomando la segunda derivada con respecto a z de la expresión del potencial dada en (14).

El campo total reducido al polo magnético está dado por:

$$T_R = -\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = \frac{1}{2 \sin I_s \sin I_s} \sum_m \sum_n \frac{1}{mn^2} e^{-kmnz} \\ P_{mn} \cos(kmx + kny) + Q_{mn} \sin(kmx + kny) \quad (15) \\ + R_{mn} \cos(kmx - kny) + S_{mn} \sin(kmx - kny)$$

Con el objeto de apreciar en una forma más clara las modificaciones causadas en los coeficientes de la serie de Fourier de la anomalía de campo total, al ser ésta reducida al polo magnético se han hecho las siguientes consideraciones:

- 1) Se desarrollan los coeficientes P_{mn} , Q_{mn} , R_{mn} y S_{mn} de la ecuación (15), poniendo estos en función de los coeficientes A_{mn} , B_{mn} , C_{mn} y D_{mn} dados en (4); y,

ii) Se considera que tanto el vector de polarización asociado al cuerpo magnetizado como el vector de inducción -- asociado al campo geomagnético poseen la misma dirección, esto es:

$$I_0 = I, \quad D_0 = D \quad \text{y} \quad I_{0s} = I_s$$

de donde:

$$\psi_1 = \psi_2 = \psi_3 = \psi_4 = \psi$$

Para simplificar la expresión final, haremos:

$$A = (pmn^2 - \psi^2) / (pmn^2 + \psi^2)^2$$

$$B = 2pmn \psi / (pmn^2 + \psi^2)^2$$

$$C = pmn^2 e^{-pmn z}$$

$$D = 1 / \text{Sen}^2 I_s$$

llegando finalmente a una expresión simplificada de la fórmula de reducción al polo magnético:

$$T_R = D \sum_m^{m_0} \sum_n^{n_0} C (A - B \tan km x) \cdot (A m n \cos km x \cos kny + C m n \cos km x \text{ sen kny}) + (A + B \tan^{-1} km x) (B m n \text{ sen km x} \cos kny + D m n \text{ sen km x} \text{ sen kny})$$

Resumiendo, tenemos que:

Los coeficientes A_{mn} y B_{mn} dados en (4) son modificados por D.C. $(A - B \tan km \cdot x)$ y los coeficientes C_{mn} y D_{mn} son modificados por D.C. $(A + B \tan^{-1} km \cdot x)$, produciendo en conjunto la reducción al polo magnético.

III.6 PRUEBA DE LOS ALGORITMOS DE CALCULO .

Con el objeto de apreciar el efecto producido en una anomalía de campo total, por las continuaciones analíticas hacia arriba como hacia abajo, la segunda derivada vertical y la reducción al polo magnético, se implementó un algoritmo que crea anomalías magnetométricas debidas a cuerpos prismáticos (Zietz, 1967) y otro que ejecuta continuaciones analíticas hacia arriba y abajo, segunda derivada vertical y la reducción al polo magnético (Bhattacharyya, 1965).

Se comprobó la eficiencia de dichos algoritmos mediante su aplicación para diferentes valores del campo geomagnético y con diversas dimensiones para los prismas. A continuación, se presentan algunos ejemplos de estas pruebas, que incluyen las secciones Norte-Sur magnético de los mapas generados. En la Figura 9 se muestran las características generales de los prismas utilizados.

Ejemplo 1. - Se calcula una anomalía sintética a partir de -

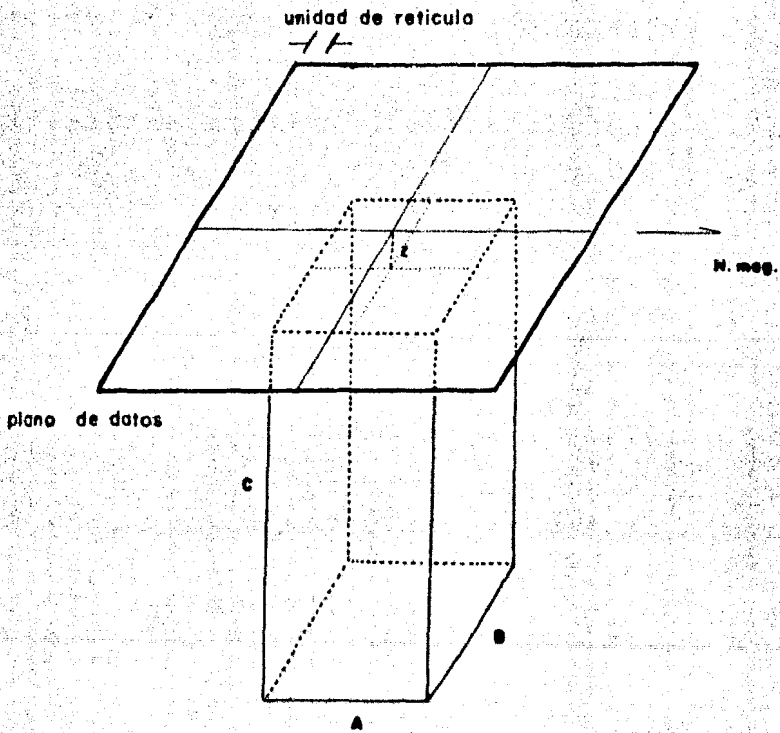


Figure No. 9 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS PRISMAS UTILIZADOS.

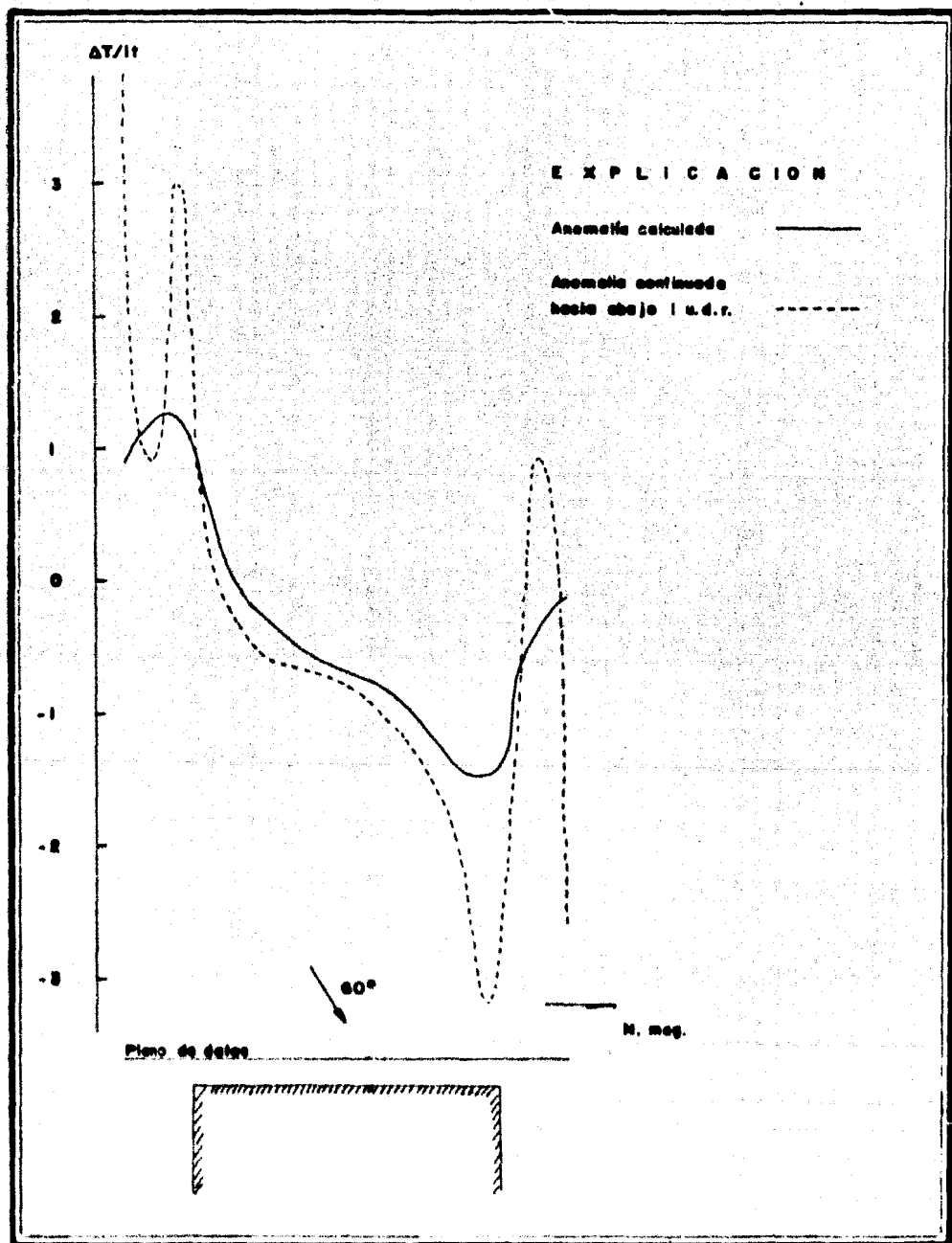
un prisma cuyas dimensiones, en unidades de retícula, son: $a = 11$, $b = 5$, $c = 00$ y $z = 1$. Las características del campo geomagnético son: inclinación 60° y declinación 0° . La anomalía creada fue continuada hacia abajo una unidad de retícula.

Como se ve en la Figura 10, la continuación hacia abajo de la anomalía calculada provoca una agudización tanto del alto como del bajo, haciendo más evidente la presencia del cuerpo que se encuentra bajo la superficie y su extensión horizontal.

Ejemplo 2. - Se calcula una anomalía sintética a partir de un prisma cuyas dimensiones, en unidades de retícula, son: $a = 9$, $b = 9$, $c = 00$ y $z = 1$. Las características del campo geomagnético son: inclinación 45° y declinación 0° . La anomalía creada fue continuada hacia arriba a una y a dos unidades de retícula.

La Figura 11 muestra que la continuación hacia arriba de la anomalía calculada hace a ésta más suave, dicho suavizamiento se incrementa cuando mayor es el nivel de continuación; se observa también un corrimiento del alto y el bajo.

Ejemplo 3. - Se calcula una anomalía sintética a partir de un prisma cuyas dimensiones, en unidades de retícula, son: $a = 11$, $b = 5$, $c = 00$ y $z = 1$. Las características del campo geomagnético son: inclinación 60° y declinación 0° . Se calcula la segunda deri-



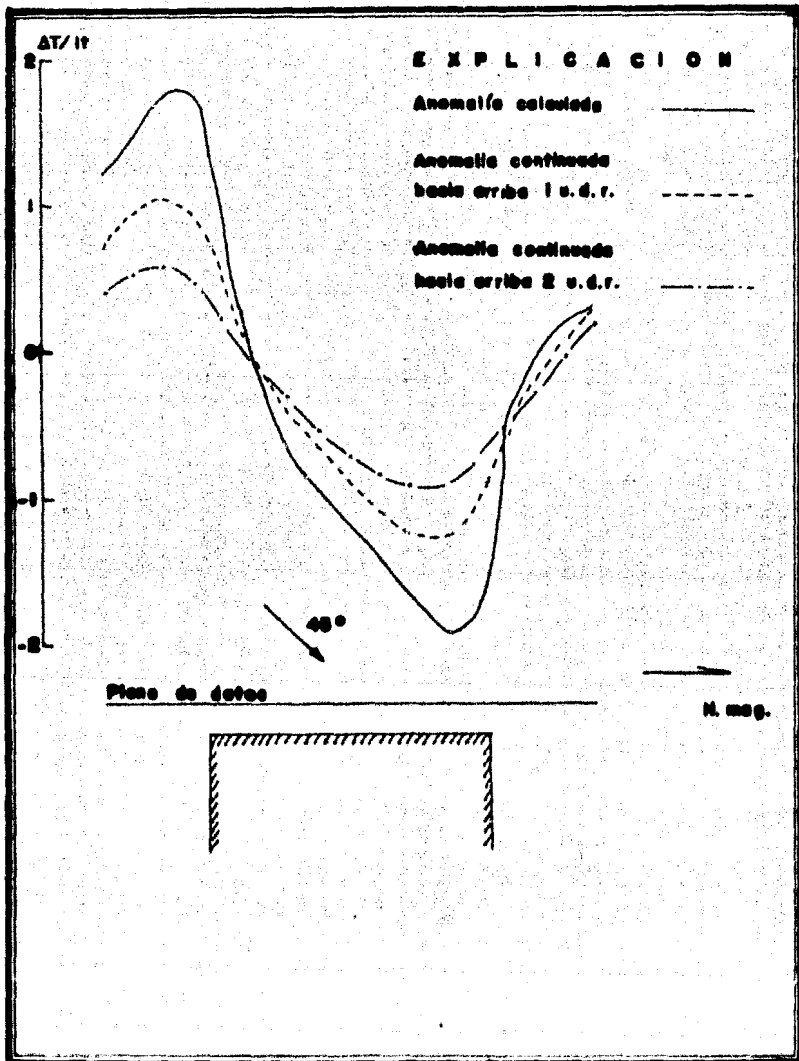


figure No. 11

vada vertical de la anomalía creada.

En la Figura 12 se aprecia que la segunda derivada vertical acentúa el alto y el bajo magnético de la anomalía calculada y delimita con buena precisión la extensión horizontal del prisma.

Ejemplo 4. - Se calcula una anomalía sintética a partir de un prisma cuyas dimensiones, en unidades de retícula, son: $a = 9$, $b = 9$, $c = 00$ y $z = 2$, y otra con las mismas dimensiones para el prisma pero con $z = 1$. Las características del campo geomagnético fueron las siguientes: inclinación 45° y declinación 0° . La anomalía calculada para $z = 2$ se continuó hacia abajo una unidad de retícula y el resultado obtenido es comparado con la anomalía calculada a $z = 1$.

En la Figura 13 se muestran los resultados obtenidos; se considera que el objetivo del ejemplo se cumplió, ya que la anomalía calculada a $z = 1$ concuerda de un modo bastante apreciable con la anomalía continuada hacia abajo.

