7
2 Gen.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PAQUETE DE PROGRAMAS PARA PROCESADO DE DATOS MAGNETOMETRICOS

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOFISICO

P R E S E N T A :

ROGELIO RAMOS CARRANZA

MEXICO, D. F. **1985**

INDICE

PAGINA

PAGINA

RESUMEN

EN EL TRABAJO QUE AQUI PRESENTAMOS, PRETENDEMOS MOSTRAR DE UNA FORMA CLARA Y ACCESIBLE UN GRUPO DE PROGRAMAS PARA PROCESAR LA INFORMACIÓN MAGNETOMÉTRICA, HACIENDO NOTAR QUE SON APLICABLES TANTO EN PROSPECCIÓN TERRESTRE COMO EN LA AEREA Y LA MARITIMA.

ES IMPORTANTE DEJAR CLARO EL HECHO DE QUE PARA OBJETIVOS ESPECÍFICOS O PARTICULARES, HABRA QUE COMPLEMENTAR CON ALGUN OTRO PROCESO; SIN EMBARGO, EL CONJUNTO DE PROGRAMAS ESTA CONSTITUIDO DE LAS ETAPAS FUNDAMENTALES QUE SE DEBEN SEGUIR EN LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN MAGNETOMÉTRICA.

ASI, PRESENTAMOS EL PAQUETE DE PROGRAMAS, DANDO UN PANORAMA GENERAL DE LO QUE SE REQUIERE EN LA INTERPRETACIÓN MAGNÉTICA (CAPÍTULO I); A CONTINUACIÓN SE DESCRIBEN LOS ALGORITMOS (CAPÍTULO II), ACLARANDO QUE NO SE PRETENDE DEMOSTRAR SU VALIDEZ, SINO MÁS BIEN BUSCAMOS DAR UNA DESCRIPCIÓN A MANERA DE CONTAR CON LA INFORMACIÓN QUE FUNDAMENTA CADA UNO DE LOS PROGRAMAS PRESENTES. EN LOS CAPITULOS III Y IV PRESENTAMOS RESPECTIVAMENTE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO Y LA SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN ESTOS, ASI COMO LOS LISTADOS DE PROGRAMAS POR COMPUTADORA QUE LES CORRESPONDEN. DICHOS LISTADOS SE OBTUVIERÓN A TRAVÉS DEL SISTEMA BURROUGHS 7800 INSTALADO EN EL PROGRAMA UNIVERSITARIO DE COMPUTO, A EXCEPCIÓN DEL PROGRAMA DE ENREJILLADO QUE FUE PROCESADO POR MEDIO DEL SISTEMA NOVA 4/X DE LA DGC. TODOS LOS PROGRAMAS SIN EXCEPCIÓN SE ENCUENTRAN EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN FORTRAN.

FINALMENTE EN EL CAPÍTULO V SE PRESENTAN EJEMPLOS DE LA CORRIDA POR COMPUTADORA DE LOS PROGRAMAS FUNDAMENTALES Y EN EL CAPÍTULO VI LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

I. INTRODUCCION

LA INTERPRETACIÓN EN PROSPECCIÓN MAGNETOMÉTRICA ES BASICAMENTE UN PROCESO DE TRES ETAPAS:

A. ANALISIS DE LA CALIDAD DE LOS DATOS MAGNÉTICOS PARA LA INTERPRETACIÓN.

B. ELIMINACIÓN DE LOS EFECTOS MAGNÉTICOS REGIONALES PARA AISLAR LA ANOMALIA DE INTERES.

C. ANALISIS E INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE LA ANOMALIA.

ESTAS TRES ETAPAS ESTAN INTERRELACIONADAS. A CONTINUACIÓN EXPLICAMOS DE QUE TRATAN:

A. ANALISIS DE LA CALIDAD DE LOS DATOS.

ANTES DE INTERPRETAR CUALQUIER SERIE DE DATOS MAGNÉTICOS ES NECESARIO EXAMINARLOS PARA VER SI SON ADECUADOS PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE EXPLORACIÓN.

LOS CRITERIOS SIGUIENTES SON IMPORTANTES:

1. CONTROL DE LA SEPARACIÓN Y DIRECCIÓN DE LA LINEA DE VUELO.
2. ALTURA DEL VUELO.
3. CALIDAD DE NIVELACIÓN DEL LEVANTAMIENTO.
4. CALIDAD DEL MAPEO (¿EXISTE DEFORMACIÓN EN LA CONFIGURACIÓN?).
5. CALIDAD DE PERFILES DEL LEVANTAMIENTO.
6. TIPO DE MAGNETOMETRO

B. ELIMINACIÓN O SEPARACIÓN DEL EFECTO MAGNÉTICO REGIONAL.

1. CAMPO NORMAL TERRESTRE

ESTE CAMPO VARIA EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD, LATITUD Y EL TIEMPO. EL CAMPO MAGNÉTICO REGIONAL O PROMEDIO SE DENOMINA CAMPO NORMAL.

EL CAMPO MAGNÉTICO NORMAL SE PUEDE ELIMINAR CON PROGRAMAS DE COMPUTADORA, LOS QUE APROXIMAN EL CAMPO GEOMAGNÉTICO NORMAL POR AJUSTE DE ARMÓNICAS ESFÉRICAS DEL CAMPO MAGNÉTICO DERIVADO DE LAS OBSERVACIONES DE SATELITE. CON FRECUENCIA, PARA PEQUEÑAS AREAS DEL CAMPO TERRESTRE PUEDE SER APROXIMADO POR UN PLANO Y SIMPLEMENTE ELIMINADO POR SUSTRACCIÓN.

2. OPERADORES MATEMATICOS.

MUCHOS OPERADORES MATEMÁTICOS SON USADOS PARA FILTRAR O RESOLVER ANOMALIAS RESIDUALES A PARTIR DE MAPAS MAGNÉTICOS. EL FILTRADO PUEDE HACERSE EN EL DOMINIO DEL ESPACIO POR MEDIO DE OPERADORES DE CONVOLUCIÓN O EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA USANDO LA TEORIA DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER. EL FILTRADO POR CONVOLUCIÓN SE EXPRESA COMO SIGUE:

CONSIDERANDO:

$\Delta t(X,Y)$ = SERIE DE DATOS

$F(U,V)$ = FILTRO

$\Delta R(X,Y)$ = SALIDA RESIDUAL

1. FILTRO EN EL DOMINIO DEL ESPACIO

a. POR CONVOLUCIÓN

$$\Delta t(x,Y) * F(u,v) = \Delta R(x,Y)$$

2. EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

a. POR TRANSFORMADA DE FOURIER

$$\Delta t(x,Y) \longrightarrow \bar{\Delta t}(f_x, f_Y)$$

$$F(u,v) \longrightarrow F(f_u, f_v)$$

b. POR MULTIPLICACIÓN DE LAS TRANSFORMADAS ANTERIORES

$$\bar{\Delta t}(f_x, f_Y) \cdot F(f_u, f_v) = \bar{\Delta R}(f_x, f_Y)$$

c. POR TRANSFORMADA INVERSA

$$\bar{\Delta R}(f_x, f_Y) \longrightarrow \Delta R(x,Y)$$

LOS OPERADORES MATEMÁTICOS TÍPICOS SON:

a. REDUCCIÓN AL POLO.

b. DERIVADAS E INTEGRALES.

c. FILTROS PASA BANDAS.

d. CONTINUACIÓN HACIA ARRIBA Y HACIA ABAJO.

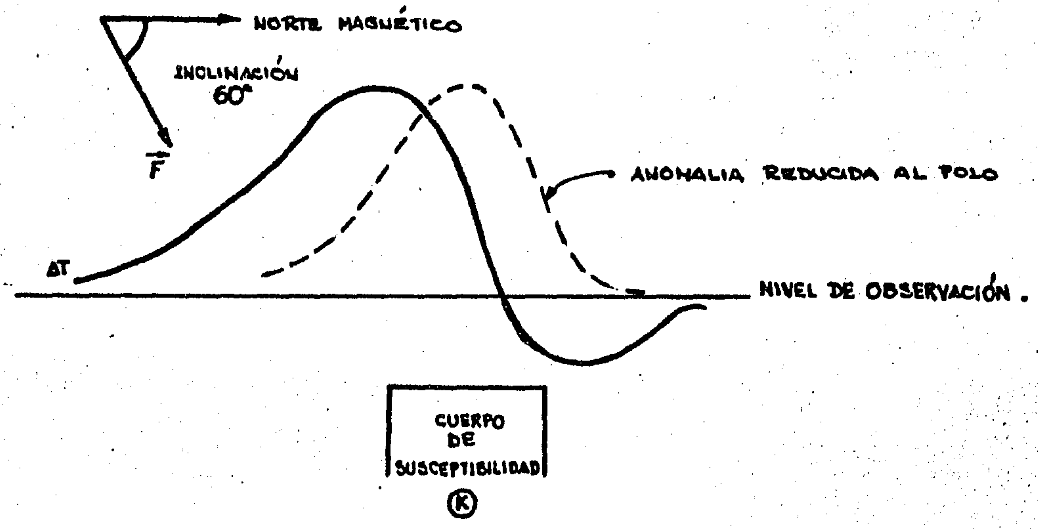
e. FILTROS DIRECCIONALES.

a. REDUCCIÓN AL POLO

EL OPERADOR DE REDUCCIÓN AL POLO ELIMINA EL DESPLAZAMIENTO DE LA ANOMALIA MAGNÉTICA DEBIDA A UN CUERPO DE POLARIZACIÓN INCLINADA (NO VERTICAL). LA REDUCCIÓN AL POLO HACE QUE LA ANOMALIA MAGNÉTICA -

APAREZCA COMO SI ESTUVIERA EN EL POLO MAGNÉTICO CON LA ANOMALIA POSITIVA DIRECTAMENTE SOBRE EL CUERPO CAUSANTE. EL PROCESO DE REDUCCIÓN AL POLO AYUDA A MOSTRAR LA EXTENCIÓN DE LA FUENTE DE ANOMALIÁ MAGNETICA. LOS FILTROS DE REDUCCIÓN AL POLO SE CORREN ANTES DEL FILTRADO.

ANOMALIA DE INTENSIDAD MAGNÉTICA TOTAL
REDUCIDA AL POLO



b. DERIVADAS E INTEGRALES

LOS OPERADORES DE DERIVADA AYUDAN A RESOLVER COMPONENTES DE ALTA FRECUENCIA DEL CAMPO MAGNÉTICO; POR EJEMPLO, LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL MUESTRA LA CURVATURA DE LA INTENSIDAD TOTAL. LAS OPERACIONES DE INTEGRACIÓN, EN CONTRASTE, ENFATIZAN LAS BAJAS FRECUENCIAS.

C. FILTROS PASA BANDAS.

LOS FILTROS PASA BANDAS (INCLUYENDO PASA ALTAS Y PASA BAJAS), PERMITEN ANALIZAR CIERTAS COMPONENTES DE FRECUENCIA DEL CAMPO MAGNÉTICO. LOS FILTROS PASA ALTAS TIENDEN GENERALMENTE A ENFATIZAR LOS CUERPOS POCO PROFUNDOS. NO OBSTANTE, DEBE RECORDARSE QUE, MUCHAS VECES, LOS CUERPOS SOMEROS TIENEN ALGUNAS COMPONENTES EN BAJA FRECUENCIA LAS CUALES SERÁN DISTORSIONADAS EN EL PROCESO SIMPLE DE PASA

ALTAS. POR CONSIGUIENTE, LOS FILTROS PASA BANDAS NO SEPARARAN PERFECTAMENTE LAS FUENTES SOMERAS, INTERMEDIAS O PROFUNDAS. SIN EMBARGO, LOS FILTROS PASA BANDAS REALZAN LAS ANOMALIAS DE LAS FUENTES CUALITATIVAMENTE EN CIERTOS INTERVALOS DE PROFUNDIDAD.

d. CONTINUACIÓN HACIA ARRIBA Y HACIA ABAJO.

TEORICAMENTE SI UN CAMPO MAGNÉTICO ES CONOCIDO SOBRE UN NIVEL, ESTE PUEDE SER CALCULADO A UN NIVEL POR DEBAJO O POR ENCIMA DEL NIVEL DE MEDICIÓN, PREVINIENDO QUE EL CAMPO MAGNÉTICO NO PUEDE SER CONTINUADO AL ENCONTRAR LA FUENTE MAGNÉTICA. LA CONTINUACIÓN HACIA ARRIBA ACTUA COMO UN FILTRO PASA BAJAS Y TIENDE A ELIMINAR LAS ANOMALIAS SOMERAS. SI EL CAMPO MAGNÉTICO ES EXACTAMENTE CONOCIDO EN UN MAPA SOBRE UN NIVEL, ESTE CAMPO MAGNÉTICO PUEDE SER CONTINUADO TOTALMENTE CON EXACTITUD POR ENCIMA DEL NIVEL DE REFERENCIA. POR OTRA PARTE LA CONTINUACIÓN HACIA ABAJO, ES UN FILTRAJE PASA ALTAS Y TIENDE A SER TOTALMENTE INESTABLE EN EL SENTIDO DE QUE EL RUIDO DE ALTA FRECUENCIA PUEDE SER AMPLIFICADO. TAMBIEN, SE DEBE TENER CUIDADO PARA CONTINUAR HACIA ABAJO A TRAVÉS DE FUENTES MAGNÉTICAS. LA CONTINUACIÓN HACIA ABAJO PROPIAMENTE HECHA PUEDE SER DEL TODO ÚTIL PORQUE LOS MAPAS MAGNÉTICOS EN NIVELES BAJOS MOSTRARAN MÁS DETALLE QUE EL MAPA DE INTENSIDAD TOTAL.

e. FILTROS DIRECCIONALES.

LOS FILTROS QUE PASAN FRECUENCIAS DIRECCIONALES, SON LLAMADOS FILTROS DIRECCIONALES. POR CONSIGUIENTE, SI UN GRADIENTE FUERTE NORTE-SUR SE PRESENTA Y ENMASCARA LA TENDENCIA ESTE-OESTE, UN FILTRO LINEAL ESTE-OESTE PUEDE SER APLICADO PARA VISUALIZAR UNA MEJORIA EN LAS TENDENCIAS ESTE-OESTE.

C. ANALISIS DE ANOMALIA RESIDUAL

UNA VEZ QUE UN MAPA DE INTENSIDAD MAGNÉTICA TOTAL HA SIDO OBTENIDO JUNTO CON OTROS MAPAS QUE SE NECESITEN, LA ESTRUCTURA GEOLÓGICA QUE CAUSA LA ANOMALÍA MAGNÉTICA PUEDE SER INTERPRETADA.

PARA ANALIZAR UNA ANOMALÍA SE DEBE TOMAR EN CUENTA:

1. EFECTOS LOCALES DE INCLINACIÓN Y DECLINACIÓN MAGNÉTICAS.

LAS ANOMALÍAS MAGNÉTICAS ESTAN RELACIONADAS CON LA SUSCEPTIBILIDAD Y GEOMETRIA DEL CUERPO CAUSANTE Y LA INCLINACIÓN Y DECLINACIÓN MAGNÉTICAS LOCALES. ES IMPORTANTE ESTUDIAR LAS CURVAS DE ANOMALÍA PARA CUERPOS TEÓRICOS EN UNA LOCALIDAD, EN CUALQUIER INTERPRETACIÓN PARA OBTENER UN SENTIDO PARA LA LOCALIZACIÓN DEL CUERPO CAUSANTE RELACIONADO CON LA ANOMALÍA Y LA FORMA APROXIMADA DE ÉSTE.

2. ANALISIS CUALITATIVO.

EN MUCHOS CASOS, LOS MAPAS MAGNÉTICOS PUEDEN SER INTERPRETADOS CUALITATIVAMENTE PARA DETERMINAR LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS, LA SITUACIÓN GENERAL DEL BASAMENTO Y SU COMPOSICIÓN. DEBE SER RECORDADO QUE: Los mapas magnéticos, no son por si mismos, mapas de la estructura del basamento, Y QUE LAS GRANDES ANOMALÍAS NO SE DEBEN A LA ESTRUCTURA DEL BASAMENTO Y QUE ALGUNAS DE LAS ANOMALIAS PEQUEÑAS PUEDEN SER LAS MÁS SIGNIFICATIVAS A PARTIR DE UN PUNTO DE VISTA ESTRUCTURAL.

3. ESTIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD.

UN USO DE LOS DATOS MAGNÉTICOS ES LA ESTIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO MAGNÉTICO. ESTAS PROFUNDIDADES MAGNÉTICAS SON CONFIGURADAS PARA HACER UN MAPA DEL BASAMENTO. SIN EMBARGO DEBE RECORDARSE QUE LAS PROFUNDIDADES MAGNÉTICAS TENDRAN INCERTIDUMBRE CONSIDERABLE, USUALMENTE ± 10. % O MÁS.

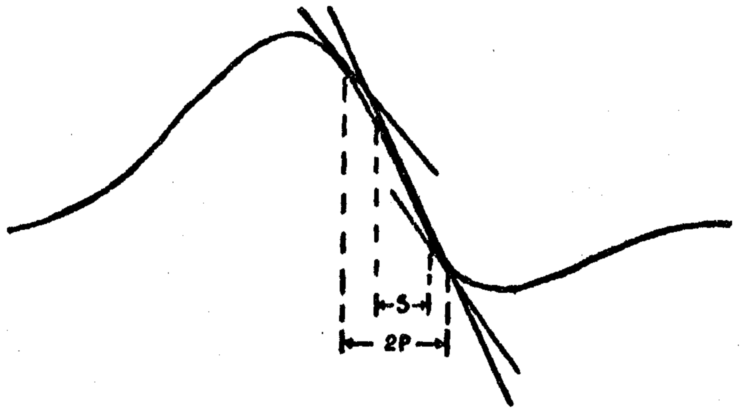
LAS ESTIMAS DE PROFUNDIDAD SON HECHAS POR MÉTODOS QUE UTILIZAN INCLINACIONES DE ANOMALÍAS, ANCHOS DE ANOMALIA Y FILTRADO DE CURVAS.

TODAS LAS TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD MAGNÉTICA ESTABLECEN SUPOSICIONES ACERCA DE LA GEOMETRIA PROBABLE DEL CUERPO DEL SUBSUELO. LA PROFUNDIDAD MAGNÉTICA ESTIMADA, DERIVADA A PARTIR DE LA TÉCNICA DADA SERÁ EXACTA SIEMPRE QUE LAS SUPOSICIONES HECHAS EN CADA TÉCNICA SEAN, EN REALIDAD, LOCALMENTE VALIDAS.

LA SIGUIENTE FIGURA MUESTRA EL MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE PROFUNDI

DAD DE LA MITAD DE LA PENDIENTE DE LA RECTA TANGENTE, UNA DE LAS TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE PROFUNDIDAD GRÁFICA MÁS COMUN.

MÉTODO
DE
ESTIMACIÓN DE PROFUNDIDAD MAGNÉTICA.
(EMPIRICO)



DONDE:

S = PENDIENTE DE LA RECTA

P = MITAD DE LA PENDIENTE

CON LAS QUE SE HACE POSIBLE QUE:

(1) CUANDO:

$S \approx P \Rightarrow$ INTRABASAMENTO

Y: $Z \approx \frac{S+P}{2}$; Z = PROFUNDIDAD POR DEBAJO DE LA ALTURA DE VUELO.

(2) CUANDO:

$S \approx 2P \Rightarrow$ SUPRABASAMENTO

Y: $Z \approx 1.4S$

(3) CUANDO:

$S \ll P \Rightarrow$ EXISTE TRASLAPE O CUERPO COMPLEJO.

ES NECESARIO CORREGIR POR:

(1) ALTURA DE VUELO

(2) AZIMUT (PERPENDICULAR A LA LINEA)

(3) LATITUD.

II. ALGORITMOS

PARA INICIAR ESTE CAPÍTULO DIREMOS QUE PARA EL DESARROLLO DE CADA UNO DE LOS ALGORITMOS SEGUIREMOS EL DIAGRAMA PRESENTADO AL FINAL DEL CAPITULO PRIMERO, CON EXCEPCIÓN DEL INCISO A.

CADA UNO DE LOS ALGORITMOS SE FUNDAMENTARÁ EN BASE A CONCEPTOS, DEFINICIONES, ANTECEDENTES MATEMÁTICOS Y DISCUSIÓN DEL PROCEDIMIENTO.

EL ALGORITMO ASI DEFINIDO SE REDUCIRA FINALMENTE A UNOS CUANTOS PASOS QUE LO DESCRIBEN DE ACUERDO A SU APLICACIÓN EN EL PROGRAMA POR COMPUTADORA EN CADA CASO.

UNA VEZ ACLARADO LO ANTERIOR DAREMOS PASO A LA DEFINICIÓN DE LOS ALGORITMOS.

ALGORITMO DE REMOCION DEL CGIR

ANTES DE COMENZAR LA DESCRIPCIÓN DE ESTE ALGORITMO DEBEMOS ACLARAR QUE PARA TAL EFECTO TOMAMOS EN CUENTA EL ANTECEDENTE PUBLICADO POR E.C. BULLARD (1967), ASI COMO EL ARTÍCULO PUBLICADO POR S. R.C. MALIN Y D.R. BARRACLOUGH (1980). DEL PRIMER ARTICULO SOLO MENCIONAREMOS LAS IDEAS FUNDAMENTALES E INCLUIREMOS LAS REFERENCIAS EN LA BIBLIOGRAFIA DE ESTA TESIS. ASI, FUNDAMENTAREMOS EL ALGORITMO DE ESTE PROGRAMA/PRINCIPALMENTE DEL SEGUNDO ARTICULO.

PARA LA ELIMINACIÓN DE TENDENCIAS SE HAN USADO UNA GRAN VARIEDAD DE MÉTODOS, EXPERIMENTANDO INCONVENIENTES EN EL AJUSTE DE LOS RESULTADOS EN LOS QUE SE HAN SEGUIDO DIFERENTES PROCEDIMIENTOS. POR EJEMPLO, UN LEVANTAMIENTO MAGNÉTICO EN FRANCIA FUE PUBLICADO SIN ELIMINACIÓN DE NINGUNA TENDENCIA, EN UN LEVANTAMIENTO EN INGLATERRA SE USO UNA FUNCIÓN LINEAL PARA REMOVER TENDENCIAS REGIONALES; Y EL TRABAJO DE LA UNIVERSIDAD DE CAMBRIDGE EN EL ATLANTICO HA USADO UNA FUNCIÓN LINEAL DE LATITUD Y LONGITUD Y SEIS TÉRMINOS SENO Y COSENO PARA ELIMINAR ESTAS.

REQUERIMIENTOS PARA LA ELIMINACIÓN DE TENDENCIAS

LAS PRINCIPALES CONDICIONES SON:

1a. QUE EL MÉTODO PUEDA SER APLICADO EN CUALQUIER PARTE DEL MUNDO PARA CUALQUIER COMPONENTE DEL CAMPO, PERO PARTICULARMENTE PARA LA COMPONENTE VERTICAL Y PARA LA COMPONENTE TOTAL.

2a. QUE SE ASEGURE QUE EL PUNTO ANTERIOR SEA POSIBLE.

3a. QUE EL PROCEDIMIENTO SEA SENCILLO EN SU APLICACIÓN, AUN PARA AQUELLOS QUE NO CUENTEN CON UNA COMPUTADORA.

4a. QUE LOS RASGOS GEOLÓGICOS DE INTERES NO SEAN ELIMINADOS O DISTORSIONADOS POR LOS RASGOS DEL CAMPO A GRAN ESCALA.

AHORA BIEN, SI ACEPTAMOS QUE EL CAMPO PRINCIPAL ES PRODUCIDO EN EL NUCLEO TERRESTRE Y DISTORSIONADO POR EL MAGNETISMO INDUCIDO O REMANENTE DE LAS ROCAS CERCANAS A LA SUPERFICIE, DE-

BEMOS ELIMINAR LA PARTE DEL CAMPO DEBIDA A CORRIENTES ELÉC-TRICAS EN EL NUCLEO Y DEJAR EL PRODUCIDO POR LA MAGNETIZACIÓN DE LAS ROCAS QUE SE ENCUENTRAN A UNA PROFUNDIDAD MENOR QUE LA QUE CORRESPONDE AL PUNTO CURIE.

SE HAN USADO PARA ESTO MUCHOS MÉTODOS, LOS CUALES CAEN DENTRO DE DOS CLASIFICACIONES GENERALES:

1a. MÉTODOS EN LOS QUE SE UTILIZAN LOS DATOS MUNDIALES. Y

2a. MÉTODOS EN LOS QUE LA TENDENCIA ES ESTIMADA A PARTIR DEL LEVANTAMIENTO MISMO.