Ejemplo 5. - Se calcula una anomalía sintética a partir de un prisma cuyas dimensiones, en unidades de retícula, son: $a = 9$, $b = 9$, $c = 00$ y $z = 1$. Las características del campo geomagnético son: inclinación 60° y declinación 0° . La anomalía calculada fue continuada hacia abajo dos unidades de retícula, quedando así el pla

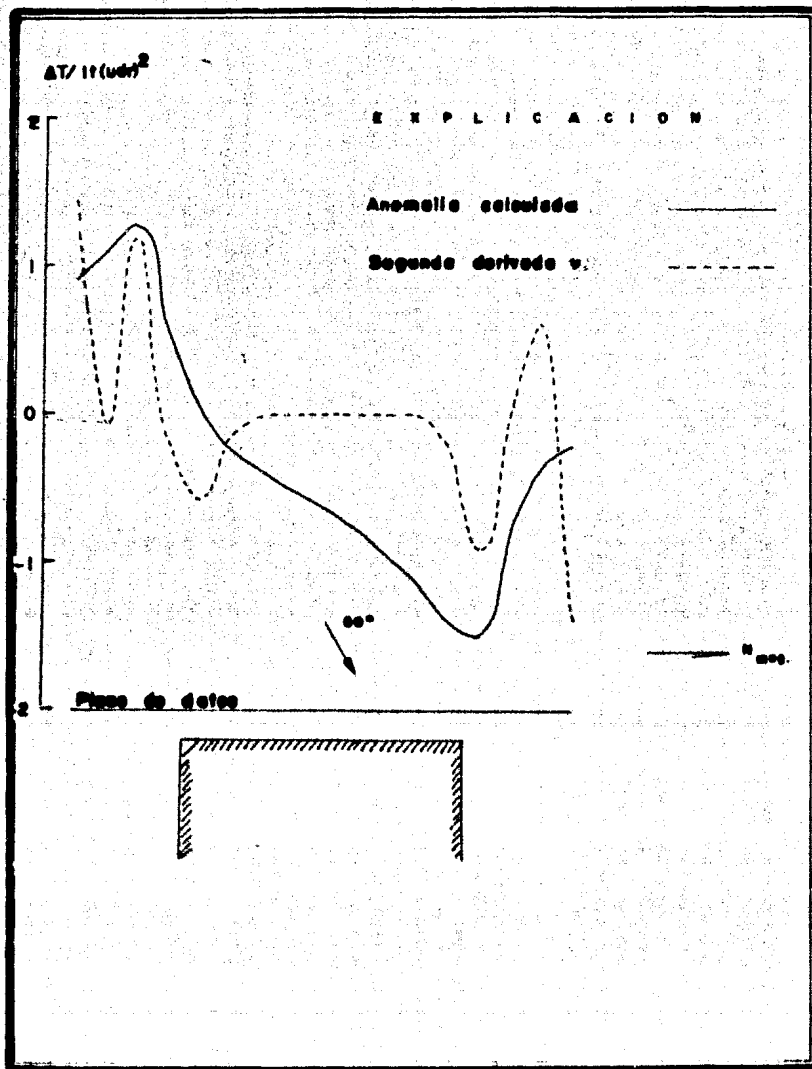


figura No. 12

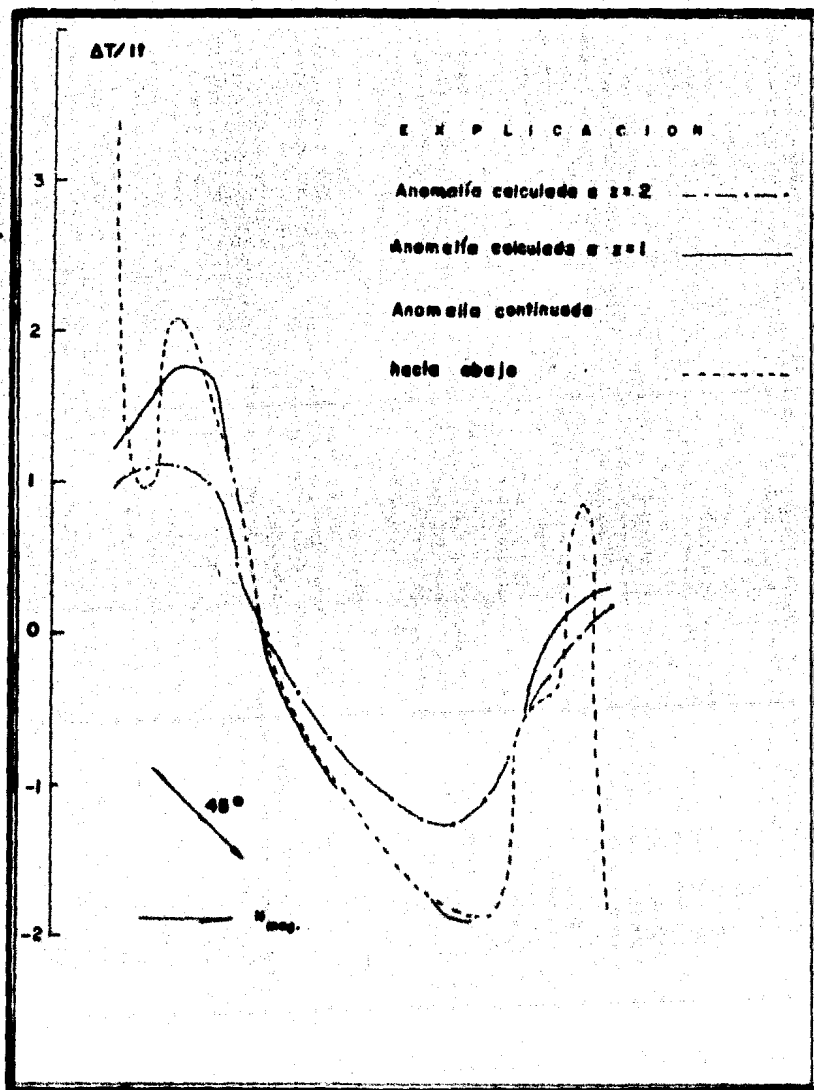


figura No. 13

no de datos una unidad de retícula dentro del cuerpo.

La Figura 14 muestra que la anomalía continuada presenta violentas fluctuaciones debidas al material magnético situado entre el plano en que se calculan los datos y el plano a que fueron continuados.

Ejemplo 6. - Se calcula una anomalía sintética a partir de un prisma cuyas dimensiones, en unidades de retícula, son: $a = 6$, $b = 6$, $c = 00$ y $z = 1$; las características del campo geomagnético son: inclinación 45° y declinación 0° . La anomalía calculada fue reducida al polo magnético.

En la Figura 15 se observa que ha desaparecido la forma dipolar debida a la inclinación del campo geomagnético y ahora la anomalía se presenta como un monopolo centrado exactamente sobre el prisma.

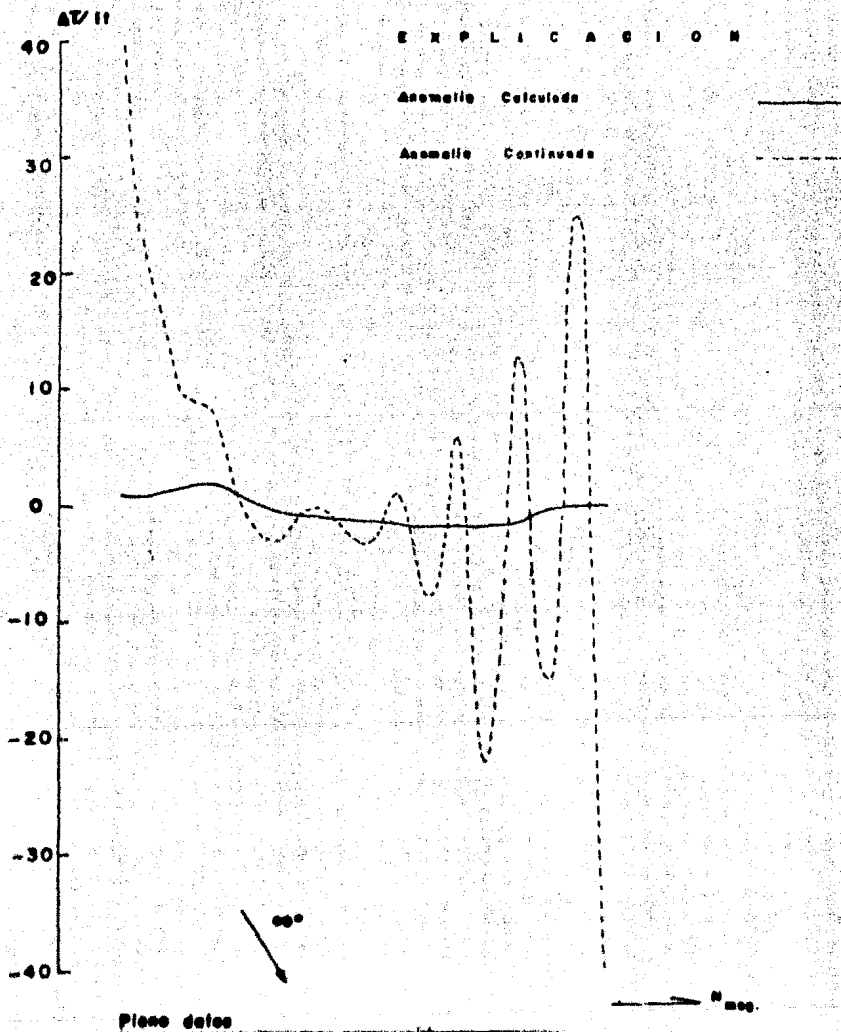


figura No 14

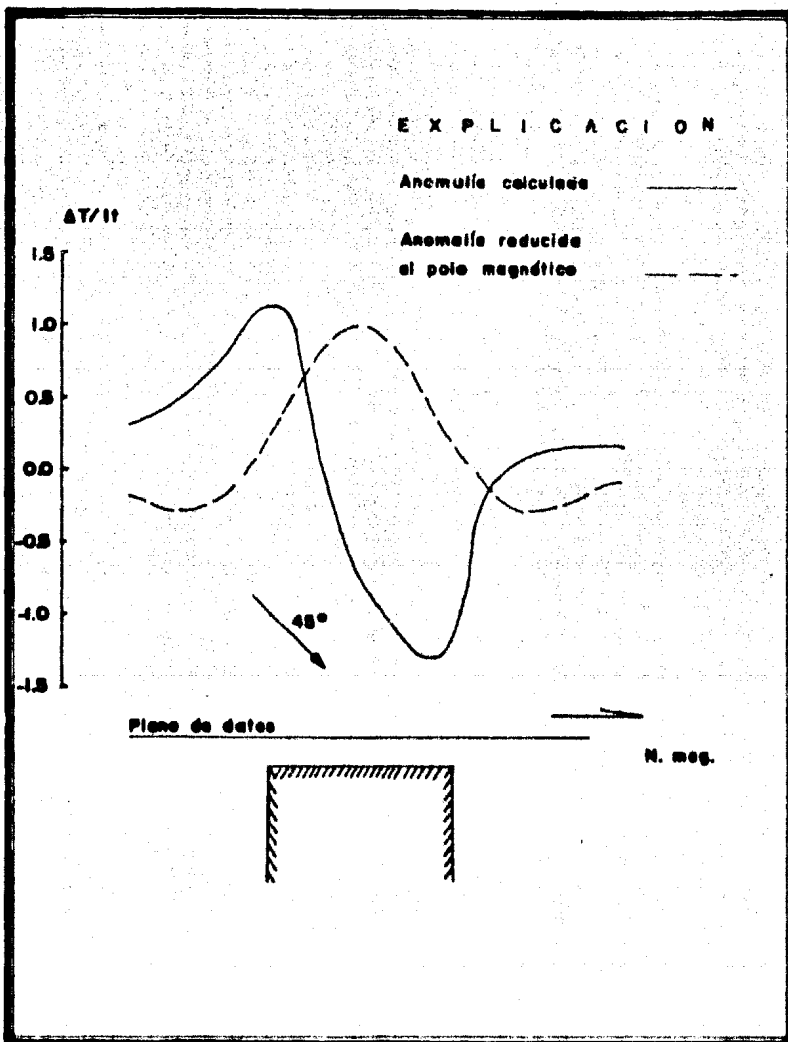


figure No. 15

IV. INTERPRETACION.

IV.1 GENERALIDADES.

El uso de las funciones filtro implica tener la superficie anómala aproximada por serie de Fourier y para que la respuesta obtenida sea confiable, la aproximación deberá ser bastante buena; para este propósito, se digitalizó el mapa aeromagnético del área de estudio en base a 25 líneas de muestreo de 13 Km. de longitud y con intervalo de muestreo y separación entre líneas de 250 m. Con esto, se logró reconstruir el mapa aeromagnético con un error máximo de ± 5 gamas entre los datos digitalizados y su aproximación por serie de Fourier.

Se obtuvieron 11 mapas a partir de los datos digitalizados, incluyendo estos últimos. La secuencia usada para obtenerlos se muestra en la Figura 16, en donde el nivel de que se habla corresponde al medido sobre el nivel del terreno.