METODOS DE ESTIMA DE TENDENCIAS A PARTIR DEL LEVANTAMIENTO.

MÉTODO GRAFICO.

CONSISTE EN GRAFICAR LAS OBSERVACIONES DE CAMPO SOBRE UN MAPA TOMANDO EN CUENTA DOS CONFIGURACIONES, UNA MOSTRANDO LOS DETALLES Y OTRA MOSTRANDO UNA VERSIÓN SUAVIZADA DEL CAMPO. LA SEGUNDA ES SUSTRAIDA DE LA PRIMERA Y EL RESULTADO ES GRAFICADO COMO UN MAPA DE ANOMALÍAS MAGNÉTICAS. ESTE MÉTODO TIENE BASTANTE DEL JUICIO PERSONAL DE QUIEN LO EFECTUA, ADEMAS LOS TRABAJOS ADYACENTES NO QUEDAN UNIDOS. NO ES RECOMENDABLE PARA USO GENERAL.

MÉTODO DE ELIMINACIÓN POR FUNCIÓN SIMPLE.

EN MUCHOS LEVANTAMIENTOS SE HA ELIMINADO LA TENDENCIA POR EL AJUSTE DE UNA FUNCIÓN SIMPLE TAL COMO UN POLINOMIO O POR SERIES DE FOURIER EN LATITUD Y LONGITUD CON COEFICIENTES DETERMINADOS POR MÍNIMOS CUADRADOS.

LAS OBJECIONES PRINCIPALES DEL MÉTODO SON QUE LOS MAPAS DE LEVANTAMIENTOS VECINOS NO QUEDAN UNIDOS Y QUE LA TENDENCIA NO PUEDE SER EXTENDIDA FUERA DEL ÁREA USADA PARA EL AJUSTE.

METODO POR SUAVIZADO.

ES POSIBLE ELIMINAR LA TENDENCIA DE UN TRABAJO POR CONVOLUCIÓN BIDIMENSIONAL CON UN FILTRO PASA ALTAS ADECUADO.

SUS PRINCIPALES DESVENTAJAS SON QUE LOS VALORES SE PIERDEN EN LOS BORDES AL REDEDOR DEL LEVANTAMIENTO Y QUE ESTO ES DIFÍCIL DE APLICAR PARA UN LEVANTAMIENTO INCOMPLETO O PARA DATOS ESPACIADOS IRREGULARMENTE.

MÉTODOS PARA LA ELIMINACIÓN DE TENDENCIAS A PARTIR DE DATOS MUNDIALES.

ES POSIBLE USAR LOS RESULTADOS DE LAS OBSERVACIONES MUNDIALES PARA DAR "UN CAMPO DE REFERENCIA" SUAVIZADO, EL CUAL PUEDE SER SUSTRAIDO A LEVANTAMIENTOS LOCALES PARA ELIMINAR SU TENDENCIA. EL MÉTODO MÁS SIMPLE DE PRODUCIR UN CAMPO SUAVIZADO ES AJUSTAR A UNA SERIE DE ARMÓNICOS ESFERICOS TRUNCANDO EN UN GRADO Y ORDEN DEPENDIENDO DE LA IMPORTANCIA DEL SUAVIZAMIENTO REQUERIDO.

POR OTRA PARTE SE PUEDE PREPARAR UNA TABLA DANDO LAS COMPONENTES DEL CAMPO DERIVADO DE LAS SERIES SOBRE ALGUNA REJILLA REGULAR. ASI COMO DICHA TABLA PUEDE SER INTERPOLADA Y USADA PARA ELIMINAR LA TENDENCIA A PARTIR DE LAS OBSERVACIONES DE UN LEVANTAMIENTO. EL RESULTADO SE OBTIENE FACILMENTE Y ES ÚNICO.

EL EFECTO AL CORTAR UNA SERIE DE ARMÓNICAS NO ES MUY OBVIO.

SUPONGASE QUE UNA ANOMALIA LOCAL DEBIDA A CAUSAS GEOLÓGICAS SE EXPANDE EN SERIES TRUNCADA DE FOURIER EN UNA PEQUEÑA PARTE DE LA TIERRA LA CUAL PUEDE CONSIDERARSE PLANA. ¿QUE TANTO SE PODRÍA REPRESENTAR POR UNA EXPANSIÓN EN ARMÓNICAS ESFÉRICAS SOBRE TODA LA TIERRA, CORTADAS A UN ORDEN Y GRADO DADOS?

O VISTO DE OTRA MANERA.

SUPONGA QUE EL CAMPO SOBRE TODA LA TIERRA SERÁ EXPANDIDO EN UNA SERIE DE ARMÓNICOS ESFÉRICOS CORTADOS A UN GRADO Y ORDEN DADO.

EL CAMPO CALCULADO AL SUMAR ESTAS SERIES SERÁ EN ALGUN SENTIDO, EL EQUIVALENTE DEL CAMPO OBSERVADO PASADO A TRAVÉS DE UN FILTRO BIDIMENSIONAL PASA BAJAS. ¿DONDE ESTARÁ EL CORTE DEL FILTRO?

CONSIDERE LA ARMÓNICA $P_n^m(\cos\theta)\,\mathrm{Sen}\,m\phi$, DONDE θ Y ϕ SON LA COLATITUD Y LONGITUD RESPECTIVAMENTE; LA CUAL VARIA A LO LARGO DEL ECUADOR COMO $\mathrm{Sen}\,m\phi$ Y POR TANTO TIENE UNA LONGITUD DE ONDA

$^{c}/_{m}$, DONDE C ES LA CIRCUNFERENCIA DE LA TIERRA. LA LONGITUD DE ONDA MÁS CORTA A LO LARGO DEL ECUADOR PARA UNA SUMA DE ARMÓNICAS ESFÉRICAS ARRIBA DEL ORDEN Y GRADO n SERÁ ENTONCES, $^{c}/_{n}$. AHORA, LA POSICIÓN DEL POLO ES ARBITRARIA; LA EXPANSIÓN EN ARMÓNICAS - ESFÉRICAS PUEDE SER TRANSFORMADA PARA CUALQUIER OTRO POLO - TAMBIEN CORTADO EN ORDEN Y GRADO n. LAS DOS EXPANSIONES SON E-QUIVALENTES. POR TANTO EL LÍMITE INFERIOR DE LA LONGITUD DE ONDA - $^{c}/_{n}$, PUEDE SER APLICADO EN CUALQUIER PUNTO Y EN CUALQUIER DIRECCIÓN Y NO SOLAMENTE A LO LARGO DEL ECUADOR.

LA GEOMETRIA DE LOS CEROS DE $P_n^m(\cos\theta)\,\mathrm{sen}\,m\varphi$, QUE CONVERGEN HACIA ABAJO DEL POLO SUGIEREN QUE LA LONGITUD DE ONDA MÁS CORTA PUEDE SER REPRESENTADA AQUI COMO EN EL ECUADOR.

TOMANDO LOS EJES CARTESIANOS X,Y CON ORIGEN EN EL POLO, LA EXPRESIÓN:

(1)...... $$8\,\mathrm{sen}\,X\,\mathrm{sen}\,Y\,\mathrm{sen}\,(X+Y)\,\mathrm{sen}\,(X-Y)$$

TIENE CEROS A LO LARGO DE 4 LINEAS QUE SE INTERSECTAN EN EL POLO Y ES EQUIVALENTE A LA SERIE DE FOURIER:

(2)..... $$-\cos(X+Y)+\cos(3X+Y)-\cos(3X-Y)-\cos(X+3Y)+\cos(X-3Y)$$

CERCA DEL POLO (1) Y (2) SE COMPORTAN COMO $8XY(X^2-Y^2)$ Y SÍ EL EJE X ESTA A LO LARGO DE LA LONGITUD CERO:

$$X=\theta\cos\varphi\ ,\quad Y=\theta\,\mathrm{sen}\,\varphi$$

ENTONCES LA EC. (1) QUEDA COMO $2\theta^4\cos 4\varphi$ LA CUAL ES PROPORCIONAL A $P_4^4(\cos\theta)\cos 4\varphi$, CERCA DEL POLO.

LA SERIE DE FOURIER BIDIMENSIONAL SOBRE UN PEQUEÑO CUADRADO DE DIMENSIONES (L×L) PUEDE SER ESCRITA COMO:

$$\sum_{p=0}^{P}\sum_{q=0}^{Q} a_{pq}\cos\frac{2\pi}{L}(pX+qY)$$

ESTA TIENE UNA LONGITUD DE ONDA MÍNIMA DE $L/(p^2+q^2)^{1/2}$. ENTONCES LA ARMÓNICA ESFÉRICA TRUNCADA EN GRADO Y ORDEN n TENDRÁ EL MISMO LÍMITE DE ONDA CORTA QUE UNA SERIE DE FOURIER CONTENIENDO TODOS LOS TÉRMINOS PARA LOS CUALES:

$$(P^2+Q^2)^{1/2}\le {}^{nL}/_{c}$$

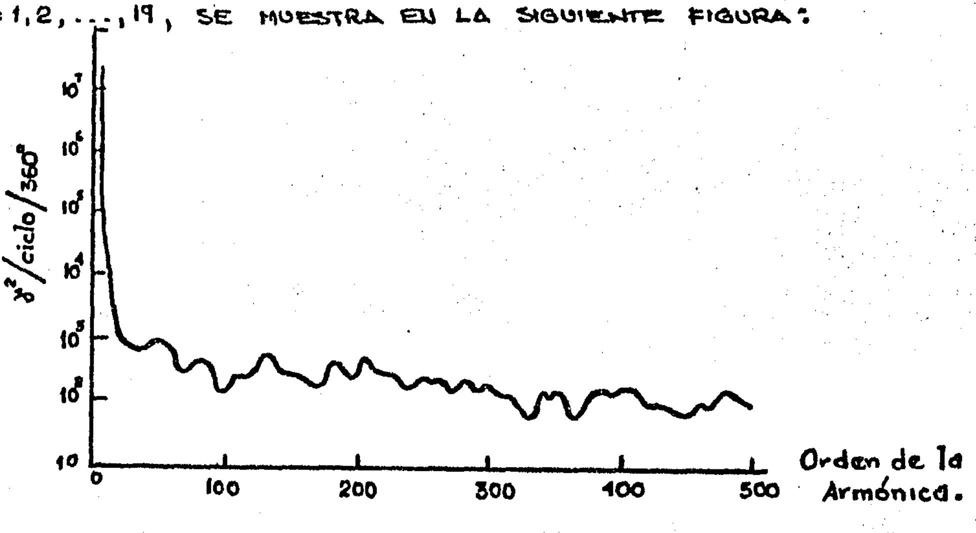
AHORA TENEMOS UNA CONEXIÓN ENTRE LA LONGITUD DE ONDA LARGA λ, QUE DESEAMOS SEGUIR EN EL MAPA DE ANOMALÍA Y LA MÁS ALTA ARMÓNICA n, QUE PODEMOS RETENER EN EL CAMPO SUAVIZADO USADO PARA REMOVER LA TENDENCIA. LA RELACIÓN ES $n = c/\lambda$.

LO CUAL DA

λ (km)	n
3000	13
2000	20
1000	40
500	80
200	200

EL CORTE ES ELEGIDO DE MODO QUE LOS RASGOS DEBIDOS A LAS CORRIENTES EN EL NUCLEO SON INCLUIDAS EN LA TENDENCIA, PERO LOS RASGOS GEOLÓGICOS SON EXCLUIDOS. PODRÍA ESPERARSE QUE EL ESPECTRO DE POTENCIA DEL CAMPO COMO UNA FUNCIÓN DEL NÚMERO DE ONDA DEBIERA MOSTRAR UNA SEPARACIÓN EN DOS PARTES CON BAJA POTENCIA ENTRE ELLAS, DICHA SEPARACIÓN HA SIDO REPORTADA EN LA BIBLIOGRAFÍA POR ALLDREDGE Y VAN VOORHIS, Y POR BULLARD, HILL Y MASON, Y APARENTEMENTE CONFIRMADO POR UN ANALISIS DE FOURIER EN UN CINTURÓN EN TORNO AL MUNDO POR ALLDREDGE, VAN VOORHIS Y DAVIS.

EN EL PRESENTE CASO LA PRESENTACIÓN CORRESPONDIENTE DEBE DE USAR PROMEDIADO SOBRE INTERVALOS IGUALES DEL NÚMERO DE ONDA O SOBRE IGUAL NÚMERO DE ARMÓNICAS. EL RESULTADO DEL SUAVIZAMIENTO DEL ESPECTRO DE ALLDREDGE POR CONVOLUCIÓN CON $\frac{1}{4}\left(1-\cos\frac{2\pi n}{20}\right)$, DONDE $n = 1, 2, \ldots, 19$, SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE FIGURA:



ESTE MUESTRA UNA RAPIDA CAIDA ARRIBA DEL 25º TÉRMINO SEGUIDO POR UNA MUY BAJA TENDENCIA HACIA ABAJO.

AUNQUE NO HAY MÍNIMO EN EL ESPECTRO ES CLARAMENTE DIVIDIDO EN DOS PARTES: UNA CAIDA RAPIDA ARRIBA DEL TÉRMINO 25º Y UNA MUY BAJA DECLINACIÓN POSTERIORMENTE. PUEDE SER QUE LA PRIMERA PARTE REPRESENTE EL EFECTO DE FUENTES EN EL NUCLEO Y DESPUES LA PARTE GEOLÓGICA. SI ASI ES, LA SEPARACIÓN ESTA EN UNA LONGITUD DE ONDA DE 1600 Km.

EL ANALISIS DE ARMÓNICAS ESFERICAS DE HURWITZ, KNOPP, NELSON Y WATSON, DA ARMÓNICAS PARA ORDEN Y GRADO 12. SÍ ESTE ANALISIS DE POTENCIAL GEOMAGNÉTICO V, ES EXPRESADO COMO:

$$(3)\ldots\ldots \qquad V = a\left(g_{nm}\cos m\varphi + h_{nm}\operatorname{sen} m\varphi\right)P_n^m(\cos\theta)$$

DONDE θ ES LA COLATITUD, φ LA LONGITUD Y a EL RADIO DE LA TIERRA Y LAS ARMÓNICAS SON LAS FUNCIONES DE SCHMIDT PARCIALMENTE NORMALIZADAS, ENTONCES LA CONTRIBUCIÓN DE TODAS LAS ARMÓNICAS DE GRADO n A LA VARIACIÓN DEL CAMPO VERTICAL ES:

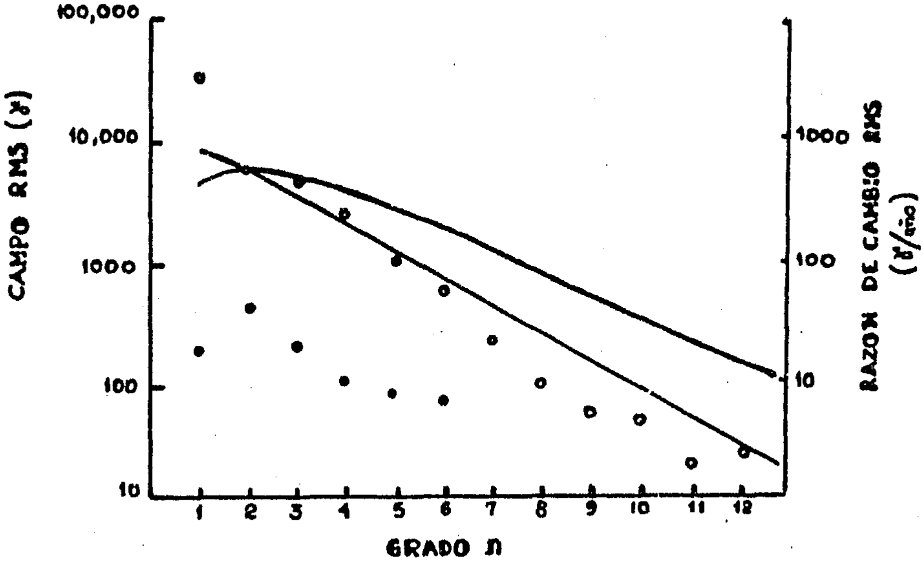
$$\sum_m \frac{(n+1)^2}{2n+1}\left(g_{nm}^2 + h_{nm}^2\right)$$

LA RAIZ CUADRADA DE ESTA EXPRESIÓN ES DADA COMO UNA FUNCIÓN DE n; EN LA TABLA 1 Y FIGURA SIGUIENTES, LAS CANTIDADES CORRESPONDIENTES PARA LA RAZÓN DE CAMBIO DE LAS ARMÓNICAS ARRIBA DEL ORDEN Y GRADO 6 SON TAMBIEN DADAS. LA ESTIMACIÓN USADA PARA LAS RAZONES DE CAMBIO ES EL PRINCIPIO DE AQUELLO DADO POR LEATON, MALIN Y EVANS, Y POR NAGATA Y OGUTI.

Tabla 1.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Z(\gamma)$	35800	5710	4250	2430	985	581	221	97	56	47	20	25
$\dot{Z}(\gamma/y)$	18.8	44.0	20.0	10.1	8.3	6.8						

CONTRIBUCION DE LAS ARMÓNICAS DE GRADO n AL rms. DEL CAMPO VERTICAL Z Y SU RAZÓN DE CAMBIO $\dot{Z}$.



LA FIGURA 2 MUESTRA LA EXTENSIÓN ESPERADA VARIANDO SUAVEMENTE EN EL TÉRMINO DE PRIMER GRADO. DESDE EL GRADO 2º HASTA EL 12º LA CONTRIBUCIÓN - rms AL CAMPO DECRECE POR UN FACTOR DE 250.

TAMBIEN MUESTRA EL VALOR rms DEL CAMPO VERTICAL Z_1, DEL CAMPO DEBIDO A UN DIPOLO EN LA SUPERFICIE DEL NUCLEO Y DE UN CAMPO Z_2, EN EL CUAL TODAS LAS ARMÓNICAS TIENEN EL MISMO VALOR rms EN LA SUPERFICIE DEL NUCLEO. SÍ a ES EL RADIO DE LA TIERRA Y b EL RADIO DEL NUCLEO, ESOS CAMPOS ES TAN DADOS POR:

$$Z_1 = \frac{n(n+1)}{(2n+1)^{1/2}} \left(\frac{b}{a}\right)^{n-1} \quad \text{Y} \quad Z_2 = (2n+1)^{1/2} \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^{n-1}$$

EN LA FIGURA ELLOS HAN SIDO NORMALIZADOS AL IGUAL QUE EL CAMPO - OBSERVADO EN LA 2ª ARMÓNICA. COMO DEBERÍA ESPERARSE EL CAMPO OBSER VADO CAE MÁS RAPIDAMENTE, CON EL GRADO QUE LOS CAMPOS DE LAS HIPO TESIS.

ASI DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA ELIMINACIÓN DE CAMPOS PRODUCI - DOS EN EL NUCLEO, PARECE QUE EL CORTE EN ORDEN Y GRADO 8 PODRIA - SER ACEPTABLE.

EN REALIDAD HAY GRANDES DISCREPANCIAS EN ANALISIS RECIENTES, POR EJEMPLO AQUELLOS DE CAIN, LEATON Y MALIN (NO PUBLICADO) PARA - 1960 DIFIEREN EN CERCA DE 25 γ/Y SOBRE UNA GRAN PARTE DEL ATLAN TICO NORTE.

DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOLÓGICO UN CORTE DEL CAMPO DE REFERENCIA EN UNA LONGITUD DE ONDA DE 2000 Km DEBERIA SER ACEPTABLE, ESTE CORRESPONDE AL GRADO 20.

POR TANTO PARECE QUE UN CAMPO DE REFERENCIA CORTADO EN GRADO 8 DEBE CLARAMENTE SATISFACER LA ELIMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE CORRIENTES EN EL NUCLEO Y DEBERIA, POR UN GRAN MARGEN, NO TENER EFECTO SOBRE LAS ANOMALIAS DE ORIGEN GEOLÓGICO.

EL USUARIO DEL CAMPO DE REFERENCIA REQUERIRÁ SUSTRAERLO A PARTIR DE OBSERVACIONES EN POSICIONES CONOCIDAS. SÍ ESTO SE HACE A MANO, EL NECESITARÁ UN MAPA DEL ÁREA CON CONTORNOS A INTERVALOS DE CERCA DE 100γ, TAL COMO AQUELLOS DADOS POR BULLARD, HILL Y MASON (1962) Y BULLARD. TALES MAPAS PUEDEN SER PRODUCIDOS A PARTIR DE VALORES EN LOS PUNTOS DE UNA REJILLA, ESOS VALORES PUEDEN SER OBTENIDOS TANTO POR COMPUTACIÓN A PARTIR DE LA SERIE DE ARMÓNICAS ESFÉRICAS, COMO POR INTERPOLACIÓN EN UNA TABLA. SÍ SE USA LA INTERPOLACIÓN ES DESEABLE QUE EL INTERVALO DE LA TABLA SEA BASTANTE PEQUEÑO PARA QUE LA INTERPOLACIÓN LINEAL SEA POSIBLE, PUESTO QUE LA INTERPOLACIÓN CUADRÁTICA O DE ALTO ORDEN EN DOS DIMENSIONES ES UN PROCESO TEDIOSO.

ALGORITMO QUE SINTETIZA EL CAMPO GEOMAGNETICO.

HACIENDO A UN LADO LAS VARIACIONES PERIODICAS Y TRANSITORIAS, EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE PUEDE SER CONSIDERADO COMO LA SUMA DE 2 PARTES:

EL CAMPO GEOMAGNÉTICO PRINCIPAL Y EL CAMPO ANOMALO.

EL CAMPO PRINCIPAL SE ORIGINA EN EL NUCLEO FLUIDO DE LA TIERRA Y MUESTRA RASGOS A GRAN ESCALA EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA. EL CAMPO ANÓMALO TIENE SUS FUENTES EN LA CORTEZA Y TIENE RASGOS QUE VAN HASTA LOS 1000 Km. O MENOS.

EL CONOCIMIENTO DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO PRINCIPAL Y SU RAZÓN DE CAMBIO ANUAL (VARIACIÓN SECULAR) ES NECESARIO PARA PROPÓSITO DE EXPLORACIÓN MAGNÉTICA. POR EJEMPLO EN EL ESTUDIO DE ANOMALIAS LOCALES, ES NECESARIO REMOVER LAS TENDENCIAS REGIONALES (BULLARD, 1967).

SÍ LAS TENDENCIAS SUPERFICIALES ESTAN BASADAS EN UN MODELO GLOBAL MÁS QUE EN UN POLINOMIO LOCAL, NO HABRA DISCONTINUIDADES ENTRE MAPAS DE ANOMALÍAS PARA ZONAS ADYACENTES.

LA ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE GEOMAGNETISMO Y AERONOMIA (IAGA) ADOPTO UN CAMPO GEOMAGNÉTICO INTERNACIONAL DE REFERENCIA (IGRF). EL CAMPO (IGRF) ORIGINAL CONSISTE DE COEFICIENTES ARMÓNICOS ESFÉRICOS PARA EL CAMPO PRINCIPAL EN 1965 Y PARA SU VARIACIÓN SECULAR, AMBOS CONJUNTOS DE COEFICIENTES SE EXTIENDEN HASTA EL OCTAVO ORDEN Y GRADO. A MEDIADOS DE LOS AÑOS 70'S EL MODELO NO ERA YA UNA DESCRIPCIÓN EXACTA, DEBIDO A LOS CAMBIOS EN LA VARIACIÓN SECULAR Y LA IAGA (1975) ADOPTO UNA VERSIÓN REVISADA QUE SE DENOTA IGRF(1975). PARA PRESERVAR LA CONTINUIDAD DE LOS VALORES DE CAMPO PRINCIPAL, LA REVISIÓN SE LIMITÓ A LA ADICIÓN DE UN NUEVO CONJUNTO DE 80 COEFICIENTES QUE DESCRIBEN LA VARIACIÓN SECULAR PARA EL PERIODO DE 1975 A 1980. EL IGRF (1975) ENTONCES CONSISTE DE TRES CONJUNTOS DE 80 COEFICIENTES DE ARMÓNICOS ESFERICOS:

a) UNO PARA EL CAMPO PRINCIPAL EN 1975 (LOS COEFICIENTES DE CAMPO PRINCIPAL DE 1965 CORREGIDOS A 1975 USANDO LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN SECULAR ORIGINALES), b) LOS COEFICIENTES DE VARIACION SECULAR USADOS PARA DERIVAR VALORES DE CAMPO PARA FECHAS ANTES DE 1975 Y c) LOS NUEVOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN SECULAR SERAN USADOS PARA FECHAS POSTERIORES A 1975.

LOS ALGORITMOS Y PROGRAMAS PARA LA EVALUACIÓN DEL IGRF ORIGINAL HAN SIDO PUBLICADOS PREVIAMENTE, AUNQUE NO EN FORMA ACCESIBLE (CAIN Y OTROS, 1968; FABBIANO Y PEDDIE, 1969; MALIN, 1969; KLUGE, 1970a,b; BARRACLOUGH Y MALIN, 1971; STASSINOPULOS, Y MEAD, 1972); TAMBIEN ESTAN DISPONIBLES EN LOS CENTROS DE DATOS MUNDIALES.

AQUI PRESENTAMOS UN ALGORITMO QUE SIRVE PARA CALCULAR LOS VALORES DE CAMPO GEOMAGNÉTICO PARA CUALQUIER FECHA ESPECÍFICA Y PUNTO EN EL ESPACIO DE LOS COEFICIENTES DE IGRF.

EN LA PRÁCTICA LOS VALORES DE CAMPO SINTETIZADO SERÁN REALES EN EL INTERVALO DE LA SUPERFICIE DEL NUCLEO EXTERNO DE LA TIERRA (radio = 3500 Km. APROXIMADAMENTE) A UNA DISTANCIA DE 4 RADIOS TE

RRESTRES. EL RANGO TEMPORAL DE LOS COEFICIENTES ES DESDE 1965 AL PRESENTE (ZHUDA, 1971).

METODO DE CALCULO

ANTES DE CALCULAR LAS COMPONENTES DE CAMPO GEOMAGNÉTICO, DEBEMOS CORREGIR LOS COEFICIENTES ARMÓNICOS ESFÉRICOS PARA LA FECHA REQUERIDA (FECHA ESPECIFICADA EN AÑOS DESPUES DE CRISTO), USANDO LAS RELACIONES

$$g_n^m = g_n^m(1975) + t\,\dot{g}_n^m(<1975),$$

$$h_n^m = h_n^m(1975) + t\,\dot{h}_n^m(<1975) \;; \quad (t<0),$$

$$g_n^m = g_n^m(1975) + t\,\dot{g}_n^m(>1975),$$

$$h_n^m = h_n^m(1975) + t\,\dot{h}_n^m(>1975) \;; \quad (t \geq 0)$$

DONDE:

t = FECHA − 1975

$\left\{\begin{matrix} g_n^m(1975) \\ h_n^m(1975) \end{matrix}\right\}$ DENOTAN LOS COEFICIENTES DEL CAMPO PRINCIPAL IGRF PARA 1975 ;

$\left\{\begin{matrix} \dot{g}_n^m(<1975) \\ \dot{h}_n^m(<1975) \end{matrix}\right\}$ DENOTAN LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN SECULAR DEL IGRF PARA FECHAS < 1975 ;

$\left\{\begin{matrix} \dot{g}_n^m(>1975) \\ \dot{h}_n^m(>1975) \end{matrix}\right\}$ DENOTAN AQUELLOS QUE SE USAN CUANDO LA FECHA SEA > 1975.

LAS COMPONENTES NORTE (X)
ESTE (Y)
VERTICAL HACIA ABAJO (Z)

DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO ESTAN DADAS POR:

$$X = \sum_{n=1}^{8} \left\{ g_n^0 \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \cdot X_n^0 + \sum_{m=1}^{n} \left[\left(g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \operatorname{sen} m\lambda \right) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \cdot X_n^m \right] \right\}$$

$$Y = \sum_{n=1}^{8}\sum_{m=1}^{n}\left[\left(g_n^m \operatorname{sen} m\lambda - h_n^m \cos m\lambda\right)\left(\frac{\vec{a}}{r}\right)^{n+2}\cdot Y_n^m\right]$$

$$Z = -\sum_{n=1}^{8}\left\{ g_n^0 \left(\frac{\vec{a}}{r}\right)^{n+2}\cdot Z_n^0 + \sum_{m=1}^{n}\left[\left(g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \operatorname{sen} m\lambda\right)\left(\frac{\vec{a}}{r}\right)^{n+2}\cdot Z_n^m\right]\right\}$$

DONDE:

$\vec{a}$ = RADIO DE LA ESFERA DE REFERENCIA

r = DISTANCIA RADIAL DESDE EL CENTRO DE LA TIERRA.

λ = LONGITUD ESTE

m, n = ENTEROS

X_n^m, Y_n^m, Z_n^m = COMPONENTES DEFINIDAS EN TÉRMINOS DE POLINOMIOS DE LEGENDRE.

LA FORMA CUASINORMALIZADA DE SCHMIDT DEL POLINOMIO DE LEGENDRE ASOCIADO ESTA DEFINIDA POR

$$P_n^m(x) = \frac{1}{2^n \cdot n!}\left[\frac{(2-\delta_{om})(n-m)!\,(1-x^2)^m}{(n+m)!}\right]^{1/2}\cdot \frac{d^{n+m}}{dx^{n+m}}\,(x^2-1)^n,$$

DONDE:

δ_{ij} = DELTA DE KROENEKER, ($\delta_{ij} = 1$; $\delta_{ij} = 0$ para $i \neq j$)

Y: $x = \cos\theta$; DONDE θ DENOTA LA COLATITUD GEOCENTRICA*

FINALMENTE:

$$X_n^m = \frac{dP_n^m}{d\theta}$$

$$Y_n^m = \frac{m\,P_n^m}{\operatorname{sen}\theta}$$

(EXCEPTO EN LOS POLOS DONDE: $Y_n^m = X_n^m \cos\theta$)

$$Z_n^m = (n+1)\,P_n^m$$

NOTE QUE LAS DEFINICIONES DE X_n^m, Y_n^m USADAS AQUI DIFIEREN POR UN FACTOR n DE AQUELLOS FRECUENTEMENTE USADOS EN OTRAS PARTES.

* AL FINAL DE LA DISCUSIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO SE INCLUYEN ALGUNAS DEFINICIONES QUE COMO LAS QUE AQUI MARCAMOS CONSIDERAMOS NECESARIAS.

LOS COEFICIENTES IGRF ESTAN REFERIDOS A UNA ESFERA DE RADIO $\bar{a}$ IGUAL A 6371.2 Km, EN TANTO QUE LA SUPERFICIE TERRESTRE CORRESPONDE A UN ELIPSOIDE. ENTONCES, SÍ UN PUNTO ES DEFINIDO EN RELACIÓN A LA SUPERFICIE TERRESTRE, ESTO ES EN COORDENADAS GEODESICAS θ = COLATITUD, λ = LONGITUD ESTE Y h = ALTURA ORTOMETRICA* ARRIBA DEL NIVEL MEDIO DEL MAR, ESTAS DEBEN DE SER PRIMERO CONVERTIDAS A COORDENADAS GEOCENTRICAS θ, λ, r. ESTA CONVERSIÓN SE REALIZA POR MEDIO DE UNA SUBRUTINA SI ITYPE SE ESPECIFICA COMO 1. EL ELIPSOIDE DE LA UNIÓN INTERNACIONAL ASTRONÓMICA, EL CUAL TIENE UN RADIO ECUATORIAL, a DE 6378.16 Km Y UN RECIPROCO DEL ACHATAMIENTO $1/f$ DE 298.25, ES RECOMENDADO PARA USARLO CON EL IGRF Y ES EMPLEADO EN ESA SUBRUTINA; h ES TOMADA COMO LA ALTURA ARRIBA DE ESTE ELIPSOIDE MEDIDO EN LA DIRECCIÓN NORMAL. ALTERNATIVAMENTE, EL PUNTO PUEDE ESTAR DADO DIRECTAMENTE EN COORDENADAS GEOCENTRICAS, EN EL CASO DE ITYPE=2.

LA CONVERSIÓN DE COORDENADAS GEODESICAS A GEOCENTRICAS ES:

$$r = \left[h(h+2) + (a^2 \operatorname{sen}^2\theta' + b^4\cos^2\theta') / \rho^2 \right]^{1/2}$$

DONDE:

$$\rho = (a^2 \operatorname{sen}^2\theta' + b^2\cos^2\theta')^{1/2}$$

$$\cos\delta = \frac{(h+\rho)}{r}$$

$$\operatorname{sen}\delta = (a^2 - b^2)\cdot\cos\theta'\cdot\operatorname{sen}\theta' / \rho r$$

$$\cos\theta = \cos\theta'\cos\delta - \operatorname{sen}\theta'\operatorname{sen}\delta$$

$$\operatorname{sen}\theta = \operatorname{sen}\theta'\cos\delta + \cos\theta'\operatorname{sen}\delta$$

AQUI a DENOTA EL RADIO ECUATORIAL Y b EL RADIO POLAR $(= a(1-f))$. Y $\delta = \theta - \theta'$.

LAS CANTIDADES $\cos\delta$ Y $\operatorname{sen}\delta$ SON USADAS MÁS TARDE PARA CONVERTIR X Y Z AL SISTEMA DE COORDENADAS GEODESICAS, SÍ ESTO ESTA ESPECIFICADO POR LOS DATOS DE ENTRADA AL PROGRAMA DERIVADO DE ESTE ALGORITMO (CUANDO ITYPE = 1).

SI LAS COORDENADAS GEOCENTRICAS SON EMPLEADAS, $\delta = 0$.

CUATRO VALORES DE P_n^m Y X_n^m SON ESPECIFICADOS.

$$P_0^0 = 1$$

$$P_1^1 = \operatorname{sen}\theta$$

$$X_0^0 = 0$$

$$X_1^1 = \cos\theta$$

Y LOS VALORES RESTANTES SON CALCULADOS USANDO LAS RELACIONES DE RECURRENCIA

$$P_n^n = \left(1 - \frac{1}{2n}\right)^{1/2} \cdot \operatorname{sen}\theta \cdot P_{n-1}^{n-1},$$

$$X_n^n = \left(1 - \frac{1}{2n}\right)^{1/2} \cdot \left(\operatorname{sen}\theta \cdot X_{n-1}^{n-1} + \cos\theta \cdot P_{n-1}^{n-1}\right),$$

$$P_n^m = \left\{ (2n-1)\cos\theta \cdot P_{n-1}^m - \left[(n-1)^2 - m^2\right]^{1/2} \cdot P_{n-2}^m \right\} \Big/ (n^2 - m^2)^{1/2},$$

$$X_n^m = \left\{ (2n-1)\left[\cos\theta \cdot X_{n-1}^m - \operatorname{sen}\theta \cdot P_{n-1}^m\right] - \left[(n-1)^2 - m^2\right]^{1/2} \cdot X_{n-2}^m \right\} \Big/ (n^2 - m^2)^{1/2}$$

AL MISMO TIEMPO, $\cos m\lambda$ Y $\operatorname{sen} m\lambda$ SON CALCULADAS POR:

$$\cos m\lambda = \cos(m-1)\lambda \cdot \cos\lambda - \operatorname{sen}(m-1)\lambda \cdot \operatorname{sen}\lambda$$

$$\operatorname{sen} m\lambda = \operatorname{sen}(m-1)\lambda \cdot \cos\lambda + \cos(m-1)\lambda \cdot \operatorname{sen}\lambda$$

FINALMENTE, X Y Z SON AJUSTADAS AL SISTEMA DE COORDENADAS APROPIADO Y F, LA MAGNITUD DEL CAMPO TOTAL ES CALCULADO.

$$X_{\text{geodésica}} = X\cos\delta + Z\operatorname{sen}\delta$$

$$Z_{\text{geodésica}} = Z\cos\delta - X\operatorname{sen}\delta$$

Y

$$F = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}$$

LOS ELEMENTOS MAGNÉTICOS RESTANTES PUEDEN SER CALCULADOS DE AQUELLOS SUMINISTRADOS POR LA SUBRUTINA COMO SIGUE:

$$H = (X^2 + Y^2)^{1/2}$$

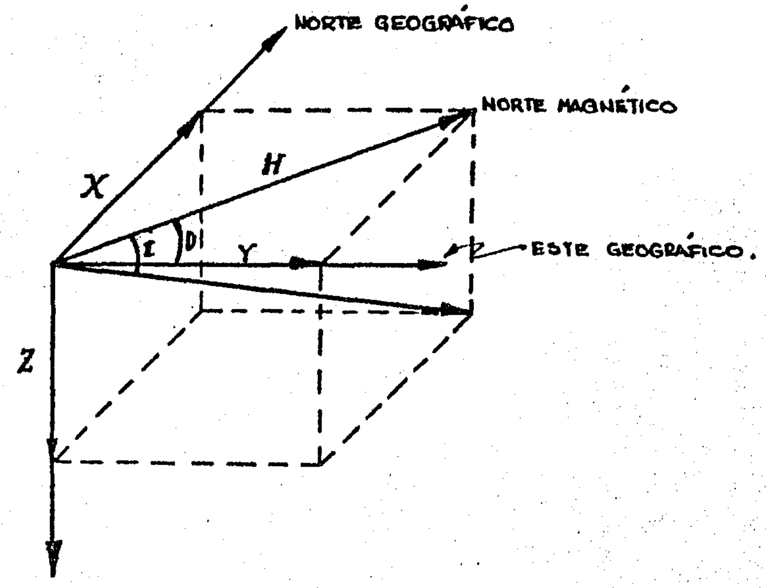
$$D = \text{ang tan}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$I = \text{ang tan}\left(\frac{Z}{H}\right)$$

DONDE: H DENOTA LA COMPONENTE HORIZONTAL DEL CAMPO

D DENOTA LA DECLINACIÓN HACIA EL ESTE DEL CAMPO DEL NORTE GEOGRÁFICO.

I DENOTA LA INCLINACIÓN DEL CAMPO RESPECTO A LA HORIZONTAL.



LA SUBRUTINA ES LLAMADA POR LA PROPOSICIÓN "CALL MAGSYN".

X, Y, Z SON SUMINISTRADOS POR LA SUBRUTINA LOS OTROS VALORES EN LA PROPOSICIÓN "CALL" PERMANECEN INALTERABLES.

LA SUBRUTINA SE EXPLICA EN LOS COMENTARIOS O ES EVIDENTE, SIN EMBARGO LAS SIGUIENTES NOTAS PUEDEN AYUDAR A ENTENDER EL PROCEDIMIENTO.

LOS PRINCIPALES COEFICIENTES DEL CAMPO* SON ALMACENADOS EN EL ARREGLO: GH(L), L = 1 a 80, DONDE $L = n^2 + 2m$ para g_n^0 Y h_n^m

Y: $L = n^2 + 2m - 1$ para g_n^m ; $(m \neq 0)$

* VER APENDICE A.

LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN SECULAR ANTERIORES A 1975 SON ALMACENADOS EN EL ARREGLO

$$SV(L)\ ,\ (L = 1\ a\ 80)$$

LOS COEFICIENTES POSTERIORES A 1975 EN

$$SV(80+L)\ ,\ (L = 1\ a\ 80)$$

LAS CANTIDADES

$$P_n^m \text{ Y } X_n^m$$

SON ALMACENADAS EN LOS ARREGLOS $P(K)$ Y $Q(K)$.

CON: $K = 1\ a\ 45$

$$K = \frac{n(n+1)}{2} + m + 1$$

EMPEZANDO CON: P_0^0 Y X_0^0.

LAS CANTIDADES DE PUNTO FLOTANTE INTERMEDIAS SON ALMACENADAS EN; ONE, TWO, THREE.

LAS CANTIDADES ENTERAS I, J, LL

LAS VARIABLES FORTRAN QUE CORRESPONDAN A AQUELLAS EMPLEADAS - EN LAS FÓRMULAS PREVIAS SON:

ALT $\equiv h$

COLAT $\equiv \theta'$ (SI ITYPE = 1)

ALT $\equiv r$; COLAT $\equiv \theta$, (SI ITYPE = 2)

ELONG $\equiv \lambda$

CL(M) $\equiv \cos m\lambda$

SL(M) $\equiv \operatorname{sen} m\lambda$

T $\equiv t$; R $\equiv r$; CT $\equiv \cos\theta$; ST $\equiv \operatorname{sen}\theta$

CD $\equiv \cos\delta$; SD $\equiv \operatorname{sen}\delta$; A2 $\equiv a^2$

B2 $\equiv b^2$; RHO $\equiv \rho$; RATIO $\equiv \bar{a}/r$

RR $\equiv (\bar{a}/r)^{n+2}$

FM Y M $\equiv m$

FN Y N $\equiv n$

GM $\equiv m^2$

GN $\equiv n-1$

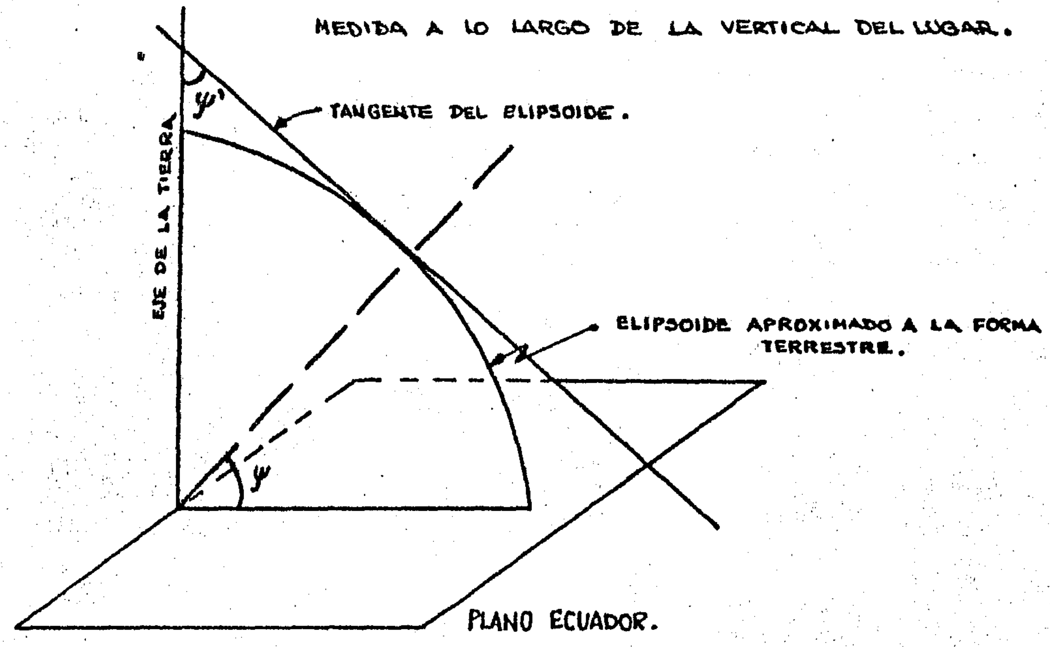
*

DEFINICIONES Y CONCEPTOS COMPLEMENTARIOS

COLATITUD GEOCÉNTRICA = COMPLEMENTO DE LA LATITUD GEOCÉNTRICA.

LATITUD GEOCÉNTRICA ≡ ÁNGULO FORMADO POR UNA LINEA QUE PASA POR EL CENTRO DE LA TIERRA Y EL PLANO DEL ECUADOR.

ALTURA ORTOMÉTRICA ≡ DISTANCIA DEL PUNTO CON RESPECTO AL GEOIDE - MEDIDA A LO LARGO DE LA VERTICAL DEL LUGAR.



ψ ≡ ÁNGULO DE LATITUD GEOCÉNTRICA.
ψ' ≡ ÁNGULO DE LATITUD GEODÉSICA.

LATITUD GEODESICA ≡ LATITUD ORDINARIA, ANGULO FORMADO POR LA TANGENTE AL ELIPSOIDE QUE APROXIMA LA FORMA DE LA TIERRA Y EL EJE TERRESTRE

LA LATITUD GEODÉSICA ψ' DIFIERE DE LA LATITUD GEOCENTRICA ψ DEBIDO A LA ELIPTICIDAD TERRESTRE, POR LA RELACIÓN

$$\psi = 11.7 \text{ sen } 2\psi' \quad \left[\text{EN MINUTOS DE ARCO}\right]$$

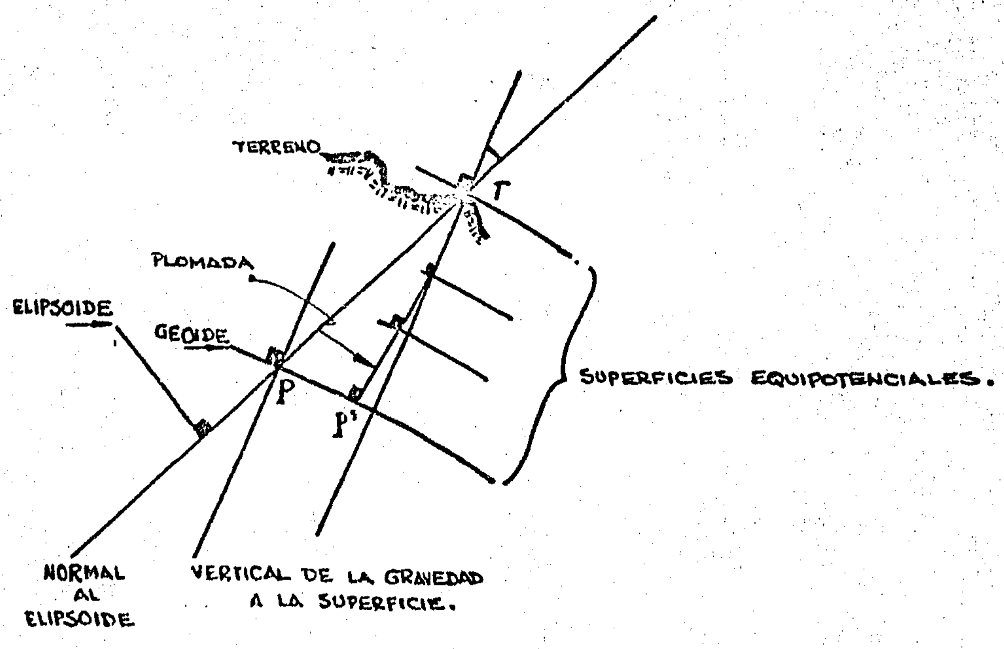
ALTURA GEOIDAL = (N^*). LA DISTANCIA ENTRE EL ELIPSOIDE Y EL GEOIDE ME DIDA A TRAVÉS DE LA NORMAL AL ELIPSOIDE $(\overline{QP})$.

ALTURA ELIPSOIDAL = (h). LA DISTANCIA ENTRE EL ELIPSOIDE Y EL TERRENO MEDIDO A TRAVÉS DE LA NORMAL DEL ELIPSOIDE - $(\overline{QT})$.

ALTURA ORTOMÉTRICA = (H). LA DISTANCIA ENTRE EL GEOIDE Y EL TERRENO MEDIDO A TRAVÉS DE LA PLOMADA $(\overline{P'T})$.

SÍ LA CURVATURA DE LA PLOMADA ES IGNORADA; $h = N^* + H$.

ORIENTACION DEL ELIPSOIDE AL GEOIDE.-



ALGORITMO DE ENREJILLADO

LOS DATOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS GENERALMENTE SE OBSERVAN EN LOCALIDADES ALEATORIAS SOBRE SUPERFICIES BIDIMENSIONALES Y SON INTERPOLADOS POSTERIORMENTE SOBRE UNA REJILLA CUADRADA O RECTANGULAR. ESTA REJILLA ALEATORIA, O PROCESO DE ENREJILLADO, FACILITA EL ANALISIS DE MAPA YA QUE LOS DATOS ENREJILLADOS PUEDEN SER USADOS PARA APLICACIÓN DE TECNICAS DE PROCESADO: COMO EL FILTRAJE, COMPARACIÓN CON OTROS DATOS, Y CONFIGURACIÓN CON MAQUINA O A MANO.