Por otra parte, es necesario hacer notar que en los bordes de los mapas se aprecian ligeras distorsiones provocadas, al parecer, por la periodicidad implícita de la serie de Fourier; estas distorsiones son más notables en los bordes Norte y Sur, lo que puede estar asociado al mayor número de armónicos usados

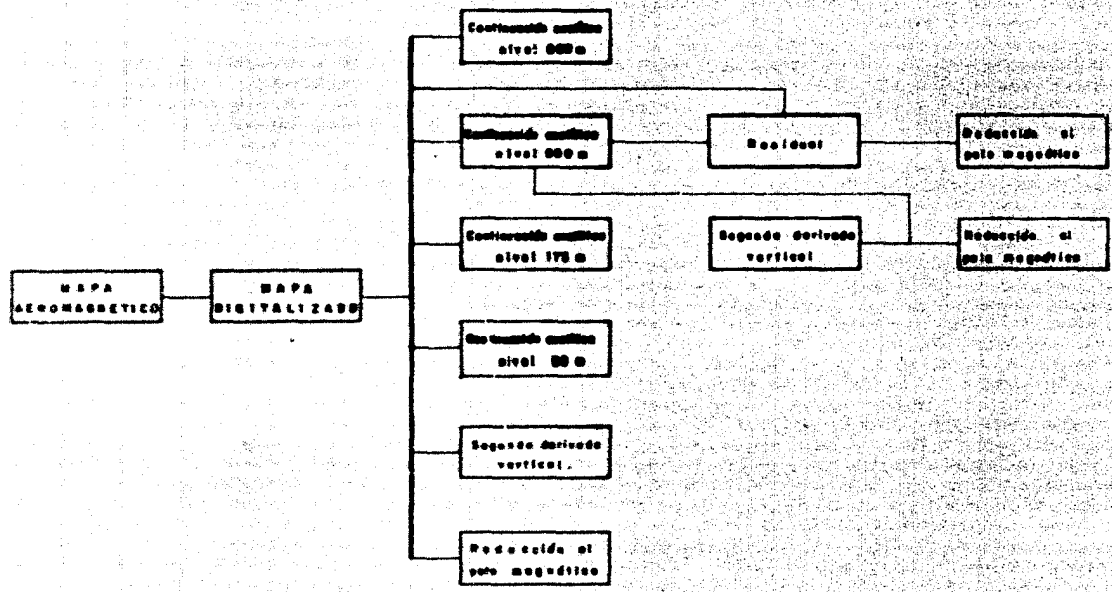


FIGURA No. 16

en dicha dirección.

IV.2 ANALISIS DE LOS MAPAS OBTENIDOS.

A continuación, se hace un análisis cualitativo de los mapas obtenidos:

IV.2.1 Mapa aeromagnético.

El mapa aeromagnético de campo total, nivel 300 m, - mostrado en la Figura 17, nos muestra la respuesta magnética - de todas las unidades litológicas presentes en el área de estudio, lo cual quiere decir que es el efecto integrado tanto de rocas se dimentarias, ígneas y metamórficas como de los yacimientos de hierro.

La respuesta magnética más importante está dada por la roca intrusiva y los yacimientos de hierro, ya que aunque el contenido de magnetita en la roca intrusiva es poco, son unidades de gran volumen y extensión; debido a esto, enmascaran la pre- sencia de los yacimientos de hierro.

El mapa aeromagnético muestra tres zonas anómalas, cu yas características en orden de importancia son dadas a continua- ción.

La primera de ellas, que será llamada Anomalia I a lo largo del presente trabajo, está situada al Sur del área de estudio y corresponde a los yacimientos de hierro del área de Peña Colorada. Dicha anomalía está formada por un dipolo con orientación N-S que presenta dos zonas de alto gradiente con diferente orientación; la situada al E presenta un gradiente de 2 800 gamas/Km. y la situada al W presenta un gradiente de 3 466 gamas/Km.

La segunda será denominada Anomalia II y está situada al N del área de estudio; presenta un dipolo cuya orientación es N-S y un gradiente de 1 493 gamas/Km.

Finalmente, la tercera será llamada Anomalia III y se encuentra situada en la parte central del área de estudio. Esta anomalía se comporta como un monopolio de 5 100 gamas.

IV.2.2 Mapa de continuación analítica hacia arriba, nivel 550 m.

Con el objeto de separar la respuesta magnética debida a las estructuras emplazadas a profundidad de las estructuras someras, se continuó analíticamente hacia arriba el mapa aeromagnético (nivel 300 m) hasta situarlo a un nivel de 550 m. El resultado obtenido se muestra en la Figura 18 y se discute a continuación.

La Anomalia I se presenta como un dipolo orientado al NE, con un alto de 5 700 gamas y un bajo de 4 250 gamas; las anomalías II y III, aparentemente separadas, se presentan ahora como un dipolo con orientación NS con un alto de 5 000 gamas y un bajo de 4 000 gamas.

Se ha detectado la presencia de dos grandes estructuras. La situada al N del área presenta la tendencia SW detectada en el mapa aeromagnético al nivel de 300 m, pero a profundidad se define claramente. Por la intensidad del gradiente, se infiere que la estructura es más somera en el extremo NE y que se profundiza hacia el SW. La estructura situada al S del área es más pequeña que la anterior y aparentemente se profundiza hacia el SW.

De estos resultados podemos deducir que estas dos estructuras se encuentran asociadas a crestas del batolito que se encuentra emplazado en toda la región.

Con respecto a las diferentes orientaciones dipolares, se presentan algunas ideas que, debido a los alcances de este trabajo, sólo quedaron a manera de hipótesis.

- 1) Se trata de eventos diferentes, debido a lo cual la orientación de los dipolos es distinta; y,

- ii) La anomalía del Sur ha sido movida de su posición original a causa de los intensos movimientos estructurales que ocurrieron en el área, evidencia de esto último puede ser la falla situada al N del Cerro de la Astilla, que aparentemente se correlaciona con la distorsión de rumbo EW presente en este plano entre las anomalías asociadas a estas dos estructuras.

IV.2.3 Mapa de continuación analítica hacia arriba, nivel 800 m.

Las características que presenta este mapa, mostradas en la Figura 19, son similares tanto en forma como en intensidad al mapa continuado al nivel 550 m; se puede observar, además, un ligero suavizamiento de las curvas isogamas, debido al nivel a que ha sido continuada.

El análisis de este mapa nos lleva a las mismas conclusiones que fueron emitidas en el punto anterior.

IV.2.4 Mapa de continuación analítica hacia abajo, nivel 175 m.

La continuación analítica hacia abajo del mapa aeromagnético nivel 300 m es presentada en la Figura 20 y los resultados son los siguientes:

En la Anomalía I se han acentuado las formas fundamen-

tales de las curvas isogamas y aumentado su intensidad, presentándose ahora tres zonas de gradiente; la situada al W y la del centro tienen un gradiente de 6 666 gamas/Km., la situada al E tiene un gradiente de 6 400 gamas/Km.

En la Anomalia II también se han acentuado las formas fundamentales de sus curvas isogamas y aumentado su intensidad, presentando ahora un gradiente de 2 666 gamas/Km.

La Anomalia III solamente ha sido desplazada hacia el SE, conservando su misma intensidad.

IV.2.5 Mapa de continuación analítica hacia abajo, nivel 50 m.

En la Figura 21 se muestran los resultados obtenidos y se discuten a continuación.

Debido al nivel a que se han continuado los datos, su intensidad ha aumentado considerablemente y se aprecian variaciones que van de -15 000 a 25 000 gamas, conservándose un valor regional de 5 000 gamas.

Las grandes variaciones se presentan sobre las Anomalías I y II, en forma de pequeños dipolos orientados N-S; aunque no se descarta la posibilidad de que estos dipolos estén asociados a zonas mineralizadas someras, se cree, debido al aline-

miento que presentan, estén influenciadas por ruido causado por altas frecuencias no relacionadas con el mineral de hierro.

IV.2.6 Mapa Residual.

La diferencia efectuada entre los valores del mapa aeromagnético nivel 300 m y la continuación analítica hacia arriba - nivel 550 m, dio como resultado el mapa residual mostrado en la Figura 22, el cual presenta las siguientes características.

La Anomalía I se presenta como dos dipolos, uno de ellos al W, con orientación N-S, el cual tiene un alto de 700 gamas y un bajo de -700; el otro, situado al E, tiene un alto de 700 gamas y un bajo de -600, encontrándose desplazado hacia el N con respecto al anterior.

La Anomalía II se presenta como un dipolo con orientación N-S, con un alto de 700 gamas y un bajo de -400.

Con respecto a la Anomalía III, perdió la relación que tenía con la Anomalía II y ahora se comporta como un dipolo con 300 gamas en su alto y -100 en su bajo.

En este mapa se ha eliminado en gran parte la respuesta magnética de las estructuras profundas, conservándose la respuesta de las estructuras someras.

IV.2.7 Segunda derivada vertical del mapa aeromagnético, nivel - 300 m.

En el proceso de la segunda derivada del mapa aeromagnético, nivel 300 m, la respuesta mostrada en la Figura 23 es la siguiente:

La Anomalía I presenta un alineamiento de altos y bajos que sigue las tendencias manifestadas en el residual, pero ahora el gradiente es mayor y el número de dipolos se ha incrementado a lo largo de éste, delimitando con mayor claridad la anomalía en cuestión. El valor general de los alineamientos de altos es de 3 500 gamas y el de los bajos de -3 500 gamas, adoptando una forma de U invertida e irregular.

La Anomalía II no se define tan claramente como la Anomalía I, ya que la serie de altos y bajos que se presentan están relativamente separados. Los altos varían de 1 000 a 4 000 gamas siguiendo la tendencia SW del alto de la Anomalía II, nivel 300 m. En la parte Norte de la serie de altos aparece un alineamiento de bajos que varía de -500 a -2 000 gamas siguiendo la tendencia similar al bajo de la Anomalía II, nivel 300 m, pero no tan definida. Se observa, además, una tendencia N-S formada por una serie de altos y bajos que se inicia en la parte central de los altos con tendencia SW.

En la Anomalia III se muestra que, en la parte NE de ésta, aparece un dipolo con un alto de 500 gamas y un bajo de -500 gamas. Hacia el SE se encuentra una tendencia formada por dos dipolos, el del Oeste con un alto de 1 500 gamas y un bajo de -1 500 gamas y el del Este presenta un alto de 1 500 gamas y un bajo de 0 gamas. Dichos dipolos, en conjunto, presentan una orientación NE.

IV.2.8 Segunda derivada del mapa de continuación analítica hacia arriba, nivel 550 m.

Como se muestra en la Figura 24, la Anomalia I se comporta como dos dipolos, con altos de 400 gamas y bajas de -400 gamas; el situado al E está desplazado al N con respecto al del W.

La Anomalia II se comporta como un dipolo con un alto de 350 gamas y un bajo de -200 gamas.

La Anomalia III aparece como un dipolo de 200 gamas en su alto y -100 gamas en su bajo.

Todos estos dipolos tienen una orientación N-S y presentan características muy semejantes al del mapa residual, aunque su intensidad magnética se ha visto disminuida.

IV.2.9 Reducción al polo magnético del mapa aeromagnético original 300 m.

En la Figura 25 se muestran los resultados obtenidos en la reducción al polo magnético, los cuales se discuten a continuación.

La Anomalfa I se comporta como un monopolo de 3 000 gamas situado en la zona de gradiente del plano aeromagnético; al Sur de esta anomalfa se presenta un bajo de -1 500 gamas asociado al tren de bajos de la anomalfa residual y a la tendencia de la curva de 4 500 gamas en el plano regional, nivel 550 m.

La Anomalfa II se comporta como un monopolo de 3 000 gamas situado en la zona de gradiente del plano aeromagnético, nivel 300 m. Al Norte de este alto aparece un bajo de -1 500 gamas, el cual, por el efecto esperado de la reducción al polo magnético, no se cree que esté asociado con el monopolo de la zona de gradiente.

La Anomalfa III ha desaparecido casi completamente.

Dado que la reducción al polo ha sido hecha partiendo de los datos del vuelo aeromagnético, nivel 300 m, el resultado obtenido está referido al efecto integrado del conjunto de rocas que se presentan en el área.

IV.2.10 Reducción al polo magnético del mapa continuado hacia arriba, nivel 550 m.

Este proceso es mostrado en la Figura 26. Se observa que conserva las mismas características de forma en las curvas isogamas, pero existiendo un suavizamiento de éstas; por otra parte, su intensidad magnética ha disminuido en general 500 gamas.

IV.2.11 Reducción al Polo Magnético del Mapa Residual.

En este mapa, Figura 27, se observa un alineamiento de dipolos en las que su intensidad varía de -1 000 a 1 000 gamas, orientados todos ellos N-S, cubriendo toda el área de estudio.

Se considera que el resultado de este proceso no se puede correlacionar con ninguna otra información, pero podrían mejorarse los resultados recortando coeficientes de la serie de Fourier para eliminar los efectos indeseables que enmascaran la información deseada.

CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos mediante el uso de las funciones filtro sobre los datos aeromagnéticos nos ha proporcionado información acerca de dos tópicos, a saber:

- i) Se han delimitado dos grandes estructuras, una de ellas asociada a la Anomalfa I y la otra asociada a las Anomalfas II y III; y,
- ii) Se han delimitado áreas en donde existe la posibilidad de ocurrencia de yacimientos de hierro.

En la obra Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico (Bateman, 1957), se menciona que algunos yacimientos minerales se presentan en las cimas de batolitos. Esta idea nos permite correlacionar las cimas de las dos estructuras detectadas con las áreas que presentan posibilidades de ocurrencia de yacimientos minerales de hierro. Este tipo de relación se presenta en el yacimiento de Peña Colorada, el cual, según los datos estructurales inferidos, se presenta en una cima del batolito, el cual necesariamente aportó las soluciones que dieron origen a la mineralización de hierro. Con respecto a la estructura detectada

al Norte del área, se presentan características similares, a saber:

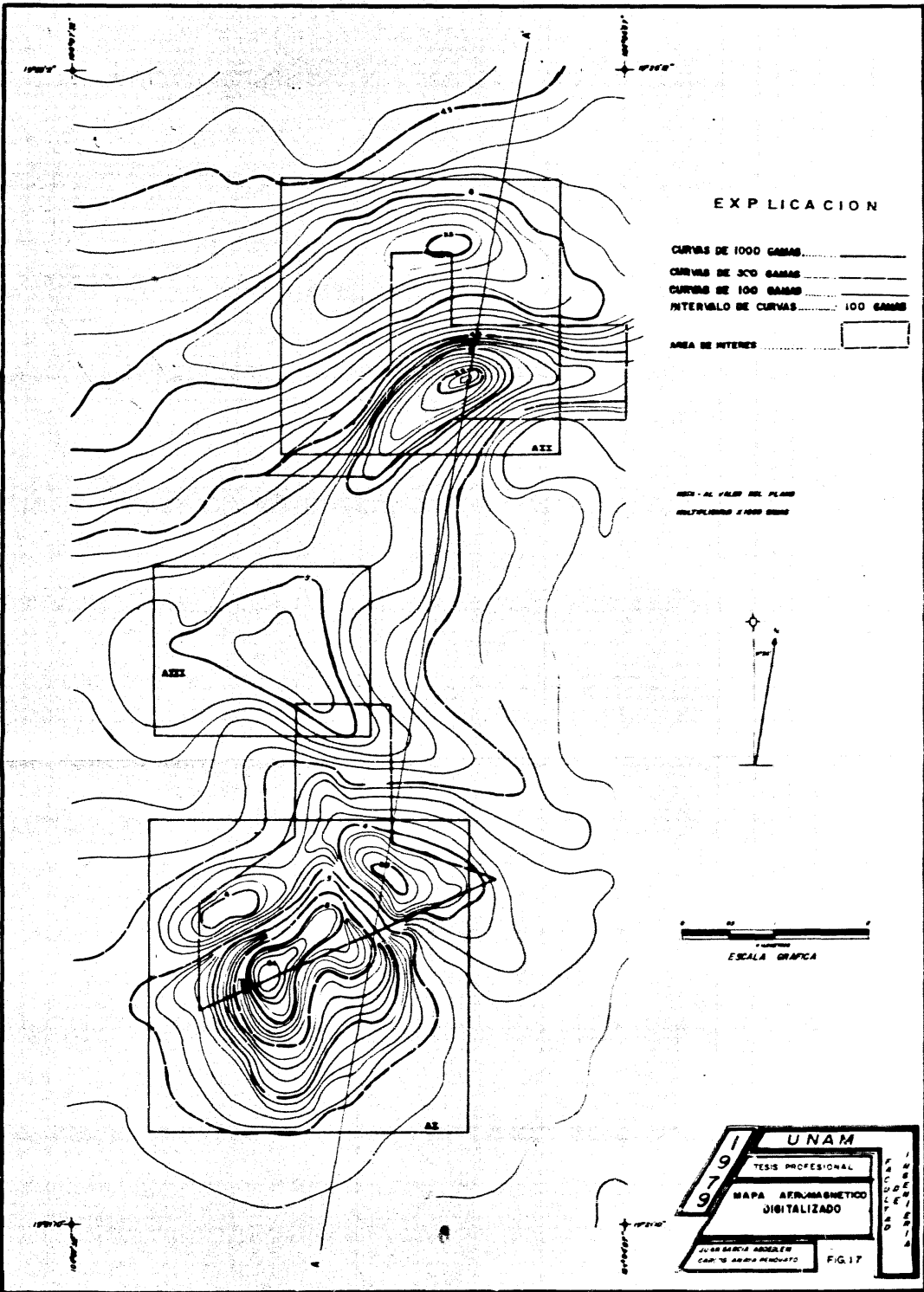
- i) Se ha inferido la posición de una estructura que buza hacia el SW; y,
- ii) Hacia la cima de esta estructura, se ha delimitado un área con grandes posibilidades en cuanto a la posible ocurrencia de yacimientos de hierro.

En la Figura 17 se muestran las zonas delimitadas, principalmente haciendo uso de los resultados obtenidos de la segunda derivada vertical del mapa aeromagnético, nivel 300 m.

En las Figuras 28, 29 y 30, se presentan los perfiles de continuación analítica, segunda derivada vertical y reducción al polo magnético, sobre una sección de rumbo Norte magnético; se presenta, además, la planta del plano geológico en la zona por donde cruza la sección y los resultados obtenidos al modelar el perfil del vuelo aeromagnético mediante curvas modelo desarrolladas por el señor Mitzuya M. Takahashi, las cuales están basadas en modelos de prismas infinitos.

En los perfiles mostrados se hace evidente la correlación que existe entre el yacimiento de Peña Colorada y las respuestas obtenidas. Es debido a esto que podemos concluir afirmando la

existencia de un yacimiento de hierro de interés económico al N de Peña Colorada, relacionado con la Anomalia II.



EXPLICACION

- CURVAS DE 1000 GANAS _____
- CURVAS DE 300 GANAS _____
- CURVAS DE 100 GANAS _____
- INTERVALO DE CURVAS : 100 GANAS

AREA DE INTERES

NOTA - AL FILAR DEL PLANO
MULTIPLICAR POR 1000 METROS



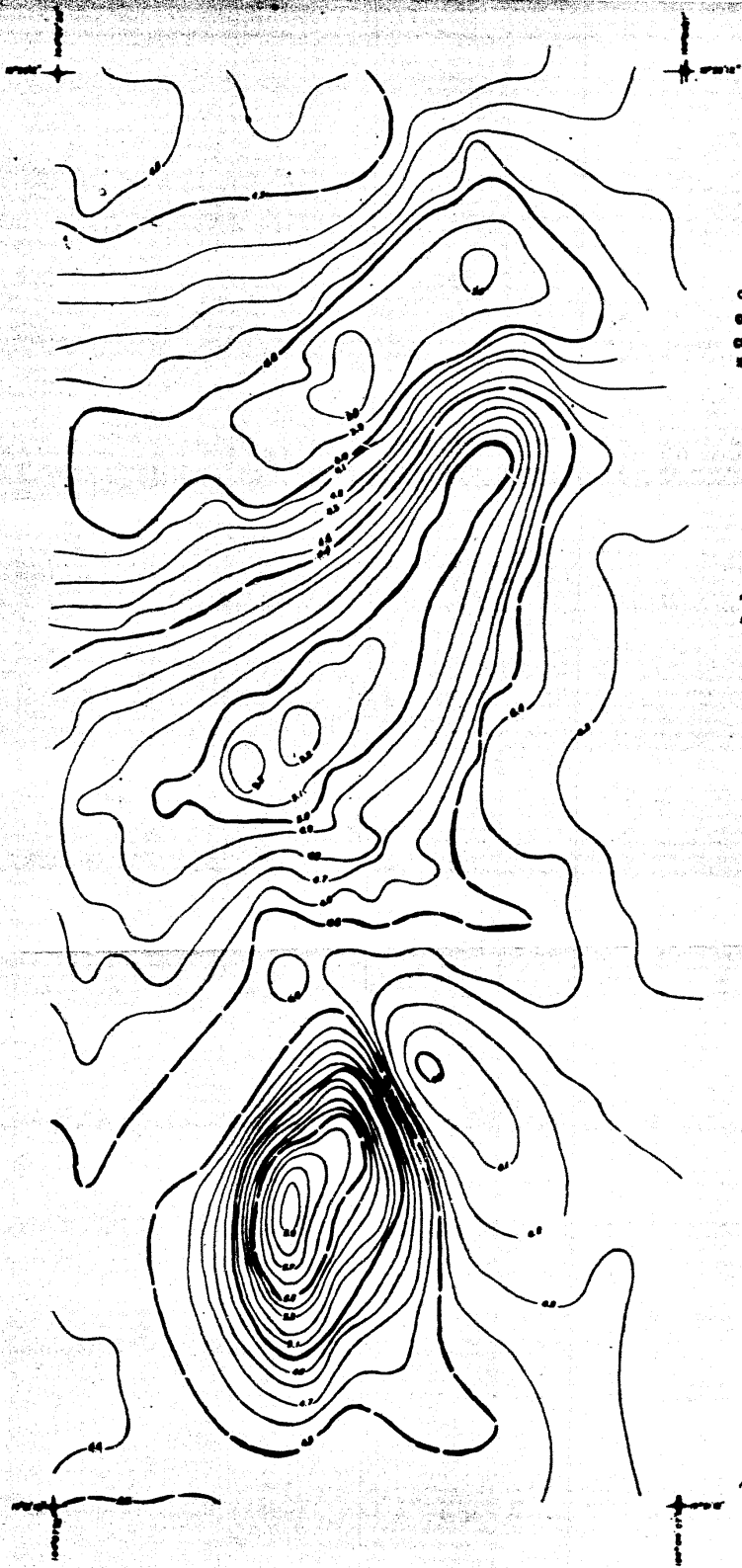
UNAM

TESIS PROFESIONAL

MAPA AEROMAGNETICO
DIGITALIZADO

JULIA MARCELA ARDOLERO
CAROLINA ARANDA RODRIGUEZ

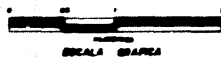
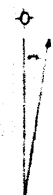
FIG.17



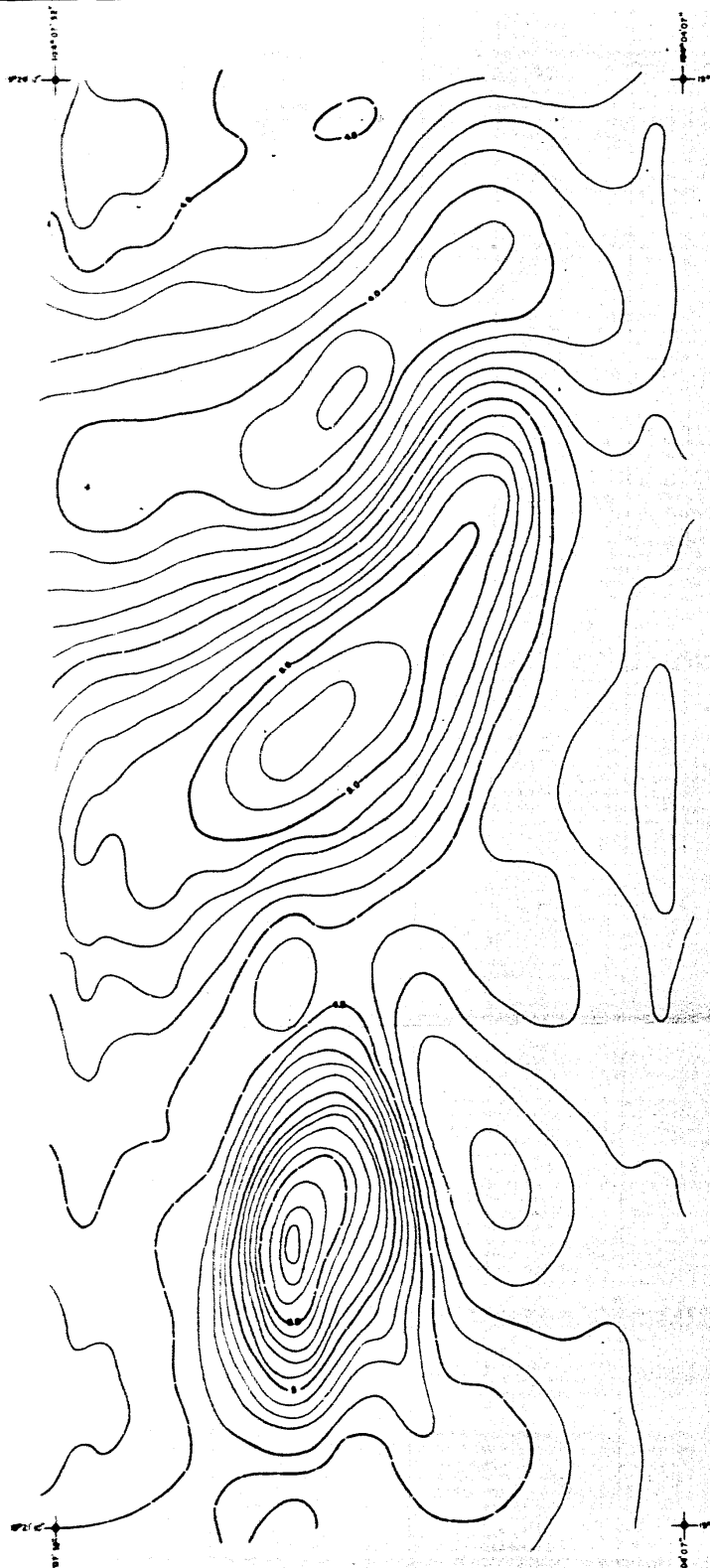
EXPLICACION

- CURVAS DE 1000 CANTAS
- CURVAS DE 500 CANTAS
- CURVAS DE 100 CANTAS
- INTERVALO DE CURVAS 100 CANTAS

NOTA - AL HACER DEL PLANO
 SE USARON 1 KM CANTAS



1 9 7 9	UNAM	FACULTAD DE CIENCIAS DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
	TESIS PROFESIONAL	
	CONTINUACION ANALITICA HACIA ARRIBA NIVEL 580M	
	CON EL APOYO DEL C. D. D. GEOGRAFIA	
FIG. 18		



EXPLICACION

- CURVAS DE 1000 BARRAS ————
- CURVAS DE 500 BARRAS ————
- CURVAS DE 100 BARRAS ————
- INTERVALO DE CURVAS 100 BARRAS

NOTA: AL VALOR DEL PLANO
MULTIPLICARLO X 1000 BARRAS



ESCALA GRAFICA

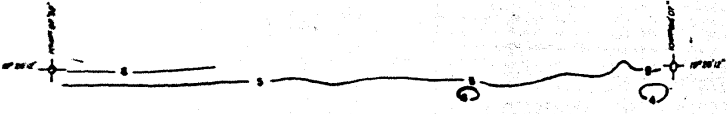
UNAM

TESIS PROFESIONAL

CONTINUACION
ANALITICA HACIA
ARRIBA
NIVEL 500 M.