LAS TÉCNICAS DE ENREJILLADO QUE HAN SIDO DESCRITAS EN LA LITERATURA, ESTAN BASADAS EN MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN EN NODOS DE REJILLA, USANDO DATOS IRREGULARMENTE ESPACIADOS EN UN ENTORNO. GENERALMENTE LA INTERPOLACIÓN SE EFECTUA EN CADA NODO DE LA REJILLA, USANDO UN PROMEDIO PESADO, UN AJUSTE LINEAL O CUADRATICO, DAVIS (1974) DESCRIBIÓ Y PRESENTÓ UN PROGRAMA PARA UN MÉTODO DE PROMEDIO SENCILLO EN EL CUAL, EL VALOR EN UN NODO DE REJILLA ESTÁ DADO POR EL PROMEDIO PESADO DE LOS **n** PUNTOS CERCANOS, DONDE **n** ES SELECCIONADO POR EL USUARIO. LA FUNCIÓN DE "PESO" ES SELECCIONADA COMO EL INVERSO DE LA DISTANCIA DEL NODO DE LA REJILLA. ESTÁ TÉCNICA ES LA BASE PARA UNO DE LOS PROGRAMAS UTILIZADOS EN ESTE ARTÍCULO, DESIGNADO MÉTODO II. PALMER (1969) Y WALTERS (1969) PRESENTAN MÉTODOS DE ENREJILLADO BASADOS EN EL AJUSTE DE UNA SUPERFICIE LINEAL A LOS PUNTOS DATO EN LA REGIÓN DE NODOS DE REJILLA. UN FACTOR DE PESO DE DISTANCIA PUEDE SER INCLUIDO EN EL PROCESO DE AJUSTADO LINEAL. McINTYRE, POLLARD Y SMITH (1969) PRESENTAN UN PROGRAMA QUE EMPLEA UN AJUSTE CUADRÁTICO DE DATOS DENTRO DE UN RADIO ESPECÍFICO DE UN NODO DE REJILLA. SWAIN (1976) EMPLEO UNA TÉCNICA DE ECUACIÓN DE DIFERENCIA, SIGUIENDO A BRIGGS (1974) EL CUAL USA UNA CURVATURA MÍNIMA DE LA SUPERFICIE COMO UN CONTRASTE ADICIONAL EN EL PROCEDIMIENTO DE AJUSTE. LA MAYORIA DE TÉCNICAS DE ENREJILLADO USAN UNA ESTRATEGIA LOCAL EN LA CUAL EL VALOR EN UN NODO ES DETERMINADO A PARTIR DE MUESTRAS RESTRINGIDAS A UN RANGO PEQUEÑO DE DISTANCIAS DE LOS NODOS DE REJILLA. TODAS LAS TÉCNICAS EN GENERAL USAN LOS PUNTOS

DATO PARA LA INTERPOLACIÓN DEL VALOR EN CADA UNO DE LOS NODOS DE REJILLA. EL ANALISIS DE TENDENCIAS DE SUPERFICIES UTILIZA POLINOMIOS — (WATSON, 1971), SERIES DE FOURIER (JAMES, 1966) O INTERPOLACIÓN AJUSTADA (WHITTEN Y KOELLING, 1973), PUEDEN SER USADOS COMO MÉTODOS GLOBALES DE ENREJILLADO. TIPPER (1977) HA PRESENTADO UNA DISCUSIÓN DEL USO DE MÉTODOS LOCALES Y GLOBALES PARA UNA REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL. LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ENREJILLADO DEPENDE DEL CONCEPTO QUE EL USUARIO TENGA SOBRE UNA REPRESENTACIÓN OPTIMA O INTERPOLACIÓN, LA - CUAL ESTÁ CONTROLADA POR MUCHOS FACTORES INCLUYENDO LAS CARACTE - RISTICAS DE LOS DATOS, LA APLICACIÓN DESEADA Y LOS JUICIOS DEL USUARIO. UNA DISCUSIÓN DE UTILIDAD Y CONCEPTOS IMPORTANTES EN PROCESOS DE EN REJILLADO ESTAN DADOS POR DAVIS (1973, 1975), PALMER (1969), WALTERS (1969), WREN (1975) Y CRAIN Y BHATTACHARYYA (1967).

EN ESTE ARTÍCULO SE COMPARAN CUATRO PROCEDIMIENTOS DE ENREJILLADO DIFERENTES Y UN NUEVO MÉTODO ES EL QUE PRESENTAMOS COMO PROGRAMA PARA COMPUTADORA EN FORTRAN. ESTA NUEVA TÉCNICA ESTA BASADA EN EL - AJUSTE DE UNA SUPERFICIE POLINOMIAL DE CUALQUIER ORDEN A UNA REGIÓN PEQUEÑA DEL ÁREA DE LA REJILLA. ESTE MÉTODO ES SIMILAR EN VARIOS AS- PECTOS A LAS TÉCNICAS DISCUTIDAS PERO TIENE UNA DIFERENCIA IMPOR - TANTE. EL USO DE UN POLINOMIO DE CUALQUIER ORDEN PERMITE PRECISAR LA SUPERFICIE DE AJUSTE AUN EN LA SITUACIÓN DE UNA SUPERFICIE ALTA- MENTE IRREGULAR. UN CONTROL CONSIDERABLE DEL PROCEDIMIENTO DE ENRE- JILLADO PUEDE SER EJERCIDO POR EL USUARIO APLICANDO UN JUICIO DE SELEC CIÓN EN LOS PARÁMETROS DE ENREJILLADO. ESTO AYUDA EN MINIMIZAR LOS E- FECTOS LATERALES, INCREMENTAR LA EXACTITUD DEL AJUSTE, PERMITE EL - USO DE POLINOMIOS DE DIFERENTE ORDEN EN REGIONES DISTINTAS DE LA REJILLA, LA CUAL PROVEÉ UN ENREJILLADO OPTIMO EN REGIONES DE - ALTA Y BAJA DENSIDAD DE DATOS Y PROVEÉ UN PROCESO DE ENREJILLADO - VERSATIL EL CUAL HA SIDO DETERMINADO PARA ADAPTARSE A CARACTERÍSTICAS DE DATOS Y DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DIVERSAS.

. LA FUNCIONALIDAD DE MÉTODOS ALEATORIOS DE REJILLA, DEPENDE DE LA COMPLEJIDAD DE LOS DATOS OBSERVADOS, LAS LOCALIDADES DE LOS PUNTOS - MUESTREADOS Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LA TÉCNICA DE ENREJILLADO.

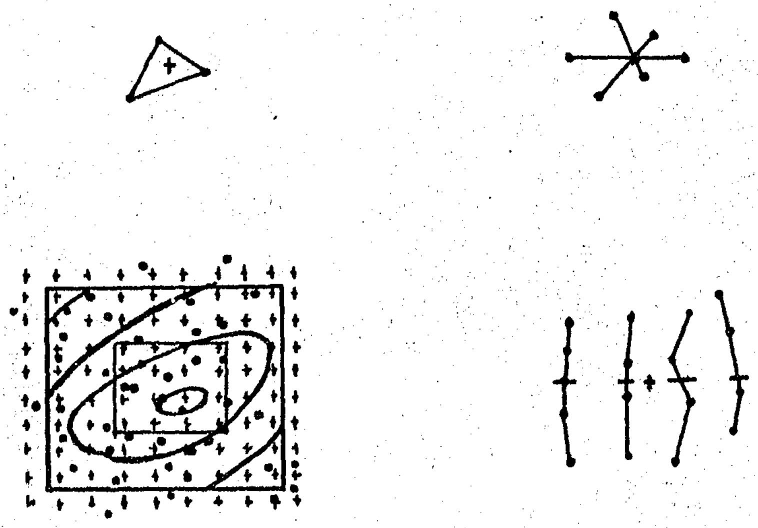
LOS PROBLEMAS COMUNES, INHERENTES A MÉTODOS AUTOMÁTICOS DE ENREJILLADO SON:

- OBTENCIÓN DE EXACTITUD EN REGIONES DE DATOS DISPERSOS.
- REPRESENTACIÓN DE LOS RASGOS DE LA LONGITUD DE ONDA CORTA DE LOS DATOS SUPERFICIALES, PUESTO QUE TAMBIEN EVITAN LA INTRODUCCIÓN DE RASGOS INDESEABLES EN LA SUPERFICIE DE ENREJILLADO.
- INTERPOLACIÓN CERCA DE LOS LADOS DEL ÁREA MUESTREADA

EL OBJETIVO DE ESTA PARTE ES PRESENTAR UNA COMPARACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE LOS CUATRO MÉTODOS DE ENREJILLADO ALEATORIO. LOS 4 MÉTODOS SON USADOS PARA REJILLAS POR COMPUTADORA PARA UNA SERIE DE 200 LOCALIDADES OBSERVADAS ALEATORIAMENTE SOBRE LA SUPERFICIE DE DATOS. LA FUNCIONALIDAD DE CADA UNO DE LOS MÉTODOS DE ENREJILLADO ES EVALUADA POR COMPARACIÓN DE LA SUPERFICIE ENREJILLADA POR COMPUTADORA CON UNA REJILLA DIGITIZADA A MANO.

MÉTODOS DE ENREJILLADO

LOS CUATRO MÉTODOS DE ENREJILLADO SE MUESTRAN ESQUEMATICAMENTE EN LA SIGUIENTE FIGURA.



EN EL MÉTODO II, EL VALOR DE LA SUPERFICIE INTERPOLADA EN CADA NODO DE LA REJILLA ES DETERMINADO POR EL PROMEDIO PESADO DE LOS PUNTOS CERCANOS MUESTREADOS ALEATORIAMENTE. EN CADA NODO DE LA REJILLA, LOS DATOS ALEATORIOS DEBEN SER OBSERVADOS PARA LOCALIZAR, LOS n PUNTOS CERCANOS, DONDE n PUEDE SER CUALQUIER NÚMERO AUNQUE USUALMENTE ES ESCOGIDO ENTRE 3 Y 9. LOS VALORES DE LOS n PUNTOS CERCANOS SON PESADOS POR EL INVERSO DE LA DISTANCIA ENTRE EL NODO DE LA REJILLA Y LOS PUNTOS MUESTREADOS Y ASI PROMEDIADOS. EL PROCESO ES REPETIDO PARA CADA NODO DE LA REJILLA. DEBIDO A QUE LA BUSQUEDA DE TODO EL ARCHIVO DE DATOS ES REQUERIDO PARA CADA PUNTO, EL PROCESO CONSUME MUCHO TIEMPO PARA UN GRAN NÚMERO DE MUESTRAS ALEATORIAS, Y REJILLAS GRANDES, AUNQUE PODRIA SER DESARROLLADO UN PROCEDIMIENTO DE REGISTRO MÁS EFICIENTE. DEBIDO AL PROMEDIO DE PUNTOS CERCANOS, ESTE MÉTODO SUBESTIMA LAS AMPLITUDES DEL MÁXIMO Y EL MÍNIMO EN LA SUPERFICIE.

EL MÉTODO I ES SIMILAR AL MÉTODO II EN QUE ESTE ESTIMA EL VALOR DE LA SUPERFICIE EN LOS NODOS DE LA REJILLA POR PROMEDIADO DE LOS VALORES DE LOS PUNTOS CERCANOS. SIN EMBARGO EL MÉTODO I REQUIERE QUE SEAN USADOS 3 PUNTOS Y QUE LOS 3 PUNTOS MUESTREADOS FORMEN UN TRIANGULO CON EL NODO DE LA REJILLA ENCERRADO EN EL TRIÁNGULO. ESTA RESTRICCION PROPORCIONA ALGUN CONTROL AZIMUTAL EL CUAL MEJORA EL ENREJILLADO EN SITUACIONES DONDE LAS LOCALIDADES MUESTREADAS SON IRREGULARMENTE ESPACIADAS.

EL MÉTODO III EMPLEA UN AJUSTE DE UN POLINOMIO SUPERFICIAL DE n-ESIMO ORDEN PARA REGIONES PEQUEÑAS DEL ÁREA MUESTRA Y CALCULANDO LOS VALORES DE SUPERFICIE EN LOS NODOS DE LA REJILLA A PARTIR DE LA SUPERFICIE POLINOMIAL. EN ESTE MÉTODO EL AREA DE ENREJILLADO ES DEFINIDA POR UN NÚMERO PEQUEÑO DE NODOS DE REJILLA EN AMBAS DIRECCIONES X, Y, Y UNA ÁREA DE AJUSTE DE SUPERFICIE ES DELINEADA EN TORNO AL ÁREA DE ENREJILLADO.

LOS DATOS MUESTREADOS SON BUSCADOS PARA LOCALIZAR TODOS LOS PUNTOS DENTRO DEL AREA DE LA SUPERFICIE DE AJUSTE Y ESOS PUNTOS SON USADOS PARA CALCULAR UNA SUPERFICIE POLINOMIAL A PARTIR DE LA CUAL LOS VALORES EN LOS NODOS DE REJILLA SON INTERPOLADOS

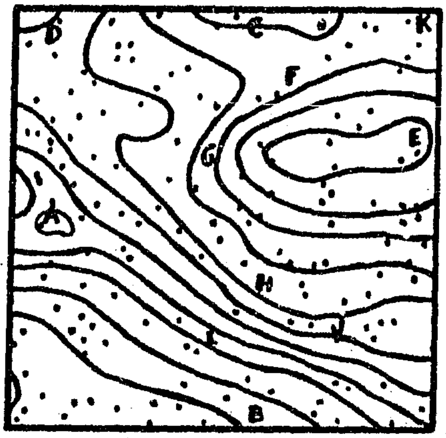
EL ÁREA DE ENREJILLADO, ENTONCES ES MOVIDA SUCESIVAMENTE CERCA DE LA REJILLA COMPLETA Y EL POLINOMIO LOCAL ES AJUSTADO REPETIDAMENTE HASTA COMPLETAR EL ENREJILLADO. LOS CONCEPTOS INVOLUCRADOS EN LA UNIÓN DE ÁREAS DE REJILLA PARA PRODUCIR UNA REPRESENTACIÓN SENCILLA DE LA SUPERFICIE ES DISCUTIDO POR TIPPER (1977). LAS CARACTERÍSTICAS DE LA OPERACIÓN DE ENREJILLADO PUEDEN SER CONTROLADAS POR LA SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RECTANGULO DE ENREJILLADO, Y EL TAMAÑO DEL ÁREA DE SUPERFICIE DE ENREJILLADO Y EL ORDEN DEL POLINOMIO. EL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN DENTRO DEL RECTÁNGULO DE ENREJILLADO QUE SE EMPLEÓ, FUE EL DE AJUSTE DE SUPERFICIE POLINOMIAL. SIN EMBARGO, SE PUEDE VER QUE, OTRAS TÉCNICAS PUEDEN SER EMPLEADAS INCLUYENDO SPLINES* (BHATTACHARYYA 1969; WHITTEN Y KOELLING, 1973) O POLINOMIOS CONTINUOS POR TRAMOS (AKIMA, 1970, 1974; HESSING Y OTROS, 1972). LAS OPCIONES Y PARÁMETROS DE LA REJILLA SON DESCRITOS EN EL CAPÍTULO IV.

EN EL MÉTODO IV EL USUARIO REQUIERE ARREGLAR LOS DATOS MUESTREADOS EN PERFILES, LOS CUALES NECESITAN NO SER RECTOS Y NO TENER ESPACIOS PAREJOS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS. PARA CADA NODO DE REJILLA LOS DOS PERFILES SOBRE CADA LADO DEL NODO SON LOCALIZADOS Y CUATRO PUNTOS ENTORNO A CADA PERFIL SON DEFINIDOS. UN POLINOMIO CÚBICO ES AJUSTADO PARA CADA UNA DE LAS SECCIONES DE 4 PUNTOS, DE LOS PERFILES Y LOS VALORES INTERPOLADOS SON DETERMINADOS EN LOS 4 PUNTOS DE INTERSECCIÓN DE UNA LINEA PERPENDICULAR AL NODO DE REJILLA EN LA DIRECCIÓN DEL PERFIL Y LOS 4 PERFILES. LOS 4 PUNTOS DE INTERSECCIÓN SON, ASÍ, AJUSTADOS POR UN POLINOMIO CÚBICO, Y EL VALOR EN LA REJILLA INTERPOLADO. EN LOS LADOS DEL AREA MUESTRA, LOS DATOS DEBEN SER EXTRAPOLADOS PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE INTERSECCIÓN.

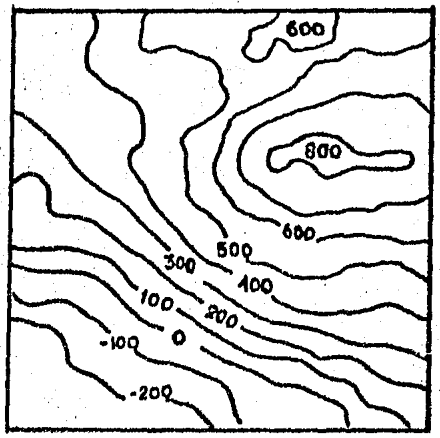
ANALISIS DE METODOS DE ENREJILLADO.

PARA FACILITAR LA COMPARACIÓN DE LOS 4 MÉTODOS DE ENREJILLADO UNA SECCIÓN DEL MAPA AEROMAGNÉTICO DEL SUROESTE DE ILLINOIS (HEIGOLD, 1976) FUE SELECCIONADO PARA SER USADO COMO SUPERFICIE DE

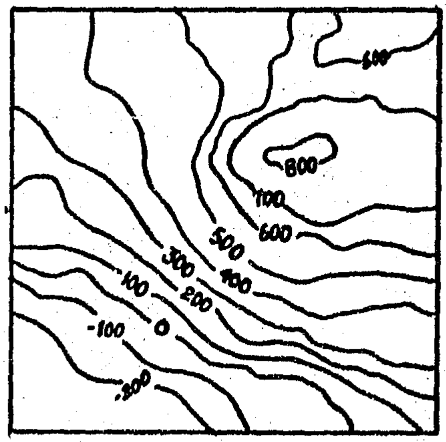
PRUEBA. LA SECCIÓN ES MOSTRADA EN LA FIGURA SIGUIENTE:



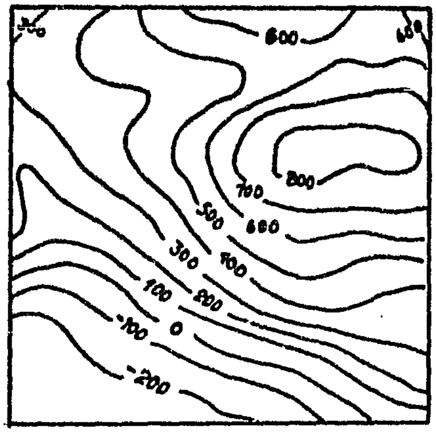
Y FUE SELECCIONADA PORQUE CONTIENE MUCHAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE GEOLOGIA TÍPICAS Y DATOS GEOFÍSICOS QUE INCLUYEN: REGIONES DE ALTO Y BAJO GRADIENTE Y TANTO RASGOS DE ALTAS Y BAJAS LONGITUDES DE ONDA. ESTE SUPERFICIE FUE MUESTREADA ALEATORIAMENTE EN 200 LOCALIDADES, FIGURA ANTERIOR, Y LAS MUESTRAS DE DATOS FUERÓN USADAS COMO ENTRADA PARA LOS 4 PROGRAMAS DE ENREJILLADO. LOS RESULTADOS DEL ENREJILLADO DE ESTOS DATOS SE MUESTRAN EN LA FIGURA SIGUIENTE:



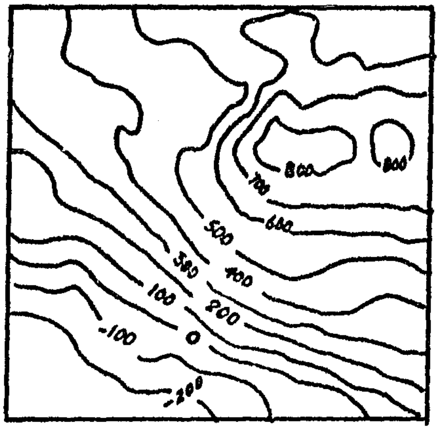
METODO I



METODO II



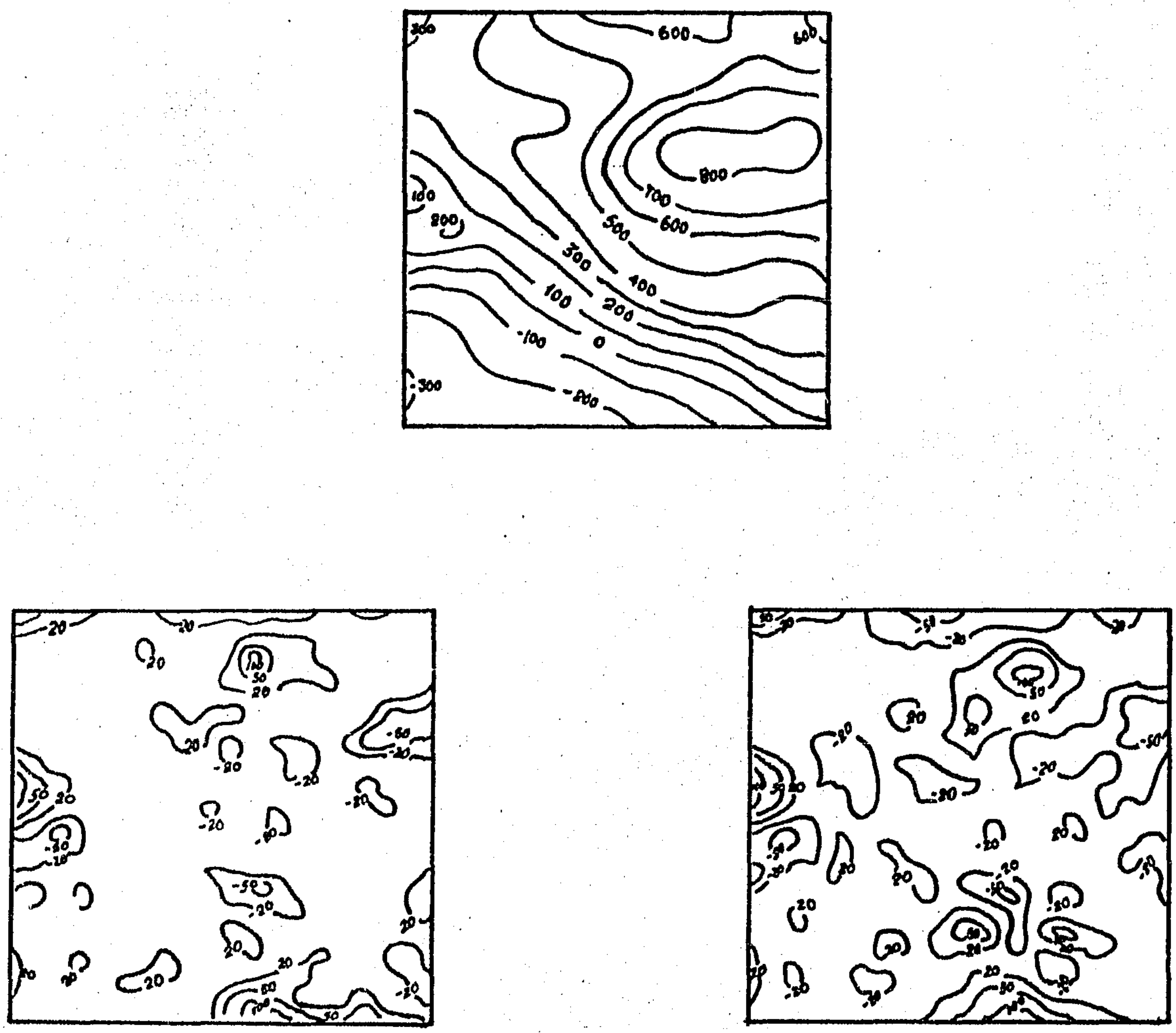
METODO III



METODO IV

LA SIMILITUD Y DIFERENCIA DE LOS RESULTADOS EN LAS SUPERFICIES DE REJILLA SON INMEDIATAMENTE OBVIOS. NINGUNO DE LOS MÉTODOS FUE CÁPAZ DE REPRODUCIR EXACTAMENTE LA LONGITUD DE ONDA CORTA, EN LA PARTE OESTE (LOCALIDAD A) DEL MAPA. ESTO ES DEBIDO INDUDABLEMENTE POR UN NÚMERO INSUFICIENTE DE PUNTOS MUESTREADOS EN ESTA REGIÓN PARA DEFINIR EL ALTO. EL MÉTODO III PRODUCE UN SUAVIZADO GENERAL DE LA SUPERFICIE DE ENREJILLADO LO CUAL REPRODUCE JUSTAMENTE CON EXACTITUD TODOS LOS RASGOS ESCENCIALES DE LA SUPERFICIE ORIGINAL. LAS COMPARACIONES DE LOS MÉTODOS DE REJILLA ESTAN BASADAS POR EL CÁLCULO DE DIFERENCIAS ENTRE LAS SUPERFICIES ENREJILLADAS POR COMPUTADORA (MÉTODOS I a IV) Y UNA REJILLA DIGITIZADA A MANO. LAS DIFERENCIAS SON LOCALIZADAS EN LOS NODOS DE REJILLA. ESTE NO ES CIERTAMENTE EL UNICO METODO POSIBLE DE COMPARAR LA EXACTITUD DEL ENREJILLADO. POR EJEMPLO, LAS DIFERENCIAS PUEDEN SER CALCULADAS EN LOS PUNTOS MUESTREADOS. DAVIS (1975) HA EMPLEADO DIFERENCIAS EN LOS PUNTOS MUESTREADOS COMO UNA MEDIDA DE LA EXACTITUD Y DEMOSTRADO QUE UN MÉTODO LOCAL DE ENREJILLADO (TAL COMO I) ES MÁS EXACTO QUE EL PROCEDIMIENTO QUE EMPLEA UN GRAN NÚMERO DE PUNTOS DATO. ADEMAS LA COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE REJILLA QUE UTILIZAN DIFERENCIAS CALCULADAS EN LOS NODOS DE REJILLA ESTA LIMITADO A ESTUDIOS EMPIRICOS DE INTERPOLACIÓN, TAL COMO EL PRESENTADO AQUI. LUEGO ENTONCES, YA QUE LOS VALORES ENREJILLADOS SERÁN USADOS EN ANALISIS SUBSECUENTES, PROCESA-

MIENTO O CONFIGURACIÓN, PARECE MÁS APROPIADO EVALUAR LA EXACTITUD DE LA INTERPOLACIÓN EN LOS PUNTOS DE REJILLA, MÁS BIEN QUE EN LOS PUNTOS MUESTREADOS. LAS DIFERENTES SUPERFICIES JUNTO CON UN MAPA CONFIGURADO OBTENIDO DE LA REJILLA DIGITIZADA MANUALMENTE SE MUESTRAN EN LA SIGUIENTE FIGURA:



LAS ÁREAS DE ENREJILLADO INEXACTO (DEFINIDAS POR LETRAS EN LA FIGURA) SON RELATIVAS A LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MÉTODOS DE ENREJILLADO. LA EXTRAPOLACIÓN INADECUADA COLOCADA CERCA DE LOS BORDES DE LOS DATOS Y LOS EFECTOS LATERALES SON LOS RASGOS MÁS PROMINENTES DE LA DIFERENCIA DE SUPERFICIES (ÁREAS B, C, D, E Y K). SIN EMBARGO, LOS EFECTOS LATERALES SON PEQUEÑOS PARA EL MÉTODO III PORQUE ESTE MÉTODO PROPORCIONA PARA LA INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN UN POLINOMIO DE BAJO ORDEN. LAS AREAS DE MÁXIMO Y MÍNIMO (ÁREAS E Y F) SON INTERPOLADAS INEXACTAMENTE POR LOS MÉTODOS I Y II. LA INEXACTITUD DEBIDA AL MUESTREO INADECUADO DE LAS REGIONES DE LONGITUD DE ONDA CORTA TAMBIEN ES EVIDENTE EN LA DIFERENCIA DE MAPAS (ÁREA A).

LA TABLA SIGUIENTE RESUME UNA COMPARACIÓN ENTRE LOS 4 MÉTODOS DE ENREJILLADO ANALIZADOS EN ESTE ARTÍCULO. PARA CADA UNO DE LOS DIFERENTES MAPAS EN LA FIGURA ANTERIOR, UN ERROR RMS (ERROR CUADRÁTICO MEDIO) FUE CALCULADO.

METODO	TIEMPO DE COMPUTADORA (SEG)	ERROR RMS (GAMMAS)
I	14.0	28.5
II	13.8	31.3
III	10.4	21.2
IV	2.7	29.3

EL ERROR RMS PARA EL MÉTODO III ES SIGNIFICATIVAMENTE MÁS BAJO QUE PARA LOS OTROS MÉTODOS. LA COMPARACIÓN DEL TIEMPO DE COMPUTADORA TAMBIEN INDICA QUE EL MÉTODO III ES ALTAMENTE EFICIENTE. EN CONCRETO, EL MÉTODO III SERÁ MÁS EFICIENTE CON RESPECTO A LOS MÉTODOS SIMILARES I Y II PARA UNA SERIE DE DATOS GRANDE, PORQUE PARA EL MÉTODO III SE USO UN PROCEDIMIENTO DE BUSQUEDA SIMPLE Y UN PROCEDIMIENTO DE AJUSTE SIMPLE PARA UNA REGIÓN DE LA REJILLA MÁS BIEN QUE PARA CADA UNO DE LOS NODOS INDIVIDUALES DE REJILLA. EL TIEMPO DE COMPUTADORA PARA EL MÉTODO IV ES CORTO PORQUE NO SE REQUIERE EL PROCESO DE BUSQUEDA Y POR TANTO LA COMPARACIÓN DEL TIEMPO DE COMPUTADORA PARA EL MÉTODO IV NO ES POSIBLE.

LOS DIFERENTES MAPAS Y LOS DATOS DE LA TABLA INDICAN CLARAMENTE LA SUPERIORIDAD DE REJILLA DEL MÉTODO III, RESPECTO A LOS OTROS EXAMINADOS, EN BASE A LA COMPARACIÓN DE LA EXACTITUD DE LA INTERPOLACIÓN EN LOS NODOS DE REJILLA.

SIN EMBARGO, LA EXACTITUD ES SÓLO UN ATRIBUTO DESEADO DE UN MÉTODO DE ENREJILLADO Y UN MÉTODO DE ENREJILLADO PARTICULAR PUEDE SER ESTIMADO COMO SUPERIOR A OTRO DEPENDIENDO DE LA APLICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS DATOS DISPONIBLES.

DISCUSION

EL MÉTODO CONSISTE DE LA MINIMIZACIÓN DE UNA FUNCIÓN OBJETO POR MÍNIMOS CUADRADOS, S, DE LA FORMA:

$$S = \sum_{i=1}^{N} (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

DONDE Y_i SON LOS VALORES EXPERIMENTALES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE. ASI PODEMOS DESCRIBIR EL ALGORITMO DE LA SIGUIENTE FORMA:

1. LAS ECUACIONES NORMALES SON OBTENIDAS HACIENDO:

$$\frac{\partial S}{\partial \hat{A}_j} = 0 \ , \quad J = 0, 1, 2, \ldots, M$$

Y ELIMINANDO LA ECUACIÓN:

$$\frac{\partial S}{\partial \hat{A}_0} = 0 \; ;$$

EN:

$$(\underline{F}^t \underline{F})\hat{A} = \underline{F}^t Y$$

DONDE:

$$\underline{F} = \begin{bmatrix} (F_{1,1} - \bar{F}_1) & (F_{1,2} - \bar{F}_2) \ldots\ldots\ldots & (F_{1,M} - \bar{F}_M) \\ (F_{2,1} - \bar{F}_1) & (F_{2,2} - \bar{F}_2) \ldots\ldots\ldots & (F_{2,M} - \bar{F}_M) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (F_{N,1} - \bar{F}_1) & (F_{N,2} - \bar{F}_2) \ldots\ldots & (F_{N,M} - \bar{F}_M) \end{bmatrix}$$

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} (Y_1 - \bar{Y}) \\ (Y_2 - \bar{Y}) \\ \vdots \\ (Y_N - \bar{Y}) \end{bmatrix} \qquad \underline{\hat{A}} = \begin{bmatrix} \hat{A}_1 \\ \hat{A}_2 \\ \hat{A}_3 \\ \vdots \\ \hat{A}_M \end{bmatrix}$$

CON:

$\underline{F}^t$ = TRANSPUESTA DE LA MATRIZ $\underline{F}$.

$\hat{Y}$ Y $\hat{F}_J$ = VALORES PRINCIPALES.

2. PARA EL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL, LAS ECUACIONES NORMALES SERAN LINEALES, CON LAS INCOGNITAS EN EL VECTOR $\hat{A}$. ASI, CUALQUIER ECUACIÓN ALGEBRAICA LINEAL APROPIADA COMO ESQUEMA DE SOLUCIÓN PUEDE SER USADA PARA RESOLVER PARA LOS COEFICIENTES DESCONOCIDOS, $\hat{A}_1$ A $\hat{A}_M$. $\hat{A}_0$ ES OBTENIDO A PARTIR DE:

$$\hat{A}_0 = \bar{Y} - \sum_{J=1}^{M} \hat{A}_J \bar{F}_J$$

3. DOS PRUEBAS SE OBTIENEN, REALIZADAS PARA DETERMINAR LA VALIDEZ DEL MODELO. PRIMERO, LA FUNCIÓN OBJETO POR MÍNIMOS CUADRADOS, S, ES EVALUADA. PARA UN AJUSTE PERFECTO ESTE VALOR DEBERÁ SER CERO. SEGUNDO, EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN MULTIPLE, R^2, PUEDE SER CALCULADO COMO:

$$R^2 = \frac{\text{SUMA DE CUADRADOS DEBIDA A LA REGRESIÓN (SUMSR).}}{\text{SUMA DE CUADRADOS DE CORRECCIÓN TOTAL (SUMST).}}$$

DONDE:

$$\text{SUMSR} \equiv \underline{A}^t (\underline{F}^t \underline{Y}) = \sum_{i=1}^{N} (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$$

$$\text{SUMST} \equiv \underline{Y}^t \underline{Y} = \sum_{i=1}^{N} (Y_i - \bar{Y})^2$$

EL VALOR DE R^2 ESTARÁ ENTRE 0 Y 1 CON $R^2 = 1$ CORRESPONDIENTE A UN AJUSTE PERFECTO.

ALGORITMO DE AJUSTE CUBICO POR MINIMOS CUADRADOS (ACMC)

ANTES DE PROCEDER AL TEMA DE ESTE ALGORITMO CONSIDERAMOS PERTINENTE DAR ALGUNOS CONCEPTOS O DEFINICIONES DEL TÉRMINO "SPLINE".

1. CUERDA FLEXIBLE Y LARGA USADA AL DIBUJAR UNA CURVA SUAVE.

2. LA CUERDA LARGA Y FLEXIBLE Y EL CURVIGRAFO ANALITICO SON USADOS ALGUNAS VECES EN LA RESIDUALIZACIÓN, LA CURVA SUAVE REPRESENTA AL REGIONAL, Y LA DIFERENCIA ENTRE LA CURVA SUAVE Y EL PERFIL DE ANOMALIA DE CAMPO REPRESENTA EL RESIDUAL.

3. UN ESQUEMA DE AJUSTE DE CURVAS QUE ASEGURA UN GRADO DE SUAVIDAD DESEADO A LA CURVA AJUSTADA.

UN "SPLINE" DE n-ESIMO ORDEN TIENE TODAS SUS DERIVADAS HASTA (n-1) CONTINUAS.

EN CONSECUENCIA UN "SPLINE" CUADRÁTICO TIENE UNA PRIMERA DERIVADA CONTÍNUA Y UN "SPLINE" CÚBICO TIENE SU PRIMERA Y SEGUNDA DERIVADAS CONTÍNUAS.

UNA VEZ CONSIDERADO EL SIGNIFICADO DEL TÉRMINO "SPLINE", ASI COMO EL CONCEPTO QUE SE TIENE DE ÉSTE, DIREMOS QUE AQUI LO ENTENDEMOS COMO UN AJUSTE.

UN ASPECTO IMPORTANTE DEL AJUSTE CÚBICO ORDINARIO RESULTA DE LAS CONDICIONES DE CONTINUIDAD DE LA FUNCIÓN Y SU PRIMERA Y SEGUNDA DERIVADAS EN CADA DATO (AHLBERG, J.H., 1967). CONSIGUIENTEMENTE, CUANDO ÉSTE METODO ES EMPLEADO PARA EL AJUSTE DE UNA CURVA, LA FUNCIÓN PASA A TRAVÉS DE CADA DATO. ESTA PROPIEDAD NO ES DESEABLE CUANDO UNO TRATA CON DATOS EXPERIMENTALES, LOS CUALES GENERALMENTE REPRESENTAN LA SUMA DEL VALOR "VERDADERO" DE ALGUNA FUNCIÓN Y ALGUN RUIDO ALEATORIO.

EL MÉTODO CLÁSICO PARA LA DETERMINACIÓN DE UNA FUNCIÓN DEFINIDA POR DATOS RUIDOSOS ES REALIZAR UN AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS (DANIEL, C., 1971). ÉSTE MÉTODO MINIMIZA EL CUADRADO DE LA DESVIACIÓN DE LA FUNCIÓN CALCULADA A PARTIR DE LOS DATOS ORIGINALES. ENTONCES DECIMOS QUE ESTE MÉTODO

TRABAJA BIEN CUANDO LA FUNCIÓN PUEDE SER EXPRESADA COMO UN POLINOMIO DE BAJO ORDEN O COMO UNA FUNCIÓN LINEAL EN EL AJUSTE DE PARAMETROS.

EN ESTE ALGORITMO LAS CONDICIONES DEL AJUSTE CÚBICO HAN SIDO - COMBINADAS CON EL CRITERIO DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA OBTENER ECUACIONES, LAS CUALES PERMITEN QUE UN CONJUNTO DE DATOS SEA - APROXIMADO POR UN AJUSTE CÚBICO EN EL SENTIDO DE LOS MÍNIMOS - CUADRADOS.

DERIVACION.

EL PROBLEMA A RESOLVER ES LA DERIVACIÓN DE UN CONJUNTO DE ECUACIONES QUE PERMITEN USAR FUNCIONES DE AJUSTE CÚBICO PARA APRO XIMAR UN CONJUNTO DE DATOS EN EL SENTIDO DE MÍNIMOS CUADRADOS. ES- TO ES, EN CADA REGIÓN DEL AJUSTE SERAN APROXIMADOS LOS DATOS DE ACUERDO AL CRITERIO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

CUANDO APLICAMOS EL CRITERIO DE MÍNIMOS CUADRADOS A UNA POR CIÓN DE DATOS DONDE SE DESEA AJUSTAR UNA FUNCIÓN CÚBICA DE UN ARGUMENTO, SE DEBEN SATISFACER LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

$$\frac{\partial Q_j}{\partial a_j} = \frac{\partial Q_j}{\partial b_j} = \frac{\partial Q_j}{\partial c_j} = \frac{\partial Q_j}{\partial d_j} = 0 \quad ; \text{ DONDE } j = 1$$

SÍ HAY UN NÚMERO DE REGIONES O PORCIONES DE DATOS, EN TORNO A LOS QUE SE APLICA EL CRITERIO DE MÍNIMOS CUADRADOS Q ESTA DE- FINIDA POR:

$$1 \ldots\ldots\ldots Q = \sum_{J=1}^{M} Q_j = \sum_{j=1}^{M} \left\{ \sum_{i=1}^{N_j} \left[Y_{ji} - a_j F_0(X_{ji}) - b_j F_1(X_{ji}) - c_j F_2(X_{ji}) - d_j F_3(X_{ji}) \right]^2 \right\}$$

DONDE M ES EL NÚMERO DE REGIONES, N_j ES EL NÚMERO DE PUNTOS EN LA REGIÓN j Y LAS F_k'S SON LAS FUNCIONES EMPLEADAS PARA - APROXIMAR LOS DATOS Y_{ji}.

CUANDO LAS CONDICIONES DE CONTINUIDAD SON APLICADAS EN LOS PUNTOS FRONTERA X_j, LAS SIGUIENTES RELACIONES ENTRE LOS COEFICIEN TES EN CADA REGIÓN SON OBTENIDAS:

$$a_j F_0(x_j) + b_j F_1(x_j) + c_j F_2(x_j) + d_j F_3(x_j) =$$

2..... $$= a_{j+1} F_0(x_j) + b_{j+1} F_1(x_j) + c_{j+1} F_2(x_j) + d_{j+1} F_3(x_j)$$

$$a_j F_0'(x_j) + b_j F_1'(x_j) + c_j F_2'(x_j) + d_j F_3'(x_j) =$$

3..... $$= a_{j+1} F_0'(x_j) + b_{j+1} F_1'(x_j) + c_{j+1} F_2'(x_j) + d_{j+1} F_3'(x_j)$$

$$a_j F_0''(x_j) + b_j F_1''(x_j) + c_j F_2''(x_j) + d_j F_3''(x_j) =$$

4..... $$= a_{j+1} F_0''(x_j) + b_{j+1} F_1''(x_j) + c_{j+1} F_2''(x_j) + d_{j+1} F_3''(x_j)$$

LAS ECUACIONES ANTERIORES PUEDEN SER RESUELTAS PARA a_{j+1}, b_{j+1}, c_{j+1} EN TÉRMINOS DE a_j, b_j, c_j, d_j Y d_{j+1}. ENTONCES, LAS ECUACIONES 2, 3 Y 4 PUEDEN SER REESCRITAS COMO:

5..... $$a_{j+1} = a_j + (d_j - d_{j+1}) A_j$$

6..... $$b_{j+1} = b_j + (d_j - d_{j+1}) B_j$$

7..... $$c_{j+1} = c_j + (d_j - d_{j+1}) C_j$$

DONDE:

8..... $$A_j = \frac{(F_3F_1' - F_3'F_1)(F_2'F_1'' - F_2''F_1') - (F_3'F_1'' - F_3''F_1')(F_2F_1' - F_2'F_1)}{(F_0F_1' - F_0'F_1)(F_2'F_1'' - F_2''F_1') - (F_0'F_1'' - F_0''F_1')(F_2F_1' - F_2'F_1)}$$

9..... $$B_j = \frac{(F_3F_0' - F_3'F_0)(F_2'F_0'' - F_2''F_0') - (F_3'F_0'' - F_3''F_0')(F_2F_0' - F_2'F_0)}{(F_1F_0' - F_1'F_0)(F_2'F_0'' - F_2''F_0') - (F_1'F_0'' - F_1''F_0')(F_2F_0' - F_2'F_0)}$$

10..... $$C_j = \frac{(F_3F_0' - F_3'F_0)(F_1'F_0'' - F_1''F_0') - (F_3'F_0'' - F_3''F_0')(F_1F_0' - F_1'F_0)}{(F_2F_0' - F_2'F_0)(F_1'F_0'' - F_1''F_0') - (F_2'F_0'' - F_2''F_0')(F_1F_0' - F_1'F_0)}$$

CUANDO LAS ECUACIONES 5, 6, 7 SON SUSTITUIDAS EN LA ECUACIÓN 1, Q ES OBTENIDA EN TÉRMINOS DE $a_1, b_1, c_1, d_1, d_2, \ldots d_M$.

TOMANDO LAS DERIVADAS PARCIALES DE Q CON RESPECTO A LOS COEFICIENTES E IGUALANDO LAS ECUACIONES RESULTANTES A CERO, TENEMOS UN CONJUNTO DE ECUACIONES SIMULTANEAS, LAS CUALES PUEDEN SER RESUELTAS PARA OBTENER LOS COEFICIENTES QUE MINIMIZAN EL ERROR EN EL SENTIDO DE MINIMOS CUADRADOS PARA LAS FRONTERAS SELECCIONADAS. CUANDO LAS ECUACIONES SE EXPRESAN EN NOTACIÓN MATRICIAL, RESULTA UN

ARREGLO CUADRADO Y SIMÉTRICO DE ORDEN 3+M. (EC. 11):

11

$$
\begin{array}{lll}
\sum_{j=1}^{M}\left(\sum_{i=1}^{N_j} F_0^2\right) & \sum_{j=1}^{M}\left(\sum_{i=1}^{N_j} F_0F_1\right) & \cdots\cdots \sum_{i=1}^{N_M} F_0 D_{M-1} \\
\sum_{j=1}^{M}\left(\sum_{i=1}^{N_j} F_0F_1\right) & \sum_{j=1}^{M}\left(\sum_{i=1}^{N_j} F_1^2\right) & \cdots\cdots \sum_{i=1}^{N_M} F_1 D_{M-1} \\
\sum_{j=1}^{M}\left(\sum_{i=1}^{N_j} F_0F_2\right) & \sum_{j=1}^{M}\left(\sum_{i=1}^{N_j} F_1F_2\right) & \cdots\cdots \sum_{i=1}^{N_M} F_2 D_{M-1} \\
\sum_{i=1}^{N_1} F_0D_0 + \sum_{j=2}^{M}\left(\sum_{i=1}^{N_j} F_0E_0\right) & \sum_{i=1}^{N_1} F_1D_0 + \sum_{j=2}^{M}\left(\sum_{i=1}^{N_j} F_1E_0\right) & \cdots\cdots \sum_{i=1}^{N_M} E_0 D_{M-1} \\
\sum_{i=1}^{N_2} F_0D_1 + \sum_{j=3}^{M}\left(\sum_{i=1}^{N_j} F_0E_1\right) & \sum_{i=1}^{N_2} F_1D_1 + \sum_{j=3}^{M}\left(\sum_{i=1}^{N_j} F_1E_1\right) & \cdots\cdots \sum_{i=1}^{N_M} E_1 D_{M-1} \\
\vdots & & \vdots \\
\sum_{i=1}^{N_{M-1}} F_0 D_{M-2} + \sum_{i=1}^{N_M} F_0 E_{M-2} & \sum_{i=1}^{N_{M-1}} F_1 D_{M-2} + \sum_{i=1}^{N_M} F_1 E_{M-2} & \cdots\cdots \sum_{i=1}^{N_M} E_{M-2} D_{M-1} \\
\sum_{i=1}^{N_M} F_0 D_{M-1} & \sum_{i=1}^{N_M} F_1 D_{M-1} & \cdots\cdots \sum_{i=1}^{N_M} D_{M-1}^2
\end{array}
$$

DONDE D_j Y E_j SON DEFINIDOS COMO SIGUE:

12...... $$D_j = F_3(X_{ji}) - A_j F_0(X_{ji}) - B_j F_1(X_{ji}) - C_j F_2(X_{ji})$$

13...... $$E_j = (A_{j+1} - A_j) F_0(X_{ji}) + (B_{j+1} - B_j) F_1(X_{ji}) + (C_{j+1} - C_j) F_2(X_{ji})$$

PARA LAS CUALES: $A_0 = B_0 = C_0 = 0$

DISCUSION.

CUANDO $M=1$ Y $F_j = X^j$, LA MATRIZ EN LA ECUACIÓN 11 SE REDUCE A LA MATRIZ OBTENIDA POR UN POLINOMIO CÚBICO DE MINIMOS CUADRADOS QUE APROXIMA AL CONJUNTO DE DATOS. SÍ $M=N-1$ EL PROCEDIMIENTO AJUSTA LOS DATOS CON UN AJUSTE CÚBICO ORDINARIO CON AMARRES EN CADA DATO. ESTE RESULTADO PUEDE SER VISTO COMO SIGUE: SÍ TENEMOS TRES PUNTOS DATO Y QUEREMOS AJUSTAR UN POLINOMIO CÚBICO ENTRE LOS DATOS, SE OBTIENEN LAS ECUACIONES SIGUIENTES, PARA LOS PUNTOS EXTREMOS:

14...... $a_1 F_0(X_1) + b_1 F_1(X_1) + c_1 F_2(X_1) + d_1 F_3(X_1) = Y_1$

15...... $a_2 F_0(X_3) + b_2 F_1(X_3) + c_2 F_2(X_3) + d_2 F_3(X_3) = Y_3$

LOS COEFICIENTES SE RELACIONAN POR LAS SIGUIENTES ECUACIONES OBTENIDAS A PARTIR DE LAS ECUACIONES 5, 6 Y 7:

16...... $a_2 = a_1 + (d_1 - d_2) A_1(X_2)$

17...... $b_2 = b_1 + (d_1 - d_2) B_1(X_2)$

18...... $c_2 = c_1 + (d_1 - d_2) C_1(X_2)$

LAS ECUACIONES 14, 15 Y LA ECUACIÓN PARA Y_2 SON RESUELTAS AL CONSIDERARLAS EN LA FORMA DE LA ECUACIÓN 1 Y TOMANDO LAS DERIVADAS PARCIALES CON RESPECTO A LOS COEFICIENTES a_1, b_1, c_1, d_1 Y d_2. LAS ECUACIONES RESULTANTES PUEDEN SER PUESTAS EN LA MISMA FORMA QUE EN LA ECUACIÓN 11, EXCEPTO QUE AHORA LA SUMATORIA ES HECHA SOBRE j. ESTE ANÁLISIS PUEDE SER EXTENDIDO A MÁS DE TRES PUNTOS.

EXAMINANDO LA MATRIZ, LA CUAL DEBE SER INVERTIDA PARA EL AJUSTE CÚBICO POR MINIMOS CUADRADOS (ACMC), VIENE A ACLARAR QUE HAY M+3 INCOGNITAS, ENTONCES UN ACMC CUANDO $F_K = X^K$, DEBERIA SER APROXIMADAMENTE IGUAL A UN POLINOMIO DE ORDEN M+2. LA FIGURA 1 ES UNA COMPARACIÓN DEL ACMC CON CINCO REGIONES Y UN POLINOMIO DE ORDEN SIETE. PARECE QUE AMBOS AJUSTES SON LOS MISMOS. SUS DERIVADAS (FIGURA 2) MUESTRAN SOLAMENTE POCAS DISCREPANCIAS EXCEPTO EN LOS VALORES MÁS BAJOS DE X. LA APROXIMACIÓN POLINOMIAL FUE OBTENIDA APLICANDO UN AJUSTE DE POLINOMIO ORTOGONAL USANDO EL MÉTODO DESCRITO POR FORSYTHE, G.E. (1957).