JUAN GARCIA ARRIOLA
CARLOS GONZALEZ RODRIGUEZ

FIG. 10

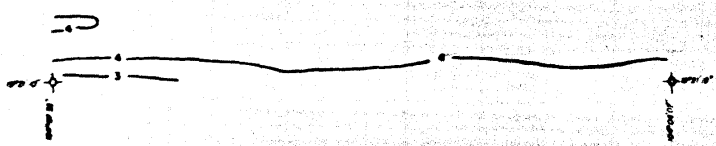
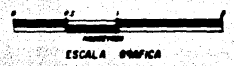
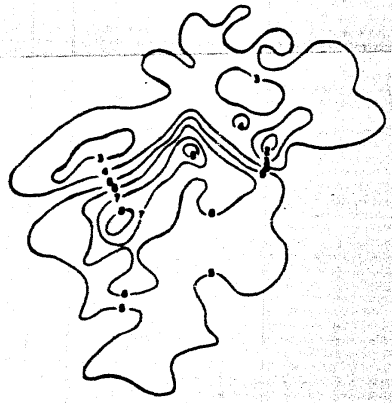
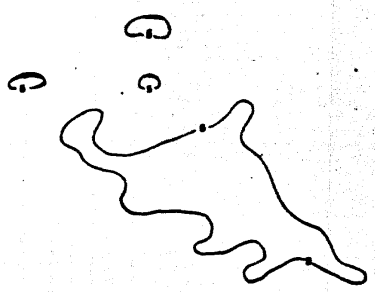


EXPLICACION

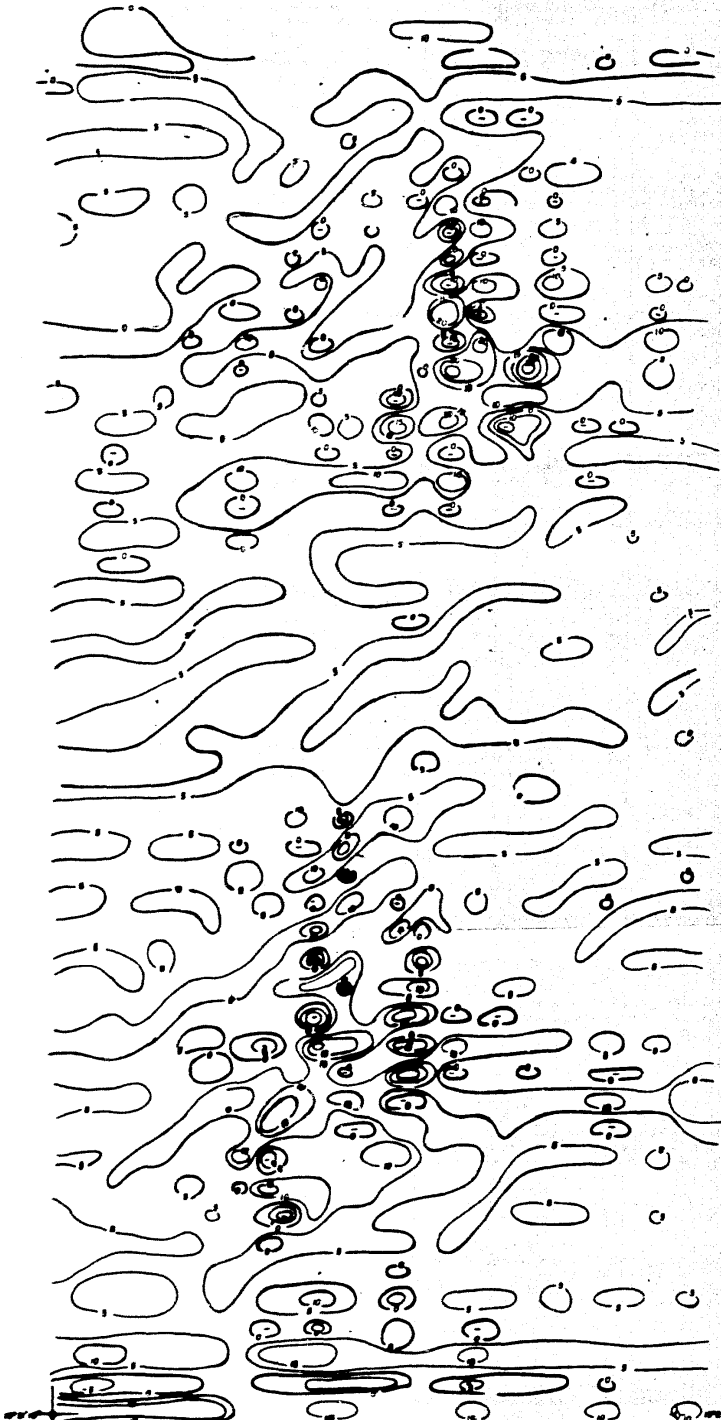
CURVAS DE 1000 GABAS
 INTERVALO DE CURVAS 1000 GABAS



NOTA - AL VALOR DEL PLANO
 MULTIPLICARLO X 1000 GABAS



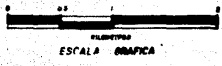
1 9 7 9	UNAM	I N S T I T U T O N A C I O N A L D E C I E N C I A S E X A C T A S
	TESIS PROFESIONAL	
	CONTRACCION ANALITICA HACIA ABAJO, NIVEL 175ML	
	DR. GARCIA ARELLAN CARLOS GONZALES RODRIGUEZ FIG. 20	



EXPLICACION

CURVAS DE 0 GANAS
 CURVAS DE 5000 GANAS
 INTERVALO DE CURVAS 5000 GANAS

NOTA - AL MEDIR DEL PLANO
 MULTIPLICARLO X 1000 GANAS



1 9 7 9	UNAM	1 9 7 9
	TITULO PROFESIONAL	
	CONTRACCION ANALITICA HACIA ABAJO NIVEL 50 M	
	JUAN SANCIA GONZALEZ CAROLINA MARTIN RODRIGUEZ	

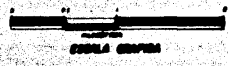
FIG. 21



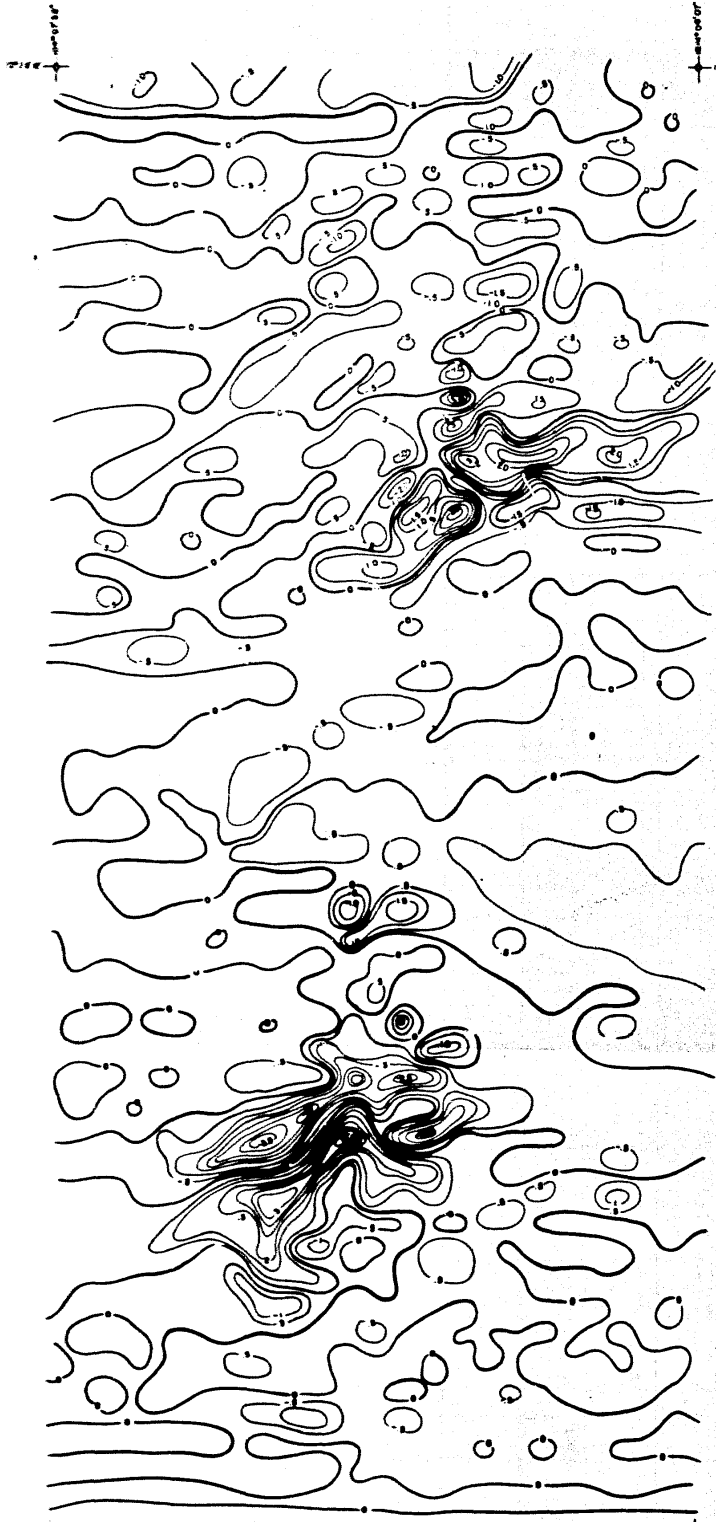
EXPLICACION

CURVAS DE 500 GABAS
 CURVAS DE 100 GABAS
 INTERVALO DE CURVAS 100 GABAS

NOTA- AL VALOR DEL PLANO
 MULTIPLICARLO POR 100 GABAS



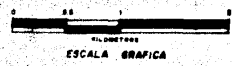
1 9 7 9	UNAM	1 9 7 9
	VICEPRESIDENCIA MAPA RESIDUAL	
	JUNIO 2013 CAROL ANA GONZALEZ	
	FIG. 22	



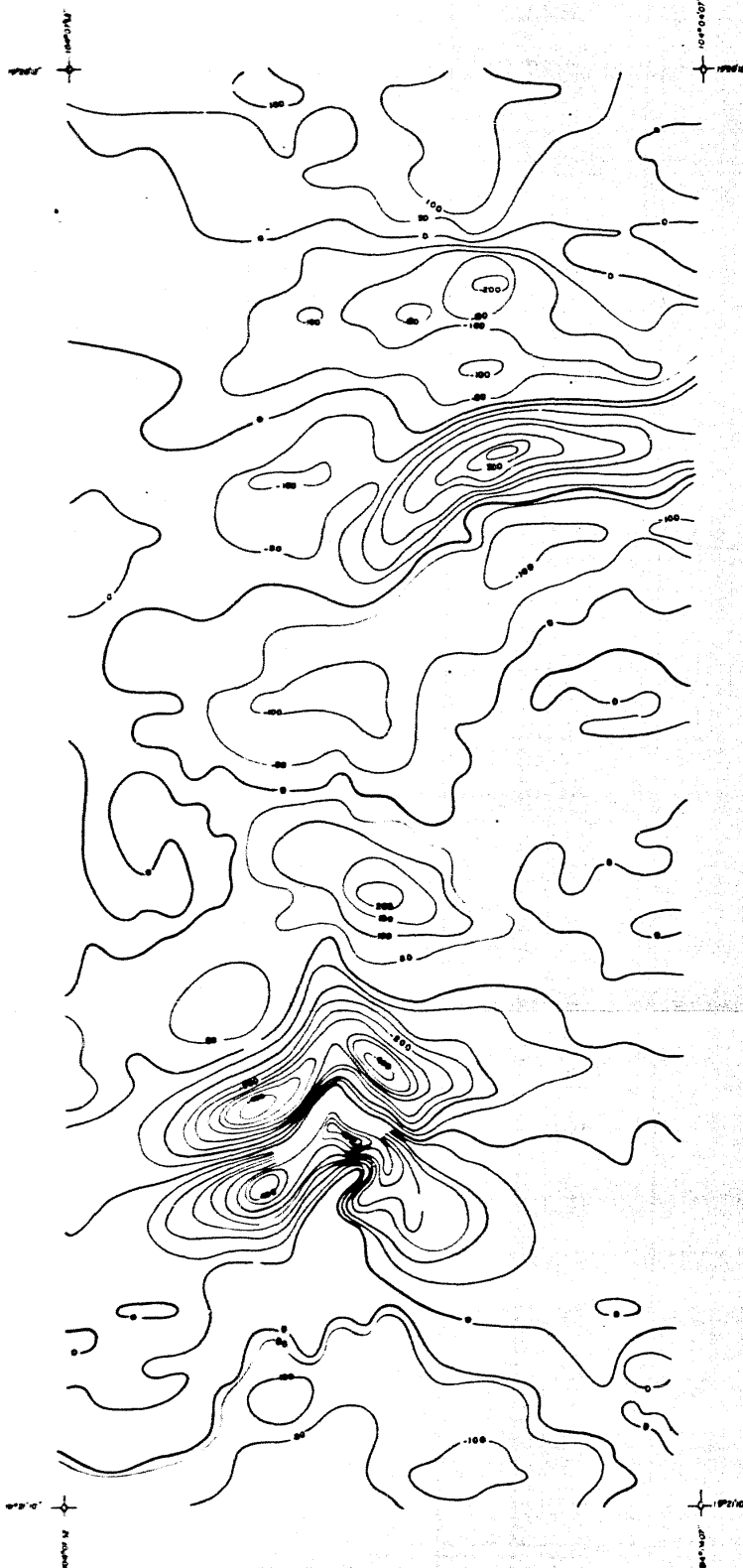
EXPLICACION

CURVAS DE 500 GAMAS/230m² _____
 CURVAS DE 0 GAMAS/230m² _____
 INTERVALO DE CURVAS 500 GAMAS

1:078 AL VALOR DE PLANO
 MULTIPLICARLO X 1000 GAMAS

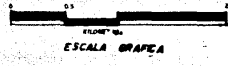


1979	UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TALON PROFESIONAL	
	SEMINA DERIVADA VERTICAL DEL PLANO AEROMAGNETICO NIVEL 300 M	
	JUAN GARCIA ABEDEN CARLOS ARAYA REBUNTO	FIG. 23