LA FIGURA 3 ES LA GRAFICA DE LOS DATOS DE LA FIGURA 1, CON DOS ACMC, UNO DE LOS CUALES TIENE DOS REGIONES Y EL OTRO CINCO

REGIONES. AUNQUE LAS FUNCIONES NO APARECEN DIFERENTES, LAS DERIVADAS (FIGURA 4) MUESTRAN UNA DIFERENCIA APRECIABLE CUANDO EL AJUSTE DE FUNCIONES FUE CALCULADO, LA DESVIACIÓN ESTANDARD FUE PEQUEÑA Y EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN MULTIPLE FUE GRANDE CON EL **ACMC** DE LAS CINCO REGIONES.

OTRA MANERA DE MEJORAR EL AJUSTE DEL MISMO NÚMERO DE REGIONES ES EMPLEAR OTRA FUNCIÓN PARA F_K TAL COMO LOS POLINOMIOS DE LEGENDRE O CHEVYSHEV. CUALQUIER ECUACIÓN QUE SATISFAGA LAS CONDICIONES EXPRESADAS EN LA ECUACIÓN 5 PUEDE SER USADA CON ESTA FORMULACIÓN. UNA SELECCIÓN PARTICULAR DE F_K PARA UNA SERIE DE DATOS PUEDE CONDUCIR A UNA MATRIZ DE COEFICIENTES MÁS ESTABLE.

LOS RESULTADOS DE ESTOS CÁLCULOS PUEDEN SER MEJORADOS MOVIENDO LAS FRONTERAS. LA ADECUADA UBICACIÓN DE LAS FRONTERAS PUEDE AUMENTAR LA EXACTITUD DEL AJUSTE SIN AUMENTAR EL NÚMERO DE REGIONES. UNA REGLA GENERAL EN LA DETERMINACIÓN DE LAS FRONTERAS ES RECORDAR QUE EL MÉTODO AJUSTA UNA FUNCIÓN CÚBICA ENTRE CADA CONJUNTO DE DATOS FRONTERA, ENTONCES LAS FRONTERAS DEBERÁN SER SELECCIONADAS EN TAL FORMA QUE LOS DATOS EN CADA REGIÓN PUEDEN SER APROXIMADOS POR UNA FUNCIÓN CÚBICA.

PARA LOS CASOS QUE HAN SIDO CALCULADOS CON EL **ACMC** EL MÉTODO ES ESTABLE, AUNQUE LA MATRIZ EN LA ECUACIÓN 11 NO ES DIAGONALMENTE DOMINANTE EN LOS CASOS QUE HAN SIDO CALCULADOS NO HA SIDO PROBLEMA CON LA INVERSIÓN DE MATRIZ, AUNQUE FUERAN USADAS DIEZ REGIONES. EL DESPLAZAMIENTO DE LAS FRONTERAS NO CAUSA UNA INESTABILIDAD EN EL MÉTODO, Y SOLO HAY CAMBIOS MENORES EN EL AJUSTE.

CONCLUSION.

LA EXACTITUD Y FACILIDAD DEL **ACMC** ES DE UTILIDAD EN MUCHOS CASOS DONDE LAS MEDICIONES DEBEN SER DIFERENCIADAS. EL AJUSTE CÚBICO ORDINARIO TAMBIEN PROPORCIONA DERIVADAS SUAVES, PERO CON DATOS RUIDOSOS EL AJUSTE EN CADA DATO ES IRREAL, Y ESTO PRODUCE FLUCTUACIONES DE PENDIENTE NO DESEADAS. SÍ MUCHAS EVALUACIONES DE LA FUNCIÓN SON EJECUTADAS EL NÚMERO DE CALCULOS POR EVALUA-

CIÓN SE REDUCE, DADO QUE UNA FUNCIÓN CÚBICA, TIENE QUE SER EVALUADA. ENTONCES, BAJO CIERTAS CONDICIONES, EL **ACME** ES UN MÉTODO ADECUADO PARA APROXIMAR Y DIFERENCIAR UNA SERIE DE DATOS EXPERIMENTALES.

ALGORITMO DE REDUCCION AL POLO

AUN CONSIDERANDO UN CUERPO UNIFORMEMENTE MAGNETIZADO, LA FORMA DE LA ANOMALIA DEPENDE NO SOLO DE LAS DIMENSIONES FISICAS DEL CUERPO, SINO TAMBIEN DEL VECTOR DEL CAMPO TOTAL TERRESTRE Y DEL VECTOR DE POLARIZACIÓN ASOCIADO AL CUERPO MAGNÉTICO. LA MARCADA INFLUENCIA DE ESTOS VECTORES PROVOCA QUE LA ANOMALIA NO SEA SIMÉTRICA CON RESPECTO A LA FUENTE QUE LA PROVOCA HACIENDO EL TRABAJO DE INTERPRETACIÓN MÁS DIFICIL. ESTAS CONSIDERACIONES NOS MUESTRAN QUE CUANDO NOS ENFRENTAMOS AL PROBLEMA DE LA INTERPRETACIÓN MAGNETOMÉTRICA, SERÁ VENTAJOSO EMPEZAR CON UNA TRANSFORMACIÓN QUE NOS PERMITA SUPRIMIR LA DISTORSIÓN Y HACER LA ANOMALIA MAGNÉTICA TAN CLARA COMO UNA ANOMALIA GRAVIMETRICA. 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 MATEMATICAMENTE PARA OBTENER LOS VALORES DEL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL QUE TENDRÍA ESTE MISMO CUERPO LOCALIZADO EN EL POLO NORTE MAGNÉTICO (BARANOV, 1957 Y 1964; BHATTACHARYYA, 1965).

LA INTERPRETACIÓN CUALITATIVA DE LAS ANOMALIAS REDUCIDAS AL POLO MAGNÉTICO ES MÁS FÁCIL Y RÁPIDA DEBIDO A QUE LAS ANOMALIAS NO ESTAN 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 EXPLORACIÓN MAGNETOMÉTRICA REDUCIDOS AL POLO CON LA INFORMACIÓN GEOLOGICA 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 ANOMALIA GRAVIMETRICA REPRESENTA EL EFECTO COMBINADO DE LA DENSIDAD DEL MATERIAL MAGNÉTICO Y NO MAGNETICO. LA ANOMA

LIA MAGNETOMÉTRICA REDUCIDA AL POLO MAGNÉTICO EN SI NO ES UNA ANOMALIA GRAVIMÉTRICA; ES UNA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA CALCULADA - CONSIDERANDO QUE EL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN ES VERTICAL. DEBIDO A LO ANTES EXPUESTO, LAS ANOMALIAS REDUCIDAS AL POLO MAGNÉTICO SON LLAMADAS TAMBIEN "PSEUDOGRAVIMETRICAS".

LA INTERPRETACIÓN DE LAS ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS SE COMPLICA POR TRES CAUSAS. PRIMERA, EL CAMPO MAGNÉTICO TIENE TANTO FUERZAS DE ATRACCIÓN COMO DE REPULSIÓN. SEGUNDA, UNA ANOMALIA MAGNÉTICA PUEDE SER GENERADA TANTO POR INDUCCIÓN EN LA DIRECCIÓN - DEL CAMPO TERRESTRE, COMO POR MAGNETISMO REMANENTE, EL CUAL PUEDE ESTAR ORIENTADO EN OTRA DIRECCIÓN. MUCHOS AUTORES HAN DEMOSTRADO QUE EL MAGNETISMO REMANENTE PUEDE SER UN CONTRIBUYENTE SIGNIFICATIVO O DOMINANTE PARA EL CAMPO ANOMALO (HAYES Y SCHARON, 1963); (PARK, 1968). SIN EMBARGO, YA QUE NO SE DISPONE DE INFORMACIÓN CONFIABLE SOBRE EL MAGNETISMO REMANENTE, SE SUPONE QUE LAS ANOMALIAS SON CAUSADAS COMPLETAMENTE POR INDUCCIÓN. LA TERCERA COMPLICACIÓN SON LA INCLINACIÓN Y DECLINACIÓN DEL CAMPO TERRESTRE INDUCIDO. ESTAS PRODUCEN LA DISTORSIÓN DE LA ANOMALIA MAGNÉTICA, SIENDO EL GRADO DE DISTORSIÓN UNA FUNCIÓN DE LA LATITUD MAGNÉTICA.

BARANOV (1957) Y BARANOV Y NAUDY (1964) DESARROLLARÓN UNA TÉCNICA PARA VENCER ESTE PROBLEMA POR TRANSFORMACIÓN MATEMÁTICA DE LA INTENSIDAD DE CAMPO TOTAL A UN CAMPO VERTICAL EQUIVALENTE. NO OBSTANTE QUE EL DESCUBRIMIENTO DE BARANOV FUE DE SIGNIFICADO TEÓRICO CONSIDERABLE, ESTA APLICACIÓN PRÁCTICA NO FUE GENERALMENTE SATISFACTORIA.

BHATTACHARYYA (1965) PROPUSO UNA FORMULACIÓN ALTERNATIVA QUE ELIMINABA MUCHAS DE LAS RESTRICCIONES DEL METODO DE BARANOV. EXPRESÓ PRIMERO LA INTENSIDAD DE CAMPO TOTAL COMO UNA DOBLE SERIE - DE FOURIER SOBRE UNA REJILLA RECTANGULAR. LA INTEGRACIÓN DOBLE PUEDE SER HECHA ENTONCES ANALITICAMENTE, Y EL MAGNETISMO REMANENTE, SI SE CONOCE, PUEDE SER INCLUIDO FACILMENTE. EL MÉTODO ES APLICABLE PARA DATOS DE CUALQUIER LATITUD MAGNÉTICA.

DISCUSION

LA SIGUIENTE DISCUSIÓN PRESENTA UN ALGORITMO SIMPLE QUE REDUCE EL TIEMPO DE COMPUTACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL CAMPO REDUCIDO AL POLO USANDO LA DOBLE SERIE DE FOURIER.

LAS DOBLES SERIES DE FOURIER FORMULADAS PARA REJILLAS RECTANGULARES USADAS AQUI SON:

1...

$$T_{ij} = \sum_{m=0}^{M} \sum_{n=0}^{N} \Big(A_{mn} \cos(2\pi mi/K) \cos(2\pi nj/L) + B_{mn} \operatorname{sen}(2\pi mi/K) \cos(2\pi nj/L) + C_{mn} \cos(2\pi mi/K) \operatorname{sen}(2\pi nj/L) + D_{mn} \operatorname{sen}(2\pi mi/K) \operatorname{sen}(2\pi nj/L) \Big)$$

DONDE:

T_{ij} ≡ EL CAMPO MAGNÉTICO EN EL PUNTO (i, j)

K ≡ NÚMERO DE RENGLONES EN LA REJILLA (DIRECCIÓN i)

L ≡ NÚMERO DE COLUMNAS EN LA REJILLA (DIRECCIÓN j)

M ≡ MÁXIMO NÚMERO DE ARMÓNICAS EN LA DIRECCIÓN i.

N ≡ MÁXIMO NÚMERO DE ARMÓNICAS EN LA DIRECCIÓN j.

A, B, C, D ≡ COEFICIENTES DE LA SERIE.

LOS COEFICIENTES ESTAN DADOS POR (JAMES, 1966):

2....

$$A_{mn} = (W/KL) \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{L-1} T_{ij} \cos a \cos b$$

$$B_{mn} = (W/KL) \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{L-1} T_{ij} \operatorname{sen} a \cos b$$

$$C_{mn} = (W/KL) \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{L-1} T_{ij} \cos a \operatorname{sen} b$$

$$D_{mn} = (W/KL) \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{L-1} T_{ij} \operatorname{sen} a \operatorname{sen} b$$

DONDE:

$a = 2\pi mi/K$; $b = 2\pi nj/L$

$W = 1$, SÍ $m = 0, M$ Y $n = 0, N$

$W = 2$, SÍ $m = 0, M$ Ó $n = 0, N$

$W = 4$, SÍ $m \neq 0, M$ Y $n \neq 0, N$

LA ECUACIÓN 1 ES UNA REPRESENTACIÓN DEL CAMPO EN EL PLANO DE DATOS. ANTES QUE EL CAMPO PUEDA SER REDUCIDO AL POLO, LA DOBLE SERIE DEBE SER MULTIPLICADA POR EL TÉRMINO DE ATENUACIÓN:

$$\exp\left\{-(d-z)(K_m^2+K_n^2)\right\}^{1/2}$$

DONDE:

$d \equiv$ ES LA PROFUNDIDAD DE LA FUENTE.

$z \equiv$ ES EL PLANO DE OBSERVACIÓN (MEDIDO POSITIVAMENTE HACIA ABAJO).

$K_m = 2\pi m/K(\Delta X)$; $K_n = 2\pi n/K(\Delta Y)$

ΔX Y $\Delta Y \equiv$ LOS INTERVALOS DE LA REJILLA EN LAS DIRECCIONES i, j, RESPECTIVAMENTE.

PUESTO QUE d ES INCOGNITA, CONSTANTE Y SEPARABLE, ES INCLUIDA COMO PARTE DE LOS COEFICIENTES DE LA SERIE, DEJANDO UN FACTOR DE ATENUACIÓN DE:

$$\exp\left\{\ z(K_m^2+K_n^2)\right\}^{1/2}$$

SÍ LAS ANOMALIAS MAGNÉTICAS ESTAN LIMITADAS A FUENTES DE INDUCCIÓN SOLAMENTE, LA ECUACIÓN DE BHATTACHARYYA PARA EL CAMPO REDUCIDO AL POLO ES EQUIVALENTE A:

$$3\ldots\ldots\quad T_{ij} = (1/2\ \mathrm{sen}^2\theta)\sum_{m=0}^{M}\sum_{n=0}^{N}(K_m^2+K_n^2)\Big(P_{mn}(\cos a\cos b-\mathrm{sen}\,a\ \mathrm{sen}\,b)+ Q_{mn}(\mathrm{sen}\,a\cos b+\cos a\ \mathrm{sen}\,b)+ R_{mn}(\cos a\cos b+\mathrm{sen}\,a\ \mathrm{sen}\,b)+ S_{mn}(\mathrm{sen}\,a\cos b-\cos a\ \mathrm{sen}\,b)\Big)$$

DONDE:

$$P_{mn} = \left\{1/(G_{mn}^2+Y_3^2)^2\right\}\left\{(G_{mn}^2-Y_3^2)(A_{mn}-D_{mn})+2G_{mn}Y_3(B_{mn}+C_{mn})\right\}$$

$$Q_{mn} = \left\{1/(G_{mn}^2 + Y_3^2)^2\right\}\left\{-2G_{mn}Y_3(A_{mn} - D_{mn}) + (G_{mn}^2 - Y_3^2)(B_{mn} + C_{mn})\right\}$$

$$R_{mn} = \left\{1/(G_{mn}^2 + Y_4^2)^2\right\}\left\{(G_{mn}^2 - Y_4^2)(A_{mn} + D_{mn}) + 2G_{mn}Y_4(B_{mn} - C_{mn})\right\}$$

$$S_{mn} = \left\{1/(G_{mn}^2 + Y_4^2)^2\right\}\left\{-2G_{mn}Y_4(A_{mn}\ \ D_{mn}) + (G_{mn}^2 - Y_4)(B_{mn} - C_{mn})\right\}$$

$G_{mn}^2 = K_m^2 + K_n^2$

$Y_3 = \operatorname{ctn}\theta\,(K_m\cos\phi + K_n \operatorname{sen}\phi)$

$Y_4 = \operatorname{ctn}\theta\,(K_m\cos\phi - K_n \operatorname{sen}\phi)$

$\phi \equiv$ DECLINACIÓN DEL CAMPO INDUCIDO

$\theta \equiv$ INCLINACIÓN DEL CAMPO INDUCIDO

m, n NO SON AMBAS CERO. PARA ABREVIAR, LAS ECUACIONES MODIFICADAS PARA $\theta = 0°$ ó $180°$ NO SON INCLUIDOS EN ESTA DISCUSIÓN.

EL ARGUMENTO DE LA FUNCIÓN TRIGONOMÉTRICA ASOCIADO CON EL EJE i EN LAS ECUACIONES 2 Y 3 ES $(2\pi mi/K)$, DONDE $m = 0, 1, \ldots, K/2$ e $i = 0, 1, \ldots, (K-1)$. EL PRODUCTO mi CONTIENE REDUNDANCIAS QUE PUEDEN SER ELIMINADAS REEMPLAZANDO mi CON UN INDICE SIMPLE, $h = 0, 1, \ldots, K/2(K-1)$ QUE CUBRE EL RANGO COMPLETO DE LOS POSIBLES VALORES DE mi. AUNQUE ESTO ELIMINA REDUNDANCIAS, CREA UN IGUAL NÚMERO DE VALORES DE INDICE INTERMEDIOS NO REQUERIDOS. POR EJEMPLO, SÍ $K = 8$, ONCE ES UN VALOR LEGITIMO DE h, PERO ESTE NO ES UN PRODUCTO DE mi. ENTONCES mi ES UNA SUBSERIE DEL INDICE MÁS GENERAL h, O ALTERNATIVAMENTE $\operatorname{sen}(2\pi mi/K)$ ES UNA SUBSERIE DE $\operatorname{sen}(2\pi h/K)$. POR TANTO, UN INCREMENTO LINEAL DE h NO PUEDE SER SUSTITUIDO DIRECTAMENTE PARA LA DOBLE SUMATORIA DE m E i. ENTONCES, h ES UNA SERIE ÚNICA Y COMPLETA DE INDICES QUE PUEDEN SER USADOS PARA DEFINIR UN ARREGLO QUE CONTENGA TODAS LAS EVALUACIONES POSIBLES DE LA FUNCIÓN TRIGONOMÉTRICA.

LA FUNCIÓN SENO ES PERIÓDICA EN h CON PERIODO K.

SÍ $PK \leq h < (P+1)K$, DONDE P ES UN ENTERO, ASI SÍ $h_q = h - PK$, DE MODO QUE: $\operatorname{sen}(2\pi h/K) = \operatorname{sen}(2\pi h_q/K)$

ENTONCES, TODOS LOS VALORES DEL INDICE h DESPUES DEL PRIMER PERIODO DE LA FUNCIÓN PUEDEN SER REDUCIDOS A UN INDICE EQUIVA-

LENTE h_q DENTRO DEL PRIMER PERIODO. POR LO TANTO, $h_q = 0, 1, \ldots (K-1)$, ES OTRA SUBSERIE DE h Y DEFINE UNA SERIE COMPLETA DE EVALUACIONES DE $\text{sen}\,(2\pi h/K)$ Y POR CONSIGUIENTE DE $\text{sen}\,(2\pi m i/K)$. CONSECUENTEMENTE, DEBIDO A QUE EL SENO ES SIEMPRE CERO EN $h_q = 0$, SOLAMENTE $(K-1)$ FUNCIONES TRIGONOMÉTRICAS NECESITAN SER EVALUADAS PARA DEFINIR UNA TABLA COMPLETA DE SENOS PARA LA DIRECCIÓN i.

LOS TÉRMINOS DEL COSENO PUEDEN SER OBTENIDOS POR EXPANSIÓN, DANDO:

$$\cos\,(2\pi h/K) = \text{sen}\,(\pi/2 + 2\pi h/K) = \text{sen}\,(2\pi h'/K)$$

DONDE:

$$h' = K/2\pi\,(\pi/2 + 2\pi h/K) = K/4 + h$$

SÍ K ES REQUERIDO PARA SER UN MULTIPLO DE 4, h' ES UN ENTERO Y LA MAGNITUD DEL COSENO PARA EL INDICE h ES IGUAL A LAS MÁS ALTAS POSICIONES COMPLETAS EN LA TABLA DEL SENO. CONSECUENTEMENTE, UNA TABLA QUE CONTIENE $(K-1)$ CÁLCULOS TRIGONOMÉTRICOS REQUERIDOS, ES SUFICIENTE PARA EVALUAR TODOS LOS TÉRMINOS DEL SENO Y COSENO EN LA DIRECCIÓN i PARA AMBAS ECUACIONES 2 Y 3.

RELACIONES SIMILARES SE APLICAN EN LA DIRECCIÓN j. SÍ EL ARREGLO ES CUADRADO, ESTO ES $K = L$, LA MISMA TABLA PUEDE SER USADA PARA AMBAS DIRECCIONES. POR TANTO, LAS 105,580,200 EVALUACIONES TRIGONOMÉTRICAS PARA UN ARREGLO DE 100 × 100 HAN SIDO REDUCIDAS A 99, UTILIZANDO LA PERIODICIDAD DE LAS FUNCIONES TRIGONOMÉTRICAS PARA CONSTRUIR UNA TÁBLA DE MAPEO. LA TABLA SIGUIENTE ES UNA REPRESENTACIÓN DIAGRAMÁTICA DE LAS RELACIONES DE INDICES.

	Seno				Coseno			h_q, h'	
$h \backslash p$	0	1	2 ...	$h \backslash p$	0	1	2 ...		
0	K	$2K$			$3K/4$	$K+3K/4$		0	sen (0)
1	·	·			·	·		·	·
2	·	·			·	·		·	·
·	·	·			·	·		·	·
·	·	·			·	·		·	·

$K/4-1$	$K+K/4-1$	·	0	$K-1$	$2K-1$	$K/4-1$	$\mathrm{sen}\left(\frac{2\pi}{K}\left(\frac{K}{4}-1\right)\right)$
·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·		·	·
$K/2-1$	$K+K/2-1$	·	$K/4-1$	$K+K/4-1$		$K/2-1$	$\mathrm{sen}\left(\frac{2\pi}{K}\left(\frac{K}{2}-1\right)\right)$
·	·	·	·	·		·	·
·	·	·	·	·		·	·
·	·	·	·	·		·	·
$3K/4-1$	$K+3K/4-1$		$K/2-1$	$K+K/2-1$		$3K/4-1$	$\mathrm{sen}\left(\frac{2\pi}{K}\left(\frac{3K}{4}-1\right)\right)$
·	·	·	·	·		·	·
·	·	·	·	·		·	·
·	·	·	·	·		·	·
$K-1$	$2K-1$		$3K/4-1$	$K+3K/4-1$		$K-1$	$\mathrm{sen}\left(\frac{2\pi}{K}(K-1)\right)$

OPTIMIZACION

CON ALGUNOS CAMBIOS HA SIDO POSIBLE DISMINUIR EL TIEMPO DE UCP (UNIDAD CENTRAL DE PROCESO) EN UN 43% APROXIMADAMENTE A 399 SEGUNDOS DE UCP PARA LA MISMA SERIE DE DATOS DE ENTRADA. LA PRIMER CORRIDA HECHA CON EL PROGRAMA COMO FUE PUBLICADA, REQUIRIO 694 SEGUNDOS - DE ACTIVIDAD DE LA UCP ; LA SEGUNDA HECHA CON LA MISMA SERIE DE DATOS DESPUES DE LAS MODIFICACIONES QUE SE DETALLAN AQUI, REQUIRIO - 399 SEGUNDOS DE UCP. AMBAS CORRIDAS FUERÓN HECHAS BAJO EL SISTEMA OPERATIVO SCOPE 3.4.3 DESPUES DE LA COMPILACIÓN CON NIVEL 2 DE OPTIMIZACIÓN.

EFICIENCIA EN LA TRANSFERENCIA DE DATOS

SE NOTÓ QUE EN EL PROGRAMA ORIGINAL TODAS LAS TRANSFERENCIAS DE DATOS HACIA Y DESDE LAS SUBRUTINAS FUE HECHA VIA UNA LISTA DE ARGUMENTOS DE SUBRUTINA. ESTO ES GENERALMENTE MENOS EFICIENTE QUE LA TRANSFERENCIA VIA BLOQUES COMMON Y CON UNA GRAN CANTIDAD DE TRANSFERENCIA DE DATOS, COMO SE REQUIERE POR ESTE PRO-

GRAMA PUEDE CONTRIBUIR SIGNIFICATIVAMENTE EN EL TIEMPO DE PROCESAMIENTO. CAMBIANDO EL PROGRAMA PARA COLOCAR TODOS LOS ARGUMENTOS DE LAS SUBRUTINAS EN COMMON RESULTO UN DECREMENTO INMEDIATO DEL 10 % EN TIEMPO DE UCP PARA ESTE PROGRAMA.

EFICIENCIA DEL "DO LOOP"

EN EL PROGRAMA, LAS SUBRUTINAS COFIT Y VRTIC AMBAS CONTIENEN 4 "DO" PROFUNDOS, ANIDADOS INTERIORMENTE. EL NÚMERO DE PASOS A TRAVÉS DEL CIRCUITO INTERNO ES, EN CADA CASO DADO POR:

KXN * (KXN /2+1) * LYE * (LYE /2+1)

DONDE KXN Y LYE SON LA DIMENSIÓN DEL RENGLÓN Y COLUMNA DE LOS DATOS DE ENTRADA DE REJILLA. PARA UNA REJILLA DE 84 × 84, ESTE DIÓ APROXIMADAMENTE 13×10^6 PASOS A TRAVÉS DEL MÁS INTERIOR CIRCUITO PARA CADA UNA DE LAS SUBRUTINAS, ENTONCES LA ESCENCIA DE LAS RUTINAS DE ESOS CIRCUITOS INTERNOS DEBEN SER LOS FOCOS DE ATENCIÓN SI LA EFICIENCIA QUIERE SER MEJORADA.