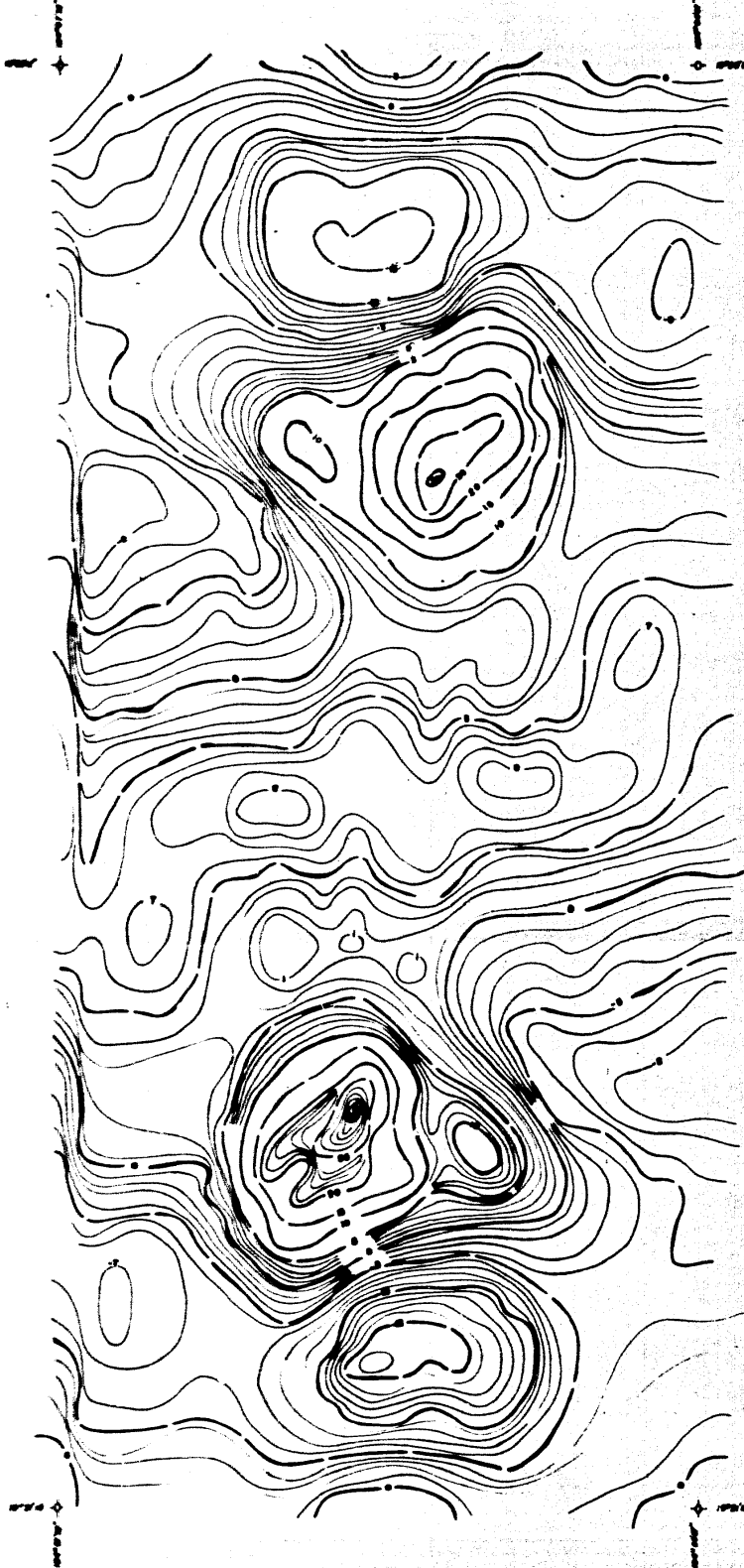
EXPLICACION

CURVAS DE 50 GAMAS/250m² _____
 CURVAS DE 0 GAMAS/250m² _____
 INTERVALO DE CURVAS 50 GAMAS



19279	UNAM	INGENIERIA CIVIL
	TESIS PROFESIONAL	
	SEGUNDA DERIVADA VERTICAL DEL MAPA DE CONTORNOS ANALITICA HACIA ARRIBA, NIVEL 300 m.	
	JUAN BARTIA ARRIEN CARLOS AGUIRRE	

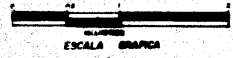
FIG. 24



EXPLICACION

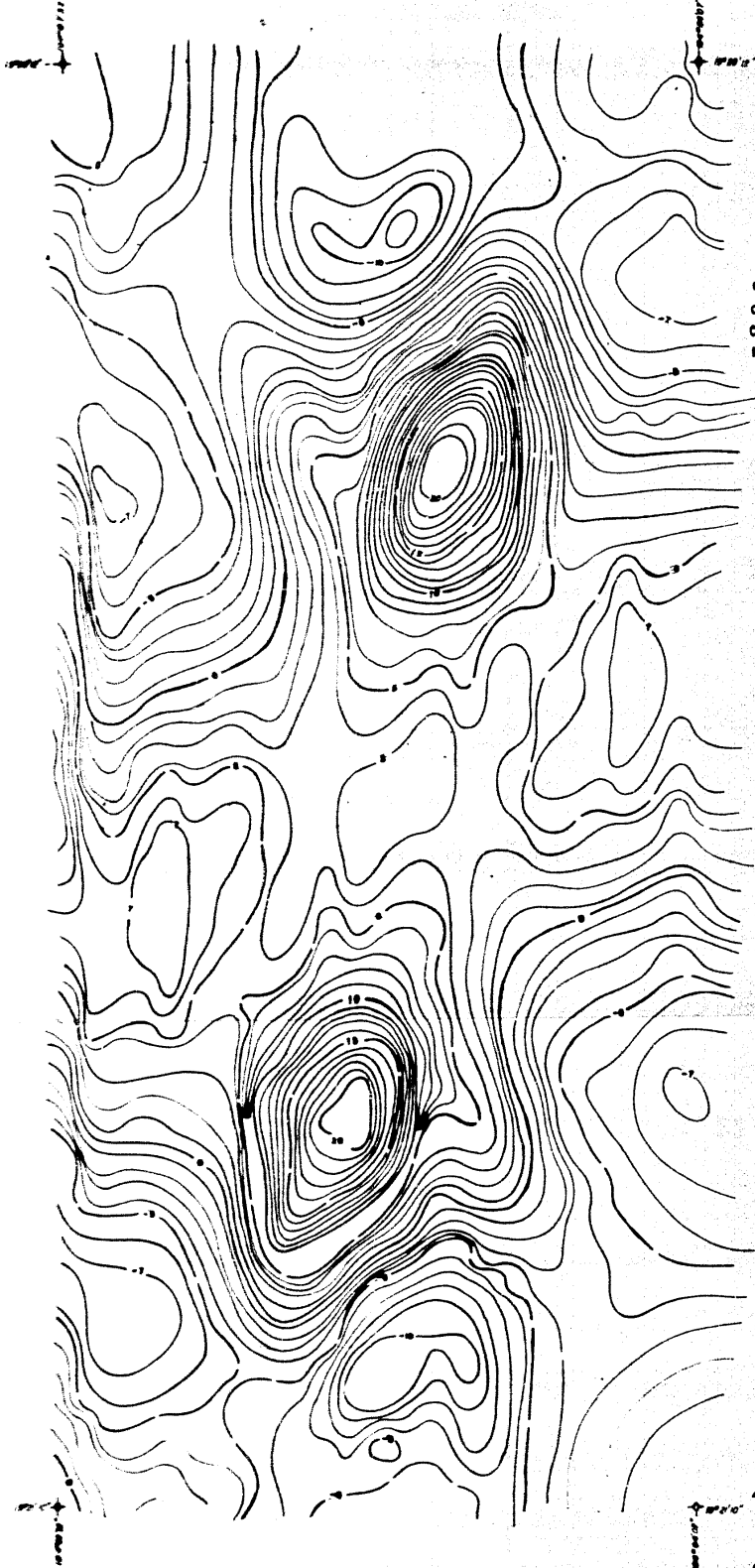
CURVAS DE 1000 GAMAS
 CURVAS DE 500 GAMAS
 INTERVALO DE CURVAS 100 GAMAS

REDUC. AL VALOR DEL PLANO
 MULTIPLICANDO X 100 GAMAS



1 9 7 9	UNAM	I N S T I T U T O N A C I O N A L D E C I E N C I A S E X A C T A S
	TECICO PROFESIONAL	
	REDUCCION AL POLO MAGNETICO DEL MAPA AEROMAGNETICO NIVEL 300 M.	
	JUAN GARCIA AMERLEO GERARDO MARTI RODRIGUEZ	