SUBRUTINA COFIT

EL CIRCUITO INTERIOR DE LA SUBRUTINA COFIT COMIENZA CON LA DECLARACIÓN: "DØ 50 J=1, LYE" Y TÉRMINA EN "50 CØNTINUE".

ESTE CONTIENE ESCENCIALMENTE DOS PARTES: LA PRIMERA CONSISTE DE LAS CUATRO DECLARACIONES; (DESDE "KN = KN + NA" HASTA "NCØSI = KC − ((KC−1)/LYE) * LYE" INCLUSIVE). ESTOS CÁLCULOS DE LOS INDICES NCOSI Y NSINE LOS CUALES SON ESCENCIALMENTE FUNCIONES DE J, LA VARIABLE ITERADA. LA SEGUNDA PARTE CONSISTE DE LAS CUATRO DECLARACIONES:

```
ALPH1 = ALPH1 + VERTF(I,J) * SK(NCOSI) * SL(NCOSI)
BETA1 = BETA1 + VERTF(I,J) * SK(NSINE) * SL(NCOSI)
GAMA1 = GAMA1 + VERTF(I,J) * SK(NCOSI) * SL(NSINE)
DELT1 = DELT1 + VERTF(I,J) * SK(NSINE) * SL(NSINE)
```

COMO I, NCOSI Y NSINE NO CAMBIAN DENTRO DEL CIRCUITO INTERIOR, EL EFECTO DEL CIRCUITO ABIERTO PUEDE SER EXPRESADO COMO:

1C . . . . . $$ALPH1 = \sum_{j=1}^{LYE} V_j * S1_j * C1$$

2C......
$$BETA1 = \sum_{J=1}^{LYE} V_j * S1_j * C2$$

3C......
$$GAMA1 = \sum_{J=1}^{LYE} V_j * S2_j * C1$$

4C......
$$DELT1 = \sum_{J=1}^{LYE} V_j * S2_j * C2$$

DONDE:

V_j = VERTF(I,J)

$S1_j$ = SL(NCOSI)

$S2_j$ = SL(NSINE)

C1 = SK(NCOSI)

C2 = SK(NSINE)

COMO C1 Y C2 NO CAMBIAN DENTRO DEL CIRCUITO, LAS ECUACIONES 1C A 4C PUEDEN SER REESCRITAS COMO:

5C......
$$ALPHI = C1 * \sum_{J=1}^{LYE} V_j * S1_j$$

6C......
$$BETA1 = C2 * \sum_{J=1}^{LYE} V_j * S1_j$$

7C......
$$GAMA1 = C1 * \sum_{J=1}^{LYE} V_j * S2_j$$

8C......
$$DELT1 = C2 * \sum_{J=1}^{LYE} V_j * S2_j$$

COMO RESULTADO DE ESTA ETAPA, LA SUMATORIA EN LAS ECUACIONES · Y · AHORA, SON IDENTICAS, COMO SON AQUELLAS EN LAS ECUACIONES (Y , ESTO PERMITE LA REDUCCIÓN POSTERIOR DEL ALGORITMO A:

9C..... $A = \sum_{J=1}^{LYE} V_j * S1_j$ 10C....... $G = \sum_{J=1}^{LYE} V_j * S2_j$

11C...... ALPH1 = A * C1

12C...... BETA1 = A * C2

13C...... GAMA1 = G * C1

14C...... DELT1 = G * C2

LAS ECUACIONES 9C Y 10C REPRESENTAN AHORA, EL EFECTO DEL CIRCUITO INTERNO Y REEMPLAZAN LAS ECUACIONES 1C A 4C.

LAS ECUACIONES 11C A 14C REPRESENTAN EL ESTADO DE ALPH1, BETA1, ETC, DESPUES SOLO UNA EXHAUCIÓN DEL CIRCUITO INTERIOR, QUE ESTA DESPUES DE UNA CORRIDA A TRAVÉS DEL SIGUIENTE "LOOP" DE MAYOR ORDEN. EL ALGORITMO COMPLETO PARA EL CÁLCULO DE ESAS VARIABLES DESPUES DE LA EXHAUCIÓN DE AMBOS "LOOPS" (I-1, KXN; J-1, LYE) PUEDE SER EXPRESADA COMO:

$$ALPH1 = \sum_{I=1}^{KXN} C1_I * \sum_{J=1}^{LYE} VR_{(I,J)} * S1_J$$

$$BETA1 = \sum_{I=1}^{KXN} C2_I * \sum_{J=1}^{LYE} VR_{(I,J)} * S1_J$$

$$GAMA1 = \sum_{I=1}^{KXN} C1_I * \sum_{J=1}^{LYE} VR_{(I,J)} * S2_J$$

$$DELT1 = \sum_{I=1}^{KXU} C2_I * \sum_{J=1}^{LYE} VR_{(I,J)} * S1_J$$

DONDE: $VR_{(I,J)} = VERTF(I,J)$

SIGUIENDO ESTA LA CODIFICACIÓN FORTRAN PARA EXPRESAR ESTE ALGORITMO.

COMO PODEMOS VER LA ESCENCIA DEL CIRCUITO INTERNO EN SU SEGUNDA PARTE AHORA CONTIENE CUATRO RECÁLCULOS Y DOS MULTIPLICACIONES EN LUGAR DE LOS 12 RECÁLCULOS Y 8 MULTIPLICACIONES ORIGINALES. PARA LA SERIE DE DATOS EMPLEADA ESTO REPRESENTA SALVAR UN RECÁLCULO DE 10^8 Y 8×10^7 MULTIPLICACIONES APROXIMADAMENTE.

SUBRUTINA VRTIC

COMO EN LA SUBRUTINA COFIT, LA ESCENCIA DEL CIRCUITO INTERNO DE LA SUBRUTINA VRTIC ("DØ 50 I=1,NNN") CONTIENE DOS PARTES. LA PRIMERA CALCÚLA LOS DOS INDICES "NSINE" Y "NCOSI", LA SEGUNDA PARTE ESTÁ COMPUESTA DE LAS DECLARACIONES:

```
XCYC = SK(MCOSI) * SL(NCOSI)        ....(i)
XSYS = SK(MSINE) * SL(NSINE)        ....(ii)
XCYS = SK(MCOSI) * SL(NSINE)        ....(iii)
XSYC = SK(MSINE) * SL(NCOSI)        ....(iv)
```

Y:

```
VERTF(I,J) = VERTF(I,J) + A(M,N) * (XCYC - XSYS) +
                        + B(M,N) * (XSYC + XCYC) +
                        + C(M,N) * (XCYC + XSYS) +
                        + D(M,N) * (XSYC - XCYS)     ....(v)
```

SI LA DECLARACIÓN (V) ES EXPANDIDA SUSTITUYENDO PARA XCYC, XSYS, XCYS, XSYC A PARTIR DE LAS DECLARACIONES (I) A (IV) Y LOS PARAMETROS INVARIANTES EXCLUIDOS A PARTIR DE LA SUMATORIA DE MANERA SIMILAR AL TRATAMIENTO DE LA SUBRUTINA COFIT, ENTONCES LA COMPLEJIDAD DEL CÁLCULO DE ESTA PARTE DE LA ESCENCIA DEL CIRCUITO INTERNO PUEDE SER REDUCIDO POR MAS DEL 50%, ESTO ES:

	VERSIÓN ORIGINAL	NUEVA VERSIÓN
RECUPERACIÓN	21	14
SUMA /RESTA	8	8
MULTIPLICACIÓN	8	4
ALMACENAMIENTO	5	2

ALGORITMO DE FILTRADO Y TRANSFORMACION DE FUNCIONES POTENCIALES

1. ANALISIS DE TRANSFORMACIONES EN GEOFISICA APLICADA

HAY UNA AMPLIA OPINIÓN ACERCA DE LAS TRANSFORMACIONES INTEGRALES QUE SON USADAS EN GEOFÍSICA APLICADA, TAL COMO LA CONTINUACIÓN Y EL CÁLCULO DE LAS DERIVADAS PARCIALES VERTICAL U HORIZONTAL SON SÓLO FILTROS DE UN TIPO U OTRO. ASI, POR EJEMPLO, UN CAMPO DADO MEDIDO SOBRE EL PLANO XY CONSTITUYE LA ENTRADA A UN FILTRO Y EL CAMPO CALCULADO EN UN NIVEL $+h$ O $-h$ SU SALIDA; EL FILTRO POR SI MISMO ESTÁ CONSTITUIDO POR UNA FORMULA MATEMÁTICA O GENERALMENTE POR UN MÉTODO DE CÁLCULO, PERMITIENDO TRANSFORMACIONES DE UNA FUNCIÓN A OTRA.

ÉSTA TERMINOLOGIA PUEDE SER JUSTIFICADA CUANDO CONSIDERAMOS EL ENSAMBLE DE OPERACIONES NECESARIAS POR UNA TRANSFORMACIÓN DE CAMPO TAL COMO OCURRE EN LA PRÁCTICADA EN GEOFÍSICA APLICADA. ESTA TERMINOLOGÍA ES MÁS NATURAL YA QUE LA COMPUTACIÓN, ESTO ES EL FILTRO MISMO, INCLUYE UNA ETAPA INTERMEDIA, PASANDO A TRAVÉS DE LA FUNCIÓN ESPECTRAL. UNA TRANSFORMACIÓN DE FUNCIÓN EN UN SENTIDO AMPLIO SE DESCOMPONE EN UNA SERIE DE OPERACIONES PARCIALES. ALGUNAS DE ESTAS OPERACIONES SON FILTRADO EN TANTO QUE OTRAS NO LO SON. ANALIZAMOS ALGUNAS OPERACIONES PARA LO CUAL TOMAMOS COMO GUIA EL DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA SIGUIENTE FIGURA

OPERACIONES	RESULTADOS
MEDIDAS DE CAMPO	VALORES AISLADOS DE CAMPO DISTRIBUIDOS SEMI-ALEATORIAMENTE.
REGULARIZACIÓN	VALORES DE CAMPO EN PUNTOS SOBRE UNA REJILLA REGULAR.
CÁLCULO DE LA ANOMALÍA REGIONAL	ANOMALIA RESIDUAL
FILTRADO ADICIONAL	ANOMALIA RESIDUAL FILTRADA CON UN PASABANDAS CONVENIENTE
TRANSFORMACIÓN DE FUNCIÓN LINEAL.	CAMPO TRANSFORMADO.

DONDE LAS OPERACIONES SUCESIVAS SON INDICADAS A MANO IZQUIERDA Y LOS RESULTADOS DE ESAS OPERACIONES A LA DERECHA.

VEAMOS PRIMERO LAS MEDIDAS DE CAMPO; ESTA PRIMERA ETAPA PERMITE DEFINIR UNA FUNCIÓN $f(X,Y)$ EN UNA CIERTA REGIÓN DEL PLANO XY. GENERALMENTE LAS MEDIDAS SON HECHAS EN PUNTOS AISLADOS MÁS O MENOS REGULARMENTE ESPACIADOS EN UN INTERVALO PROMEDIO DEPENDIENDO DEL ESTUDIO GEOFÍSICO. EL RESULTADO ES QUE LA FUNCIÓN $f(X,Y)$ NO ESTÁ PERFECTAMENTE DEFINIDA; Y, PARA DEFINIRLA COMPLETAMENTE EN CADA PUNTO $P(X,Y)$, DEBEMOS ADOPTAR LA CONSIDERACIÓN ADICIONAL DE QUE $f(X,Y)$ ES UNA FUNCIÓN CON ESPECTRO LIMITADO. SÍ N ESTACIONES MEDIDAS SON DISTRIBUIDAS SOBRE UNA SUPERFICIE DE S UNIDADES, LA DISTANCIA MEDIA QUE SEPARA A ESTACIONES VECINAS ES $\sqrt{S/N}$. LA SERIE DE MEDIDAS DEFINE UNA FUNCIÓN CUYO ESPECTRO ES CONTENIDO EN UN CUADRADO $\pi\sqrt{N/S}$ POR LADO. ENTONCES LA OPERACIÓN DE MEDICIÓN CONSTITUYE UN FILTRAJE IMPLICITO.

EL OBJETIVO DE LA SEGUNDA OPERACIÓN A LA QUE LLAMAMOS "REGULARIZACIÓN" ES SIMPLEMENTE EL CÁLCULO DE LOS VALORES DE LA FUNCIÓN $f(X,Y)$ EN PUNTOS CUYO ESPACIAMIENTO EN UNA REJILLA CUADRADA ES AQUEL QUE NOSOTROS HEMOS DEFINIDO.

POR OTRO LADO, LA TERCERA OPERACIÓN QUE ES EL CÁLCULO DE LA ANOMALIA REGIONAL PUEDE SER COMO UN FILTRADO RESTRICTIVO DEL ESPECTRO PARA SUS VALORES DE BAJAS FRECUENCIAS. LA ANOMALIA RESIDUAL ES NATURALMENTE DEFINIDA POR SUSTRACCIÓN DE LA ANOMALIA REGIONAL DEL CAMPO ORIGINAL.

LA OPERACIÓN DE FILTRADO ESTÁ EXPRESADA POR UNA INTEGRAL Y PUEDE SER CONSIDERADA COMO UNA TRANSFORMACIÓN PARTICULAR, PERO ESTO ES LA TRANSFORMACIÓN SOLAMENTE CUYO SOLO PROPÓSITO ES MODIFICAR EL CONTENIDO ESPECTRAL. CONSIDERAREMOS POR CONSIGUIENTE EL FILTRADO COMO UNA OPERACIÓN POR SEPARADO.

EN REALIDAD, SÍ LA TRANSFORMACIÓN ES EL CÁLCULO DE UNA DERIVADA, NO HAY RAZÓN PARA LLAMARLA FILTRADO; UNA DERIVADA NO CAMBIA EL CONTENIDO DE FRECUENCIA DEL ESPECTRO. SÍ LA TRANSFORMACIÓN ES UNA INTEGRAL, POR EJEMPLO DE UNA CONTINUACIÓN, LA INTEGRACIÓN DEBE SER SUFICIENTEMENTE PRECISA PARA HACER EL CÁLCULO REVERSIBLE. LA FORMA DE LA FUNCIÓN ESPECTRAL PODRIA SER MODIFICADA, PERO SU CONTENIDO DE FRECUENCIA NO DEBE VARIAR.

2. FILTRADO

HEMOS VISTO QUE LA CONVOLUCIÓN EXPRESADA POR LA FÓRMULA

(1)... $$f(x) = F(x) * \frac{\operatorname{sen}(\pi x/a)}{\pi x}$$

TIENE EL EFECTO DE REEMPLAZAR LA FUNCIÓN $F(x)$ CON UN ESPECTRO ARBITRARIO POR UNA FUNCIÓN $f(x)$ CUYO ESPECTRO NO EXCEDE A π/a EN VALOR ABSOLUTO. CONSIDEREMOS AHORA FUNCIONES DE DOS VARIABLES. VEREMOS QUE ÉSTE MISMO PROCESO ES APLICABLE, Y QUE EL RESULTADO DE LA CONVOLUCIÓN CON DOS VARIABLES ES UNA FUNCIÓN $f(x,y)$ CON ESPECTRO LÍMITADO APROXIMADA A LA FUNCIÓN DADA $F(x,y)$ EN EL SENTIDO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

CONSIDEREMOS

(2)... $$f(x,y) = \sum_k \sum_n X_{kn} E_k(x/a) E_n(y/a)$$

Y TRATEMOS DE DETERMINAR LOS COEFICIENTES DESCONOCIDOS $X_{kn} = f(ka, na)$, TAL QUE LA INTEGRAL

$$I = \iint \left[f(\xi,\eta) - F(\xi,\eta) \right]^2 d\xi d\eta$$

SEA MINIMA.

HACIENDO LA DERIVADA DE I CON RESPECTO A X_{kn} IGUAL A CERO, OBTENEMOS:

$$\frac{\partial I}{\partial X_{kn}} = \iint \left[\sum_k \sum_n X_{kn} E_k(\xi/a) E_n(\eta/a) - F(\xi,\eta) \right] E_L(\xi/a) E_m(\eta/a) d\xi d\eta$$

FINALMENTE UTILIZANDO LA ORTOGONALIDAD DE LAS FUNCIONES MUESTRA "E" EXPRESADA POR:

$$\int E_k(x/a) E_n(x/a) dx = \begin{cases} a \dots & k=n \\ 0 \dots & k \neq n \end{cases}$$

ENCONTRAMOS LOS COEFICIENTES DESCONOCIDOS:

(3)... $$X_{kn} = (1/a^2) \iint F(\xi,\eta) E_k(\xi/a) E_n(\eta/a) d\xi d\eta$$

ESTA EXPRESIÓN PUEDE SER SUSTITUIDA EN LA EXPANSIÓN (2) PARA OBTENER:

$$f(x,y) = \frac{1}{Q^2} \iint F(\xi,\eta) \sum_k E_k(x/Q)\, E_k(\xi/Q) \sum_n E_n(y/Q) E_n(\eta/Q)\, d\xi\, d\eta$$

SABIENDO QUE, LAS SIGUIENTES PROPIEDADES SON VÁLIDAS:

$$\sum_k E_k(x/Q)\, E_k(\xi/Q) = E_0((x-\xi)/Q)$$

Y

$$\sum_n E_n(y/Q)\, E_n(\eta/Q) = E_0((y-\eta)/Q)$$

ENTONCES;

(4)... $$f(x,y) = \frac{1}{Q^2} \iint F(\xi,\eta)\, E_0((x-\xi)/Q)\, E_0((y-\eta)/Q)\, d\xi\, d\eta$$

ESTA EXPRESIÓN ES ANALOGA A LA EC. (1) Y PUEDE SER ESCRITA COMO:

(5)... $$f(x,y) = F(x,y) * \left[\frac{1}{Q} E_0(x/Q)\ \frac{1}{Q} E_0(y/Q) \right]$$

CON REFERENCIA A LA FUNCIÓN $F(x,y)$, ÉSTA PUEDE SER DADA POR LA EXPANSIÓN:

(6)... $$F(x,y) = \sum_k \sum_n F(kq, nq)\ E_k(x/q)\, E_n(y/q)$$

SÍ EL INTERVALO q ES DEMASIADO PEQUEÑO, TAL QUE LA FUNCIÓN ESPECTRAL $F(\alpha,\beta)$ PUEDA SER DESPRECIADA PARA VALORES ABSOLUTOS MAYORES QUE π/q. ENTONCES SUSTITUYENDO (6) EN (5), ENCONTRAMOS QUE:

$$f(x,y) = \sum_k \sum_n F(kq, nq) \left\{ E_k(x/q) * E_0(x/Q)/Q \right\} \left\{ E_n(y/q) * E_0(y/Q)/Q \right\}$$

LAS CONVOLUCIONES EN ESTA EXPANSIÓN PUEDEN SER CALCULADAS USANDO LAS SIGUIENTES EXPRESIONES:

$$E_k(x/q) * E_0(x/Q)/Q = (q/Q)\, E_k(q/Q)(x/Q)$$
$$E_n(y/q) * E_0(y/Q)/Q = (q/Q)\, E_n(q/Q)(y/Q)$$

CONSECUENTEMENTE, LA EXPRESIÓN FINAL PARA $f(x,y)$ ES:

(7)... $$f(x,y) = (q/Q)^2 \sum_{(k)} \sum_{(n)} F(kq, nq)\ E_k(q/Q)(x/Q)\, E_n(q/Q)(y/Q)$$

AQUI $F(kq,nq)$ ES UNA FUNCIÓN MUESTRA DADA EN UN INTERVALO q TAN PEQUEÑO COMO SEA NECESARIO PARA DEFINIRLA BIEN. ESTA ES APROXIMADA EN EL SENTIDO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS POR LA FUNCIÓN $f(x,y)$, LLEGANDO A SUAVIZARSE TANTO CUANDO SE INCREMENTE EL RADIO Q/q. CONSECUENTEMENTE, ESTE RADIO PUEDE SER CONSIDERADO COMO UN SUAVIZADOR O UN PARAMETRO DE FILTRO PASA BAJAS. SI HACEMOS $Q/q = 1$, LA EC.(7) REGRESA A LA FUNCIÓN DADA $F(x,y)$. LA RELACIÓN Q/q ES AL MISMO TIEMPO UN PARAMETRO DE REGIONALIZACIÓN. SÍ ESTE VALOR ES GRANDE DEFINE UNA ANOMALIA REGIONAL.

FINALMENTE DEBEMOS RECORDAR QUE:

$$E_{k(q/Q)}(x/Q) = \frac{\operatorname{sen}(\pi/Q)(x-kq)}{(\pi/Q)(x-kq)}$$

3. COEFICIENTES DEL FILTRO

LA ECUACIÓN (7) HACE POSIBLES LOS CÁLCULOS POR SI MISMA RAPIDAMENTE. SIN EMBARGO, LOS CÁLCULOS NUMÉRICOS PUEDEN SER ACELERADOS GRANDEMENTE SÍ USAMOS UNA MATRIZ DE COEFICIENTES. ESTE MÉTODO ESTA BASADO EN LA REALIDAD DE QUE EL ORIGEN "O" DE COORDENADAS XY ES ARBITRARIO Y PUEDE SER SELECCIONADO COMO SE DESEE PARA CADA CÁLCULO PARCIAL.

POR CONSIGUIENTE LA ECUACIÓN (7) PUEDE SER USADA PARA CALCULAR $f(x,y)$ EN UN PUNTO SIMPLE $x=y=0$. ENTONCES, TRANSLADANDO EL ORIGEN SUCESIVAMENTE A CADA PUNTO EN EL PLANO π, CALCULAREMOS $f(x,y)$ EN CUALQUIER LUGAR, USANDO SOLAMENTE UNA MATRIZ. POR LO TANTO, HACIENDO $x=y=0$, LA ECUACIÓN (7) SE CONVIERTE EN:

$$(8)\ldots \qquad f(0,0) = \sum_{(k)}\sum_{(n)} F(kq,nq)\, \frac{\operatorname{sen} \pi kq/Q}{k\pi}\, \frac{\operatorname{sen} \pi nq/Q}{n\pi}$$

DEFINIREMOS LOS COEFICIENTES EN LA REJILLA, HACIENDO:

$$(9)\ldots \qquad C(k,n) = \frac{\operatorname{sen} \pi k(q/Q)}{k\pi}\, \frac{\operatorname{sen} \pi n(q/Q)}{n\pi}$$

LUEGO ENTONCES LA ECUACIÓN (7) LLEGA A SER:

$$f(0,0) = \sum_{(k)} \sum_{(n)} C(k,n)\, F(kq, nq) \qquad (10)...$$

ESTA ÚLTIMA ECUACIÓN MUESTRA QUE EL VALOR $f(0,0)$ EN EL CENTRO RESULTA DEL PRODUCTO DE DOS MATRICES C Y F. LA MATRIZ F ES DADA CUANDO LOS COEFICIENTES SON CALCULADOS UNA VEZ POR TODAS CUANDO EL RADIO Q/q QUEDE FIJO. TODAS LAS TRANSFORMACIONES FUNCIONALES QUE CONSIDERAREMOS PUEDEN SER REDUCIDOS DE MANERA ANALOGA A LA EC. (10).