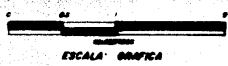
FIG. 25



EXPLICACION

- CURVAS DE 1000 BARRAS ————
- CURVAS DE 800 BARRAS ————
- CURVAS DE 100 BARRAS ————
- INTERVALO DE CURVAS 100 BARRAS

NOTA - AL VALOR DEL PLANO
 SE MULTIPLICAN 2 100 BARRAS

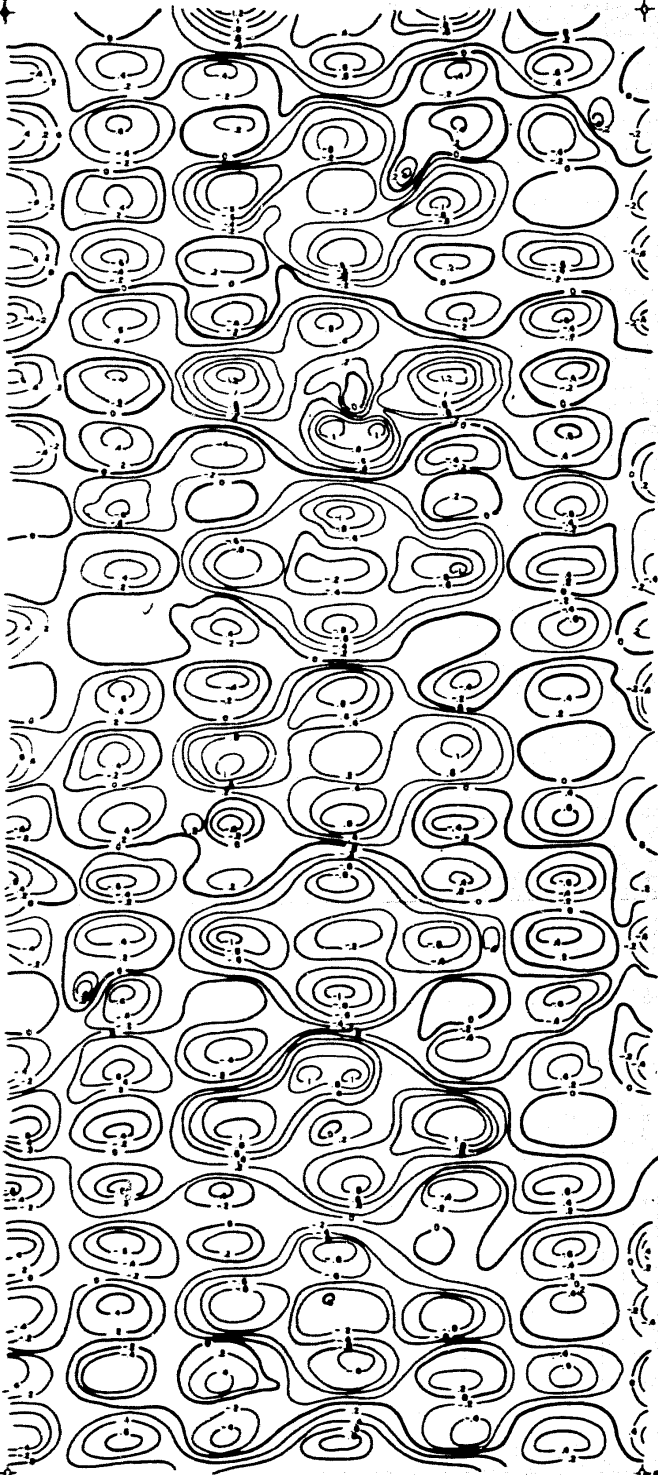


UNAM

TOMO PROFESIONAL

REDACCION AL POLO
 MANEJO DE LA
 CONTINUACION ANALITICA
 HACIA AREA NIVEL SEDOS

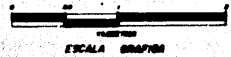
FIS. 06



EXPLICACION

CURVAS DE 1000 GABAS
 CURVAS DE 200 GABAS
 INTERVALO DE CURVAS..... 200 GABAS

NOTA: AL VALOR DEL PLANO
 MULTIPLICADO X 1000 GABAS



UNAM

TESIS PROFESIONAL

REDUCCION AL POLO
MAGNETICO DEL MAPA
RESIDUAL

JUAN MARCO ABENALDO
CARLOS ANTONIO REBORETO

FIG. 27

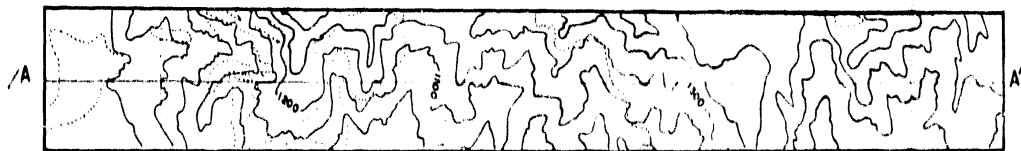
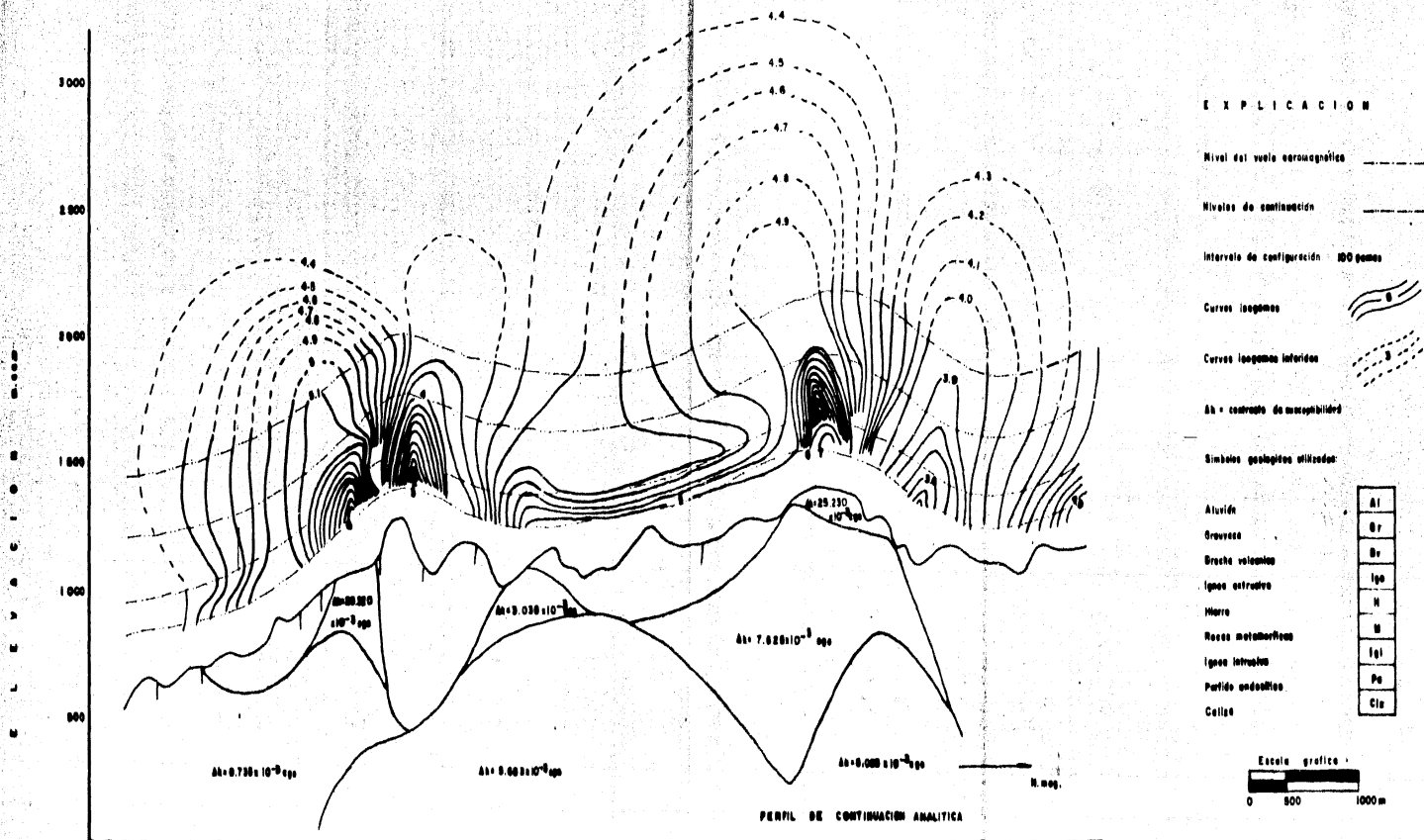
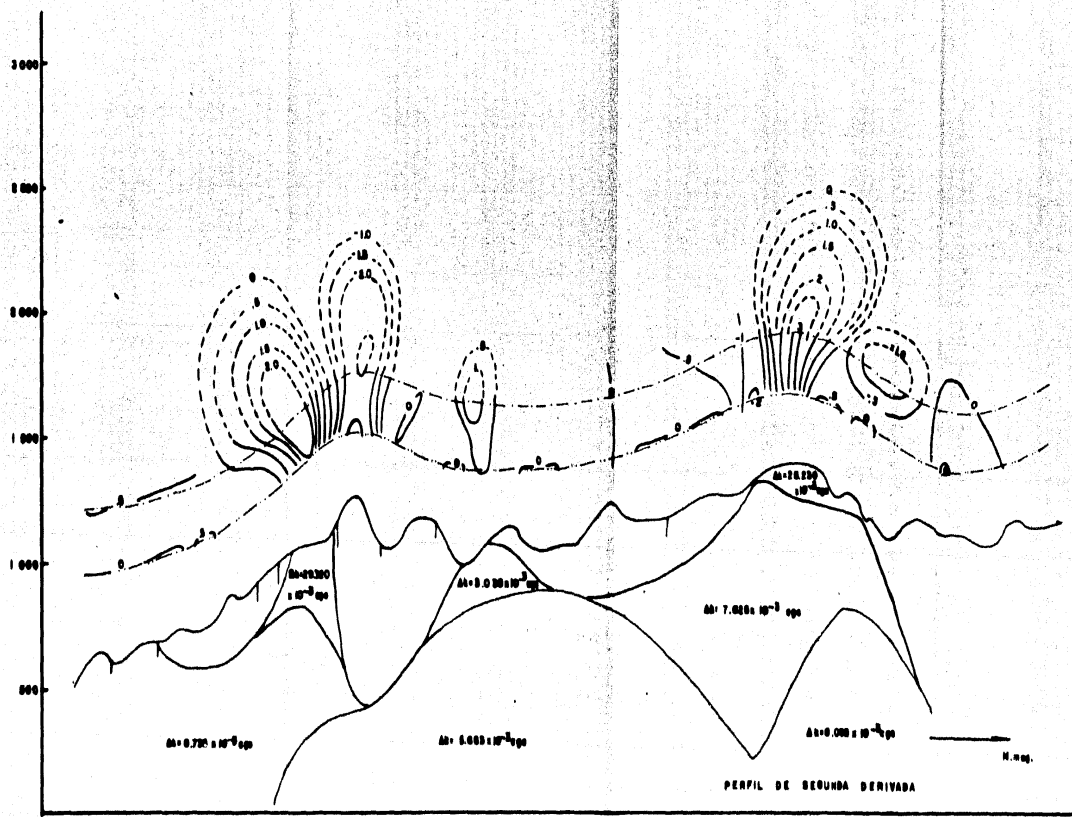
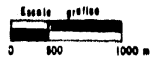


FIG. 28



- E X P L I C A C I O N**
- Nivel del polo aeromagnético: - - - - -
 - Niveles de contorno: - - - - -
 - Intervalo de configuración: 100 gamas
 - Curvas isogamas:
 - Curvas isogamas derivadas:
 - Δσ = contorno de susceptibilidad
 - Unidades geológicas utilizadas:
- | |
|-----|
| A1 |
| B r |
| Bv |
| Bc |
| Iga |
| H |
| M |
| Igl |
| Pa |
| Cta |



NOTA: Multiplicar los valores por 1000.
gamas/(1000 m)²

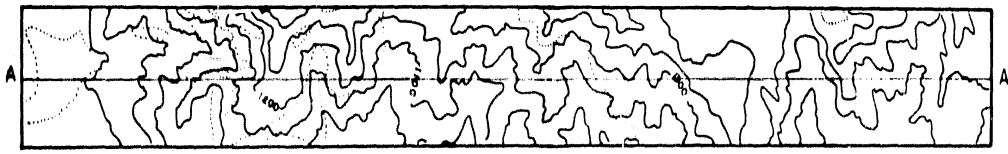


FIG. 29

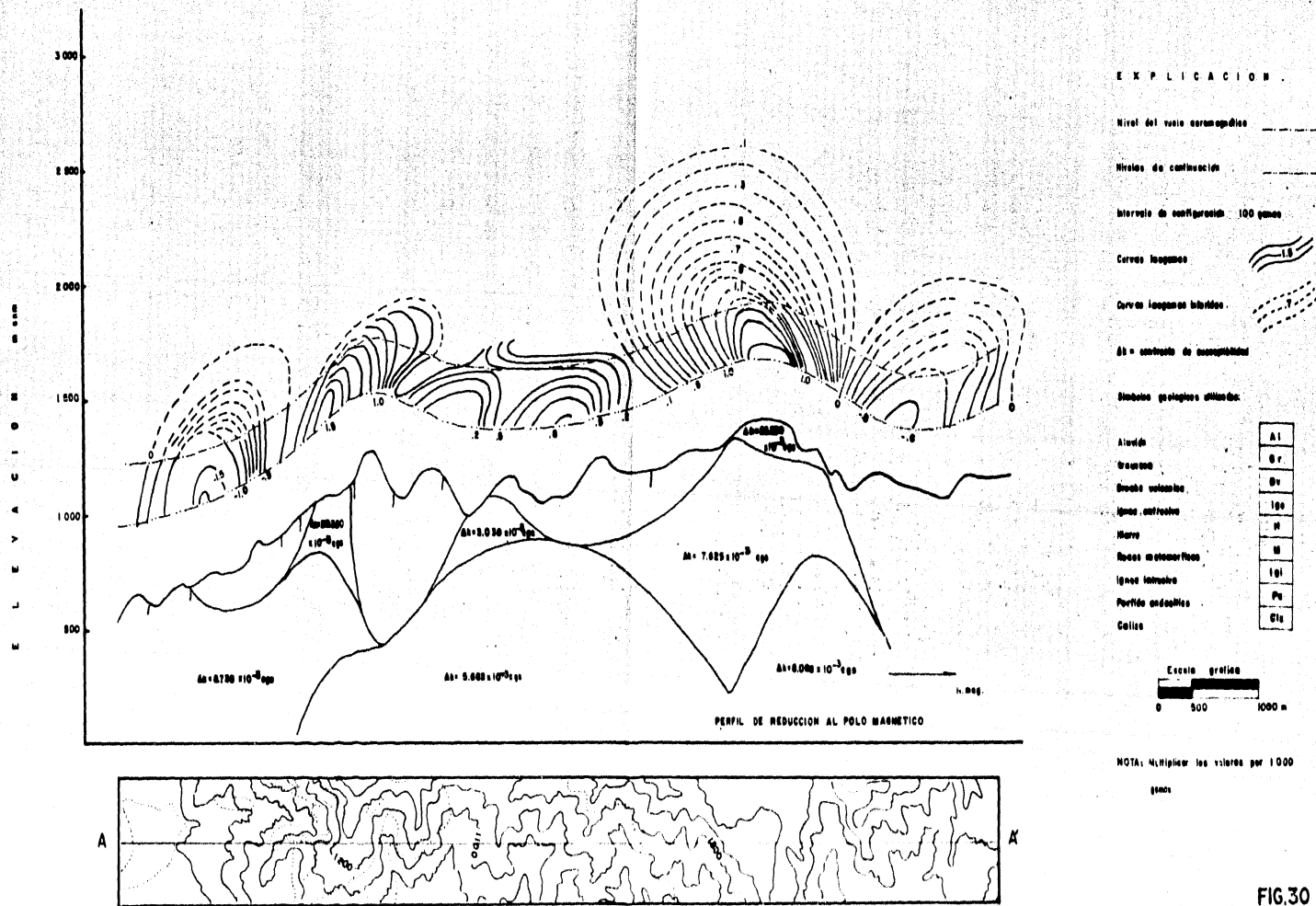


FIG.30

BIBLIOGRAFIA

- BARANOV, V. A new method for interpretation of - - - aeromagnetic maps: Pseudo gravimetric anomalies: *Geophysics*, V. 22, p. 359-383. (1957).
- BARANOV and NAUDY, H. Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole: *Geophysics*, V. 29, p.67-79. (1964).
- BHATTACHARYYA, B.K. Two dimensional harmonic analysis as a tool for magnetic interpretation: - - - - *Geophysics*, V. 30, No. 5, p.829-857.(1965).
- DAVIS, J.C. *Statistics and data analysis in geology: - - John Wiley and Sons, Inc. (1973).*
- FULLER, BRENT D. Two-dimensional frequency and design of grid operators: *Mining Geophysics*, V.II, p. 658-708. (1967).
- GASTIL, G. y otros *La Zona Batolítica del Sur de Baja California y Occidente de México: Bol. Soc. Geol. Mexicana XXXVII, p. 84-90. (1976).*
- HENDERSON, R.G. and ZIETZ, ISIDORE The upward continuation of anomalies in total magnetic intensity fields: *Geophysics*, V. 14, p. 517-534. (1949).
- HENDERSON, R.G. The computation of second vertical - - - derivatives of geomagnetic fields: - - - *Geophysics*, V. 14, p. 508-516.
- HERNANDEZ GARCIA, J.F. Análisis e interpretación de anomalías - - aeromagnéticas en prospección minera: *Tesis profesional, Facultad de Ingeniería, - U.N.A.M. (1976).*

- MARTINEZ BERMUDEZ, J. J., PINEDA RAMIREZ, A., LOPEZ MENDOZA, H. y PEÑA BUENDIA, A. Estudio geológico magnetométrico de los yacimientos ferríferos de Peña Colorada, Municipio de Minatitlán, Col.: Consejo de Recursos Naturales No Renovables, Bol. No. 77. (1969).
- PETERS, LEO J. The direct approach to magnetic interpretation and its practical application: Geophysics, V. 15, p. 290-321. (1949).
- SOLIS, V. J., PINEDA R., A. y otros Geología Regional y Yacimientos Minerales de una porción de los Estados de Jalisco y Colima: Consejo de Recursos Naturales No Renovables. (1965).
- SALAS G., GUILLERMO P. Carta y Provincias Metalogenéticas de la República Mexicana: Consejo de Recursos Minerales, Publ. 21 E. (1975).
- TALFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E., KEYS, D. A. Applied Geophysics: Cambridge University Press. (1976).
- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME Survey of Metallic Mineral Deposits in Mexico: United Nations, New York. (1969).
- VACQUIER, V., STEENLAND, N. C., HENDERSON, R. G. and ZIETZ, ISIDORE Interpretation of aeromagnetic maps: Geol. Soc. Americana, Mem. 47, p.151. (1951).
- ZIETZ, ISIDORE and ANDREASEN, G. E. Remanent magnetization and aeromagnetic interpretation: Mining Geophysics, V. II, p. 569-590, (1967).

APENDICE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

• T E S I S P R O F E S I O N A L •

ALUMNOS: CARLOS ANAYA RENOVATO Y JUAN GARCIA ABDESLEN

PROGRAMA PARA PROCESAR INFORMACION MAGNETOMETRICA

SE HACE USO DEL TEOREMA DE LA CONVOLUCION EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA PARA OBTENER LOS SIGUIENTES PROCESOS:

- 1.- CONTINUACION ANALITICA HACIA ARRIBA Y HACIA ABAJO
- 2.- SEGUNDA DERIVADA VERTICAL
- 3.- REDUCCION AL POLO MAGNETICO

SE HACE EN EL ALGORITMO DESARROLLADO POR K.O. BHATTACHARYA, 1969
GEOPHYSICS, VOL. XXX, P. 424-457.

PRESENTA DOS OPCIONES EN LA ENTRADA DE DATOS, A SABER:

- 1.- SI DE=1, SE LLAMA A LA SUBROUTINA MARRM
 - 2.- SI DE=0, SE LLAMA A LA SUBROUTINA READM
- DESCRIPCION DE ARGUMENTOS:

ANOMINR,NC) = DATOS QUE SERAN PROCESADOS
ARFCINR,NC) = RECONSTRUCCION DE DATOS POR SERIE DE FOURIER
CONTINR,NC) = CONTINUACION ANALITICA DE LOS DATOS RECONSTRUIDOS
SFDR(INH,NC) = SEGUNDA DERIVADA VERTICAL DE LOS DATOS RECONSTRUIDOS
REDPOL(INH,NC) = REDUCCION AL POLO DE LOS DATOS RECONSTRUIDOS
AA(NT,4T) ***
AC(NT,4T) * COEFICIENTES DE LA
CC(NT,4T) * DOUBLE SERIE DE FOURIER
DD(NT,4T) ***

DATOS DE ENTRADA:

N# = NUMERO DE RESECCIONES A PROCESAR (ESTE-OESTE)
M# = NUMERO DE COLUMNAS A PROCESAR (NORTE-SUR)
N1# = NUMERO DE ARMONICOS USADOS EN LA DIRECCION ESTE-OESTE
N2# = NUMERO DE ARMONICOS USADOS EN LA DIRECCION NORTE-SUR
IN# = INCLINACION DEL CAMPO GEOMAGNETICO
ID# = INCLINACION DEL CAMPO GEOMAGNETICO
I# = INCLINACION ASOCIADA AL CUERPO MAGNETIZADO
OM# = INCLINACION ASOCIADA AL CUERPO MAGNETIZADO
11 *
12 ** COORDENADAS DEL PRISMA USADAS
13 ** PARA LA SUBROUTINA MARRM
14 *
2# = SEPARACION ENTRE LA CIMA DEL PRISMA Y EL
PLANO DE DATOS USADO EN LA SUBROUTINA MARRM
N# = NIVEL DE CONTINUACION DESFAZO
DE# = OPCION EN LA ENTRADA DE DATOS

DESCRIPCION DE LAS TARJETAS DE DATOS DE ENTRADA

TARJETA (S)	DATOS	FORMATO	COLUMNAS
1	NR	I3	1-3
1	MC	I3	4-6
1	NRD	I3	7-9
1	MRO	I3	10-12
1	NT	I3	13-15
1	MT	I3	16-18
2	IM	F12.8	1-12
2	DP	F12.8	13-24
2	IP	F12.8	25-36
2	OP	F12.8	37-48
3	X1	F5.2	1-5
3	X2	F5.2	6-10
3	X3	F5.2	11-15
3	X4	F5.2	16-20
3	Z	F5.2	21-25
4	H	F5.2	1-5
5	OE	I1	1

PROGRAMA PRINCIPAL

```

REAL NR, NR, IOS, IS, IN, IP
DIMENSION ANOM(17,17), AREC(17,17), CONT(17,17)
DIMENSION SEGD(17,17), REOPD(17,17)
DIMENSION AA(9,9), MF(9,9), CC(9,9), DD(9,9)
DIMENSION TC(17), TS(17)
HEAD (5,1000) NR, MC, NRD, MRO, NT, MT
HEAD (5,1001) IN, DE, IP, DP
READ (5,1002) X1, X2, X3, X4, Z
READ (5,1003) H
HEAD (5,1004) OE
IF (OE) 2, 2, 3
3 CALL MAGREN (ANOM, NRD, MRO, X1, X2, X3, X4, Z, IN, DP, IP)
GO TO 5
4 CALL SUBROUTINE CSF (ANOM, NR, MC, NT, MT, AA, RB, CC, DD, DX, DY, TC, TS)
2 CALL READM (ANOM, NR, MC, NR, MC)
WRITE(5,6)
C CALCULA CONSTANTES QUE SERAN USADAS EN EL PROGRAMA
IS=4.2231452-14
IOS=6.2231452-14
CTIOS=(COS(IOS)/SIN(IOS))
CTIS=(COS(IS)/SIN(IS))
SIOS=SIN(IOS)
SIS=SIN(IS)
CTE=1./2.*SIOS*SIS)
CO=COS(OP)
SO=SIN(OP)
CO=COS(OE)
SO=SIN(OE)
DO 110 I=1, NH
  ROPV=FLCAT(I-1)*DY
  OI=111) OI=1
  ROPV=FLCAT(I-1)*DP
  Z=RO(I, J)*SO
  S=SI(I, J)*CO
  CO=SI(I, J)*SO
  SO=CO(I, J)*CO
  
```

```

DO 112 JH1=1,NT
DO 112 JH2=1,MT
ANGY=APSY1*FLOAT(JH1-1)
ARQZ=ARGZ1*FLOAT(JH2-1)
CY=COS(ANGY)
SY=1/(ANGY)
CX=COS(ARQZ)
SAPX1Y(ARQZ)
KN=OX * FLOAT (JH1-1)
KN=OY * FLOAT (JH2-1)
PMNC=KN*KN+KN*KN
PMNSORT(PMNC)
IF (PMNC.EQ.PMN) GO TO 5000
KMCD=K*CD
KNSD=K*NSD
KMCD=KM*CD
KNSD=KN*SD
F11=CTIOS*(KMCD+KNSD)
F12=CTIOS*(KMCD+KNSD)
F13=CTIS*(KMCD+KNSD)
F14=CTIS*(KMCD+KNSD)
DI=(PMNC*(F13+F13))*(PMNC*(F11+F11))
DJ=(PMNC*(F14+F14))*(PMNC*(F12+F12))
HK=PMNC-(F11+F13)
HL=PMNC-(F14+F12)
HN=PMNC*(F11+F13)
HM=PMNC*(F12+F14)
CKI=HK/DJ
CLJ=HL/DJ
CMI=HM/DJ
CNJ=HN/DJ
SARA=CKI+CLJ
LULA=CMI+CNJ
LINA=CMI-CNJ
SOLA=CKI-CLJ
TCC=AA*(JH1,JH2)*SARA+BR*(JH1,JH2)*LULA+
ICC*(JH1,JH2)*LINA-DD*(JH1,JH2)*SOLA
TSC=AA*(JH1,JH2)*LULA+HM*(JH1,JH2)*SARA
LCC*(JH1,JH2)*SOLA-DD*(JH1,JH2)*LINA
TCS=AA*(JH1,JH2)*LINA+HI*(JH1,JH2)*SOLA+CG*(JH1,JH2)*SARA+DD*(JH1,JH2)
LJ)*LULA
TSS=AA*(JH1,JH2)*SOLA+HI*(JH1,JH2)*LINA+CC*(JH1,JH2)*LULA+DD*(JH1,JH2)
LJ)*SARA
VERO=TCC*CX*CY+TSC*SY*SY+TCS*CX*CY+TSS*CX*SY
5000 UPER=AA*(JH1,JH2)*CY*CX+HM*(JH1,JH2)*CY*SY+
ICC*(JH1,JH2)*SY*CX+DD*(JH1,JH2)*SY*SX
AMEC(I,J)=AMEC(I,J)+UPER
CONT(I,J)=CONT(I,J)+UPER*EXP(-PMN*H)
SEGE(I,J)=SEGE(I,J)+UPER*PMNC
REPO(I,J)=REPO(I,J)+VERO*PMNC)*CYE
112 CONTINUE
111 CONTINUE
110 CONTINUE
CALL PRINTM(AMPC,AP,PC,PM,MC)
WRITE (5,11)
CALL PRINTM(CONT,NR,MC,MM,NC)
WRITE (5,12)
CALL PRINTM(AMPC,AP,PC,PM,MC)
WRITE (5,13)
CALL PRINTM(AMPC,AP,PC,PM,MC)
WRITE (5,14)

```

```

1000 FORMAT(A1,3)
1001 FORMAT (4F12,4)
1002 FORMAT (5F5,2)
1003 FORMAT (F5,2)
1004 FORMAT (11)
6 FORMAT (1M0,19M DATOS DE ENTRADA )
11 FORMAT (1M0,10X,22M ANOMALIA RECONSTRUIDA)
13 FORMAT (1M0,10X,17M SEGUNDA DERIVADA)
14 FORMAT (1M0,10X,18M REDUCCION AL POLO)
15 FORMAT (1M0,10X,26M CONTINUACION ANALITICA M=F6,2)
END

```

SUBROUTINE PRINTM

```

C
C
C**** SUBROUTINA PARA IMPRIMIR UNA MATRIZ DE N RENGLONES Y M COLUMNAS
C TOMADO DE DAVIS,J.C. STATISTICS AND DATA ANALYSIS
C IN GEOLOGY, JOHN WILEY AND SONS, INC. (1973).
C

```

```

SUBROUTINE PRINTM(N,M,N1,M1)
DIMENSION A(N1,M1)
C**** SE IMPRIME LA MATRIZ EN BLOQUES DE 10 COLUMNAS
DO 100 I=N1,M,10
IE=I+M
IF(IE-M) 2,2,1
1 IE=M
C**** SE IMPRIME EL ENCAJEZADO
2 WRITE(6,2000) (1,1+IB,IE)
DO 101 J=1,M
C**** SE IMPRIME EL RENGLON DE LA MATRIZ
WRITE (6,2001) J,(A(J,K),K=1,M,IE)
101 CONTINUE
100 CONTINUE
RETURN
2000 FORMAT(1M1,1X,10I12)
2001 FORMAT(1M0,15,10F12,4)
END

```

SUBROUTINE READM

```

C
C
C TOMADO DE DAVIS,J.C. STATISTICS AND DATA ANALYSIS
C IN GEOLOGY, JOHN WILEY AND SONS, INC. (1973).
C
C SUBROUTINA PARA LEER UNA MATRIZ
C DE N RENGLONES Y M COLUMNAS
C
SUBROUTINE READM(N,M,N1,M1)
DIMENSION A(N1,M1)
C LEER EL TITULO DE LA MATRIZ
READ (5,1000) I1
C LEER UN RENGLON DE LA MATRIZ A LA VEZ
DO 100 I=1,N
READ (5,1001) (A(I,J),J=1,M)
100 CONTINUE
RETURN
1000 FORMAT (2I3)
1001 FORMAT(10F4,3)
END

```

SUBROUTINE MAGRES

C CALCULA LA RESPUESTA MAGNETICA (CAMPO TOTAL) DEBIDA A UN PRISMA VERTICAL
 C INFINITO. ZIETZ 1.0 AND. ANDREASEN O.E., 1967 MINING GEOPHYSICS, VOL. 11.
 C LOS VALORES ESTAN NORMALIZADOS CON RESPECTO A LA INTENSIDAD DEL CAMPO
 C GEOMAGNETICO Y AL CONTRASTE DE SUSCEPTIBILIDAD.

SUBROUTINE MAGRES (ACT,NR,NC,A),AP,DI,DP,2,B,INC,DPO,IPD)

DIMENSION AC(10,AC)

REAL INC,IPD

WRITE (1,2000) AP,DI,DP,2,B,NC,INC,IPD,DPO

CINC= COS(INC)

SINC= SIN(INC)

SIPD= SIN(IPD)

CIPD= COS(IPD)

SDDP= SIN(DPO)

CDPP= COS(DPO)

DO 100 I=1,NC

IX= NR-(I-1)

DY= JY-(I-1)

DX1= IX-A1

DX2= IX-AP

DY1= JY-A1

DY2= JY-AP

DX1C= DX1/DX1A

DX2C= DX2/DX2A

DY1C= DY1/DY1A

DY2C= DY2/DY2A

CC= 2.0

R1= ISQRT(DX1C+DY1C+CC)

R1P2= SQRT(DX1C+DY1C+CC)

R2= ISQRT(DX2C+DY2C+CC)

R2P2= SQRT(DX2C+DY2C+CC)

AR1= 1/(DYP2+AR1P2)/(DY1+A1D1)

AR2= 1/(DYP2+AR2P2)/(DY1+APD1)

AR1C= AR1/AR1P2

AR2C= AR2/AR2P2

AR1A= AR1/(DY1+AR1P2)

AR2A= AR2/(DY1+AR2P2)

AR1B= AR1/(DY1+AR1P2)

AR2B= AR2/(DY1+AR2P2)

AR1C= AR1C/(DY1+AR1P2)

AR2C= AR2C/(DY1+AR2P2)

AR1D= AR1D/(DY1+AR1P2)

AR2D= AR2D/(DY1+AR2P2)

AR1E= AR1E/(DY1+AR1P2)

AR2E= AR2E/(DY1+AR2P2)

AR1F= AR1F/(DY1+AR1P2)

AR2F= AR2F/(DY1+AR2P2)

AR1G= AR1G/(DY1+AR1P2)

AR2G= AR2G/(DY1+AR2P2)

AR1H= AR1H/(DY1+AR1P2)

AR2H= AR2H/(DY1+AR2P2)

AR1I= AR1I/(DY1+AR1P2)

AR2I= AR2I/(DY1+AR2P2)

AR1J= AR1J/(DY1+AR1P2)

AR2J= AR2J/(DY1+AR2P2)

AR1K= AR1K/(DY1+AR1P2)

AR2K= AR2K/(DY1+AR2P2)

AR1L= AR1L/(DY1+AR1P2)

AR2L= AR2L/(DY1+AR2P2)

AR1M= AR1M/(DY1+AR1P2)

AR2M= AR2M/(DY1+AR2P2)

AR1N= AR1N/(DY1+AR1P2)

AR2N= AR2N/(DY1+AR2P2)

AR1O= AR1O/(DY1+AR1P2)

AR2O= AR2O/(DY1+AR2P2)

AR1P= AR1P/(DY1+AR1P2)

AR2P= AR2P/(DY1+AR2P2)

AR1Q= AR1Q/(DY1+AR1P2)

AR2Q= AR2Q/(DY1+AR2P2)

AR1R= AR1R/(DY1+AR1P2)

AR2R= AR2R/(DY1+AR2P2)

100 CONTINUE

CALL MAGRES (ACT,NR,NC,A)

RETURN