CONTINUACION DE FUNCIONES ARMONICAS

1. CALCULO DE LOS COEFICIENTES.

EN GEOFÍSICA APLICADA, LA OPERACIÓN DE CONTINUACIÓN ES UNA TRANSFORMACIÓN LINEAL DE INTEGRAL LA CUAL ES APLICADA TANTO AL CAMPO GRAVITACIONAL COMO AL MAGNÉTICO, O LAS DERIVADAS DEL CAMPO. PARA MANTENER LA GENERALIDAD DESIGNAREMOS $U(x,y,0)$ O SIMPLEMENTE $U(x,y)$ COMO UNA FUNCIÓN MUESTRA ARBITRARIA SOBRE EL PLANO $z=0$. ENTONCES LA FUNCIÓN ARMÓNICA $U(x,y,z)$, LA CUAL TOMA EL VALOR $U(x,y)$ PARA $z=0$, ES EXPRESADA COMO:

$$U(x,y,z) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{\pi} \tilde{U}(\alpha,\beta)\, e^{-\gamma z - i\alpha x - i\beta y}\, d\alpha\, d\beta \qquad (1)...$$

DONDE $\tilde{U}(\alpha,\beta)$ ES LA TRANSFORMADA DE FOURIER

$$\tilde{U}(\alpha,\beta) = \iint e^{i\alpha x + i\beta y}\, U(x,y)\, dx\, dy \ ; \quad \text{CON: } \alpha^2+\beta^2=\gamma^2 \qquad (2)...$$

RECORDEMOS OTRA VEZ QUE $U(x,y)$ ES UNA FUNCIÓN CON ESPECTRO LIMITADO, PUESTO QUE ESTE ES DETERMINADO POR MEDICIONES HECHAS EN PUNTOS DISCRETOS. CONSECUENTEMENTE, SE SIGUE QUE TAL FUNCIÓN DEBE SER REPRESENTADA NATURALMENTE POR LA EXPANSIÓN:

$$(3)\ldots \qquad U(x,y) = \sum_{(k)}\sum_{(n)} U(kQ,nQ)\,E_k(x/Q)\,E_n(y/Q)$$

SU TRANSFORMADA DE FOURIER ES EXPRESADA COMO:

$$(4)\ldots \qquad U(\alpha,\beta) = Q^2 \sum_{(k)}\sum_{(n)} U(kQ,nQ)\,e^{kQ\alpha i + nQ\beta i}$$

EN EL CUADRADO $-\pi/Q \leqslant \alpha \ , \ \beta \leqslant \pi/Q$

ES POSIBLE SIN EMBARGO, SIMPLIFICAR ESTA ECUACIÓN TOMANDO AL INTERVALO DE REJILLA Q COMO LA UNIDAD DE LONGITUD, ENTONCES DEJAMOS A $Q=1$. INTRODUCIENDO LA EC. (4) EN LA EC (1). OBTENEMOS:

$$(5)\ldots \qquad U(x,y,z) = \sum_{(k)}\sum_{(n)} U(k,n)\ \frac{1}{4\pi^2}\iint e^{-\gamma z + (k-x)\alpha i + (n-y)\beta i}\, d\alpha\, d\beta$$

ESTA INTEGRACIÓN DEBE SER LLEVADA FUERA CONTENIENDO LOS LÍMITES - $-\pi < \alpha \ , \ \beta < \pi$

ESCRIBIENDO ESTA ECUACIÓN, NO HEMOS ESPECIFICADO LA POSICIÓN DEL ORIGEN. PODEMOS TRANSLADAR EL ORIGEN A PUNTOS SUCESIVOS SEPARADOS POR EL ESPACIAMIENTO $Q=1$ EN LA REJILLA CUADRADA. ESTA CANTIDAD EN CADA CASO HACIENDO $x=y=0$, HACE QUE LA EXPRESIÓN (5) LLEGUE A SER

$$(6)\ldots \qquad U(0,0,z) = \sum_{(k)}\sum_{(n)} U(k,n)\cdot \frac{1}{4\pi^2}\iint e^{-\gamma z + k\alpha i + n\beta i}\, d\alpha\, d\beta$$

ASI HEMOS LLEGADO A LA MATRIZ DE COEFICIENTES $C(k,n)$ POR LA CUAL DEBEMOS MULTIPLICAR LOS VALORES DADOS $U(k,n)$ EN PUNTOS DE LA REJILLA, PARA OBTENER LOS VALORES $U(0,0,z)$ DE LA FUNCIÓN CONTINUADA A LA ALTITUD z. ENTONCES, TENEMOS

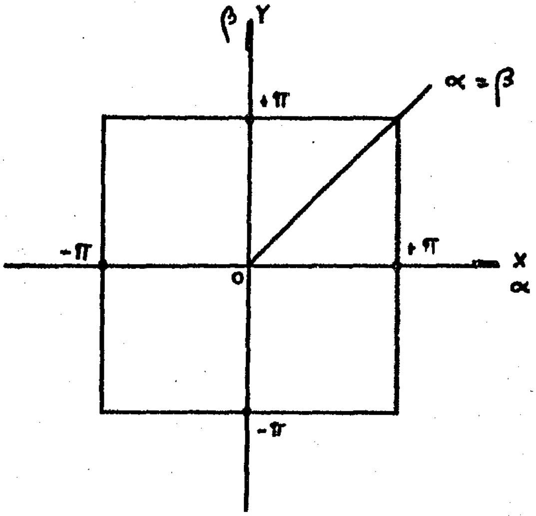
$$(7)\ldots \qquad U(0,0,z) = \sum_{k}\sum_{n} C(k,n)\,U(k,n)$$

CON:

$$(8)\ldots \qquad C(k,n) = \frac{1}{4\pi^2}\iint_{-\pi<\alpha\ \beta<\pi} e^{-\gamma z + k\alpha i + n\beta i}\, d\alpha\, d\beta$$

PODEMOS CONSIDERAR QUE LA REGIÓN DE INTEGRACIÓN CONSISTE DE CUATRO

CUADRADOS SIMÉTRICOS CON RESPECTO AL ORIGEN COMO SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE FIGURA



YA QUE DE ÉSTA SIMETRIA ES SUFICIENTE INTEGRAR SOLAMENTE SOBRE UNO DE ESTOS CUADRADOS ENTRE LOS LÍMITES $0<\alpha$, $\beta<\pi$. LA INTEGRAL (8) SE CONVIERTE EN:

(9)... $$C(k,n) = \frac{1}{4\pi^2}\iint e^{-\gamma z}\left(e^{k\alpha i+n\beta i} + e^{-k\alpha i+n\beta i} + e^{k\alpha i-n\beta i} + e^{-k\alpha i-n\beta i}\right)d\alpha\, d\beta =$$

$$= \frac{1}{4\pi^2}\iint_{0<\alpha,\ \beta<\pi} e^{-\gamma z}\cos k\alpha \cos n\beta\, d\alpha\, d\beta$$

DIVIDIMOS ESTE PEQUEÑO CUADRO EN DOS TRIANGULOS COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA ANTERIOR, DIBUJANDO EL BISECTOR $\alpha=\beta$. ENTONCES LA INTEGRAL LLEGA A SER LA SUMA DE DOS INTEGRALES CADA UNA SOBRE UNO DE LOS TRIANGULOS:

$$C(k,n) = \frac{1}{\pi^2}\int_0^{\pi}\cos k\alpha\, d\alpha\int_0^{\alpha} e^{-\gamma z}\cos n\beta\, d\beta + \frac{1}{\pi^2}\int_0^{\pi}\cos n\beta\, d\beta\int_0^{\beta} e^{-\gamma z}\cos k\alpha\, d\alpha$$

DADO QUE ES VALIDO INTERCAMBIAR LAS VARIABLES DE INTEGRACIÓN α Y β, HAREMOS ÉSTE CAMBIO EN LA SEGUNDA INTEGRAL PARA QUE TENGA LOS MISMOS LÍMITES. ESTO CONDUCE A LA ECUACIÓN

$$(10)\ldots \qquad C(k,n) = \frac{1}{\pi^2}\int_0^{\pi} d\alpha \int_0^{\alpha} e^{-\delta z}\left(\cos k\alpha \cos n\beta + \cos n\alpha \cos k\beta\right) d\beta$$

AHORA CAMBIEMOS VARIABLES SUSTITUYENDO αu POR β PARA HACER QUE LA EC. (10) LLEGUE A SER:

$$C(k,n) = \frac{1}{\pi^2}\int_0^{\pi} \alpha\, d\alpha \int_0^{1} e^{-\alpha z\sqrt{1+u^2}}\left(\cos k\alpha \cos nu\alpha + \cos n\alpha \cos ku\alpha\right) du$$

AHORA PODEMOS INTERCAMBIAR LAS INTEGRALES

$$C(k,n) = \frac{1}{\pi^2}\int_0^{1} du \int_0^{\pi} e^{-\alpha z\sqrt{1+u^2}}\left(\cos k\alpha \cos n\alpha u + \cos n\alpha \cos k\alpha u\right) \alpha\, d\alpha$$

LA INTEGRACIÓN CON RESPECTO A α ES ELEMENTAL. SIN EMBARGO NOTEMOS QUE LA SUMA EN EL PARENTESIS ES IGUAL A:

$$\frac{1}{2}\cos(k+nu)\alpha + \frac{1}{2}\cos(k-nu)\alpha + \frac{1}{2}\cos(n+ku)\alpha + \frac{1}{2}\cos(n-ku)\alpha$$

Y QUE CONSECUENTEMENTE LA VARIABLE u RECORRE TODO EL SEGMENTO DE -1 A $+1$. ENTONCES PODEMOS RETENER SOLAMENTE DOS TÉRMINOS DE ÉSTA SUMA, PERO INTEGRANDO SOBRE u, DESDE -1 A $+1$. ESTA LLEGA A SER:

$$C(k,n) = \frac{1}{2\pi^2}\int_{-1}^{+1} du \int_0^{\pi} e^{-\alpha z\sqrt{1+u^2}}\left[\cos(k+nu)\alpha + \cos(ku+n)\alpha\right]\alpha\, d\alpha$$

UNA FUNCIÓN DESIGNADA POR $cf(\tau)$ Y DEFINIDA POR:

$$cf(\tau) = \frac{1}{2\pi^2}\int_0^{\pi} e^{-\alpha z\sqrt{1+u^2}}\left(\cos \tau\alpha\right)\alpha\, d\alpha$$

APARECE DOS VECES: UNA VEZ CON $\tau = k+nu$ Y UNA SEGUNDA CON $\tau = ku+n$. SIN EMBARGO, ES MÁS PRÁCTICO DEFINIR UNA FUNCIÓN COMPLEJA

$$\frac{1}{2\pi^2}\int_0^{\pi} e^{\sigma\alpha}\alpha\, d\alpha \doteq \left(\frac{1}{2\pi\sigma} - \frac{1}{2\pi^2\sigma^2}\right)e^{\pi\sigma} + \frac{1}{2\pi^2\sigma^2} = cf(\tau) + i\, sf(\tau)$$

DONDE $\sigma = -2\sqrt{1+u^2} + \tau i$ Y USAR UNA CALCULADORA PARA SEPARAR LA PARTE REAL. USANDO ESTA NOTACIÓN, LA EXPRESIÓN PARA LOS COEFICIENTES ES ESCRITA COMO:

$$C(k,n) = \int_{-1}^{+1} \left[C f(k+nu) + C f(n+ku) \right] du$$

PARA EFECTUAR ÉSTA CUADRATURA HEMOS USADO SUCESIVAMENTE EL MÉTODO DE INTEGRACIÓN DE ROMBERG.

SÍ LA FUNCIÓN DADA $U(x,y)$ ES UNA CONSTANTE, LA CONTINUACIÓN REPRODUCE LA MISMA CONSTANTE. ESTA OBSERVACIÓN NOS DA LA RELACIÓN:

$$\sum_{k} \sum_{n} C(k,n) = 1$$

FINALMENTE, NOTEMOS LA SIGUIENTE SIMETRIA, OBVIA:

$$C(+k,+n) = C(-k,n) = C(-k,-n) = C(+n,+k) = \ldots$$

DERIVADAS DE FUNCIONES ARMONICAS

1. UTILIDAD DE LAS DERIVADAS VERTICALES

A PRINCIPIO DE LOS AÑOS 40'S, LA CONTINUACIÓN PARECIO, COMPLICADA Y CON RESULTADOS INCIERTOS. PERO SE DESCUBRIO QUE PARA OBTENER ANOMALIAS REDUCIDAS ES SUFICIENTE REEMPLAZAR LAS FUNCIONES POR SUS DERIVADAS VERTICALES, PORQUE ESAS DERIVADAS $\partial/\partial z$, $\partial^2/\partial z^2$, ... SON REDUCIDAS SIN PERDER LA TENDENCIA DE LA ANOMALÍA ORIGINAL. NOSOTROS VERIFICAREMOS QUE, POR DERIVACIÓN CON RESPECTO A Z, IMPLEMENTAMOS EL PODER DE RESOLUCIÓN DEL MAPA DE GRAVEDAD O CAMPO MAGNÉTICO.

HASTA LA SEGUNDA DERIVADA, SU CÁLCULO VIENE A SER FÁCIL. ESTO HA SIDO OBJETO DE MUCHOS ESTUDIOS DE LOS QUE HAN RESULTADO DIVERSAS FÓRMULAS. NOS LIMITAREMOS POR SI MISMOS A AQUELLOS QUE JUZGAMOS SON LOS MÁS SIMPLES Y MÁS EXACTOS.

2. DERIVADA VERTICAL.

USANDO LA REPRESENTACIÓN GENERAL PARA FUNCIONES ARMÓNICAS CONEN-

ZAMOS CON LA ECUACIÓN :

$$(1)\ldots \qquad g(x,y,z) = \frac{1}{4\pi^2}\iint \tilde{g}(\alpha,\beta)\, e^{-\gamma z - i\alpha x - i\beta y}\, d\alpha\, d\beta$$

SU DERIVADA VERTICAL ES :

$$(2)\ldots \qquad -\frac{\partial g}{\partial z} = \frac{1}{4\pi^2}\iint \tilde{g}(\alpha,\beta)\, e^{-\gamma z - i\alpha x - i\beta y}\, \gamma\, d\alpha\, d\beta$$

COMPARANDO ESTA EXPRESIÓN CON:

$$-\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{4\pi^2}\iint \tilde{T}(\alpha,\beta)\, e^{-\gamma z - i\alpha x - i\beta y}\, \frac{\gamma^3}{AB}\, d\alpha\, d\beta \quad ,$$

DESCUBRIMOS QUE ESAS ECUACIONES LLEGAN A SER IDENTICAS SÍ HACEMOS $A = B = \gamma$ CUANDO $\lambda_3 = \nu_3 = 1$ Y $\lambda_1 = \lambda_2 = \nu_1 = \nu_2 = 0$. CONSECUENTEMENTE, LA DERIVADA (2) ES UN CASO ESPECIAL DE LA DERIVADA $\partial T/\partial z$ REDUCIDA AL POLO. CON LO QUE OBTENEMOS

$$(3)\ldots \qquad C(k,n) = \int_{-1}^{+1} \sqrt{1+u^2}\,\left[Cg(\tau_1) + Cg(\tau_2)\right] du$$

DONDE LA FUNCIÓN $Cg(\tau)$ ESTA DEFINIDA POR :

$$Cg(\tau) + i\,sg(\tau) = \frac{1}{2\pi^2}\int_0^{\pi} e^{\sigma\alpha}\,\alpha^2\, d\alpha = \pi\left\{\left(\frac{1}{2\pi\sigma} - \frac{1}{\pi^2\sigma^2} + \frac{1}{\pi^3\sigma^3}\right)e^{\pi\sigma} - \frac{1}{\pi^3\sigma^3}\right\}$$

LA EXPRESIÓN (3) ADMITE VALORES DE COEFICIENTES PARA CALCULAR LA DERIVADA VERTICAL PARA CUALQUIER VALOR DE Z. HACIENDO $Z=0$, CALCULAREMOS LA DERIVADA SOBRE EL PLANO DE MEDICIONES. ENTONCES, LA EXPRESIÓN PARA LA FUNCIÓN $Cg(\tau)$ ES SIMPLIFICADA Y EN LUGAR DE LA ECUACIÓN ANTERIOR TENEMOS :

$$Cg(\tau) = \pi\left\{(1/\pi^2\tau^2)\cos\pi\tau + (1/2 - 1/\pi^2\tau^2)\,\mathrm{sen}\,\pi\tau/\pi\tau\right\}$$

DONDE τ TOMA DOS VALORES : $\tau_1 = k + nu$ Y $\tau_2 = n + ku$

EN PARTICULAR, DEBIDO A UNA INTEGRACIÓN ELEMENTAL, PODEMOS CALCULAR EL COEFICIENTE CENTRAL $C(0,0)$. EN REALIDAD, DADO QUE $Cg(0) = \pi/6$, ENCONTRAMOS:

$$C(0,0) = (\pi/3)\int_{-1}^{+1} \sqrt{1+u^2}\, du = (\pi/3)\left[\sqrt{2} + \log(1+\sqrt{2})\right] = 2.40493$$

FINALMENTE NOTAMOS QUE LOS COEFICIENTES (3) NO DEPENDEN DEL INTERVALO DE REJILLA Q , PERO EL VALOR FINAL DE LA DERIVADA DEPENDE DE ESTE. ESTA EXPRESIÓN ES:

(5)...
$$-\frac{\partial g}{\partial z} = (1/Q)\sum_{k}\sum_{n} C(k,n)\, g(kQ, nQ)$$

SÍ DIFERENCIAMOS LA EXPRESIÓN (1) DOS VECES CON RESPECTO A Z, OBTENEMOS LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL:

(6)...
$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = \frac{1}{4\pi^2}\iint \tilde{g}(\alpha,\beta)\, e^{-\gamma z - \alpha x i - \beta y i}\, \gamma^2\, d\alpha\, d\beta$$

EL MISMO RESULTADO, PERO DE SIGNO OPUESTO, SERÁ OBTENIDO SUMANDO LA SEGUNDA DERIVADA PARCIAL DE (1) CON RESPECTO A "X" Y A "Y". ESTO ES CLARO PORQUE EL CAMPO $g(x,y,z)$ ES ARMÓNICO.

ES INNECESARIO REPETIR UNA VEZ MÁS NUESTRO RAZONAMIENTO USUAL PARA DEDUCIR LA EXPRESIÓN PARA LOS COEFICIENTES. PODEMOS ESCRIBIR DIRECTAMENTE:

(7)...
$$C(k,n) = \frac{1}{4\pi^2}\iint e^{-\gamma z + k\alpha i + n\beta i}\, \gamma^2\, d\alpha\, d\beta \qquad -\pi < \alpha,\ \beta < +\pi$$

DONDE Z ES LA MEDIDA DE LA ALTURA USANDO EL INTERVALO Q DE REJILLA COMO LA UNIDAD DE LONGITUD. LOS COEFICIENTES (7) NOS PERMITEN COMBINAR EL CÁLCULO DE LA DERIVADA Y DE LA CONTINUACIÓN. SIN EMBARGO, CALCULAREMOS LA DERIVADA EN EL PLANO DE MEDICIÓN HACIENDO $Z=0$. ENTONCES, FACILMENTE ENCONTRAMOS:

$$C(k,n) = (1/\pi)\int_0^{\pi} \alpha^2 \cos k\alpha\, d\alpha \cdot (1/\pi)\int_0^{\pi} \cos n\beta\, d\beta + (1/\pi)\int_0^{\pi} \cos k\alpha\, d\alpha \cdot (1/\pi)\int_0^{\pi} \beta^2 \cos n\beta\, d\beta$$

LA INTEGRACIÓN ES ELEMENTAL, Y LOS COEFICIENTES SON:

(8)...
$$\begin{cases} C(k,n) = 0, \text{ sí } k,n \neq 0 \\ C(k,0) = (-1)^k \cdot \left(\frac{2}{k^2}\right) \\ C(n,0) = (-1)^n \cdot \left(\frac{2}{n^2}\right) \\ C(0,0) = 2\pi^2/3 \end{cases}$$

3. PRIMERA DERIVADA VERTICAL COMO UNA FUNCION DE LA SEGUNDA

EL CÁLCULO DE LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL ES FÁCIL. VEREMOS QUE LA DERIVADA ES OBTENIDA COMO UN DOBLE PRODUCTO CUANDO UNO REGULARIZA LOS PUNTOS DE MEDICIÓN PARA OBTENER UNA REJILLA. EL CÁLCULO DE LA PRIMERA DERIVADA NO ES MUY ORTODOXO. PODEMOS TOMAR EN CUENTA EL TRABAJO DE H. ACKERMAN Y H. DIX, PARA EXPRESAR LA PRIMERA DERIVADA COMO UNA FUNCIÓN DE LA SEGUNDA.

PODEMOS INICIAR CON LA ECUACIÓN SIGUIENTE:

$$U(M) = (-1/2\pi)\iint_{\pi} (\partial U/\partial \zeta)_P \, \frac{ds}{r}$$

LA CUAL ES LA SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE NEUMAN PARA EL SEMI-ESPACIO $Z \geqslant 0$. REEMPLACEMOS LA FUNCIÓN ARMÓNICA U POR LA DERIVADA $\partial g/\partial z$. LA SEGUNDA DERIVADA SERÁ DESIGNADA POR "g''" PARA ABREVIAR, TENEMOS

(10)... $$-\frac{\partial g}{\partial z} = (1/2\pi)\iint g''(\xi,\eta)\,\frac{ds}{r}$$

O EN COORDENADAS CILINDRICAS:

(11)... $$-\frac{\partial g}{\partial z} = (1/2\pi)\iint_{\pi} g''(\rho,\omega)\,\rho\, d\rho\, d\omega \Big/ \sqrt{\rho^2+z^2}$$

INTEGRAREMOS PRIMERO SOBRE ω:

(12)... $$g''(\rho) = (1/2\pi)\int_0^{2\pi} g''(\rho,\omega)\,d\omega$$

ESTO ES, UN PROMEDIO SOBRE EL CIRCULO DE RADIO ρ, FINALMENTE, PARA $Z=0$, DEFINIMOS:

$$\left(-\frac{\partial g}{\partial z}\right)_0 = \int_0^{\infty} g''(\rho)\,d\rho$$

NOS VEMOS OBLIGADOS A MENCIONAR ESTA ELEGANTE FÓRMULA, LA CUAL NO DISCUTIREMOS SIN EMBARGO.

ALGORITMO PARA LAS APROXIMACIONES ELEMENTALES EN INTERPRETACION MAGNETICA Y EFECTO MAGNETICO DE CUERPOS

RESUMEN

SE DERIVAN LAS EXPRESIONES DE ANOMALÍA DE INTENSIDAD MAGNÉTICA TOTAL PARA 4 FUENTES SIMPLES: EL POLO PUNTUAL, LINEA DE POLOS, DIPOLO PUNTUAL Y LINEA DE DIPOLOS. SE PRESENTAN LAS CURVAS TIPO PARA EL POLO Y DIPOLO PUNTUALES. PARA TODOS LOS CASOS, LOS FACTORES QUE SON CALCULADOS, PUEDEN SER MULTIPLICADOS DENTRO DE LA DISTANCIA MEDIA-MÁXIMA SOBRE LOS PERFILES DE ANOMALIA PARA ESTIMAR LA PROFUNDIDAD. ESTOS MÉTODOS SIRVEN COMO UNA PRIMERA APROXIMACIÓN EN LA INTERPRETACIÓN DE DATOS AEROMAGNÉTICOS, PERO SE DEBEN TOMAR EN CUENTA SUS LIMITACIONES.

INTRODUCCION

A PESAR DE QUE LOS INSTRUMENTOS DE INTENSIDAD MAGNÉTICA TOTAL TIPO "FLUX-GATE" HAN SIDO USADOS PARA LA PROSPECCIÓN AEROMAGNÉTICA DURANTE 10 AÑOS, SOLAMENTE HA APARECIDO POCA LITERATURA RELATIVA A LA INTERPRETACIÓN DE DATOS. HENDERSON Y ZIETZ (1948) HAN CALCULADO FACTORES PARA DETERMINAR LA PROFUNDIDAD, USANDO APROXIMACIONES CON EL POLO PUNTUAL Y LA LINEA DE POLOS. ESTE TRABAJO ES MODIFICADO EN EL PRESENTE ARTÍCULO. VACQUIER ET. AL. (1951) HA USADO MODELOS DE PRISMAS VERTICALES PARA LA INTERPRETACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE ANOMALIAS. POR OTRO LADO HAN SIDO DESARROLLADOS VARIOS PROCEDIMIENTOS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS DATOS, TAL COMO EL CÁLCULO DE LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL (HENDERSON Y ZIETZ, 1949), LA CONTINUACIÓN ANALITICA DE ANOMALIAS HACIA ARRIBA (HENDERSON Y ZIETZ, 1949) Y EL CAMPO DE LA ANOMALÍA MAGNETICA VERTICAL A PARTIR DE LAS OBSERVACIONES DE CAMPO TOTAL (HUGHES Y PONDROM, 1947). PETERS (1949) HA DESCRITO MÉTODOS ANALITICOS PARA LA INTERPRETACIÓN DE DATOS DE INTENSIDAD MAGNÉTICA VERTICAL EN ÁREAS DEL BASAMENTO PROFUNDO LAS CUALES PUEDEN SER EXTENDIDAS RAPIDAMENTE AL CASO DE CAMPO MAGNÉTICO TOTAL. TODOS ESTOS MÉTODOS DEPENDEN DEL CAMPO ANOMALO SIENDO PEQUEÑO COMPARADO CON LA INTENSIDAD TOTAL NORMAL DEL CAMPO TERRESTRE, EN CUYO CASO EL CAMPO ANOMALO ES UNA FUNCIÓN ARMÓNICA.

EN ESTE ARTÍCULO SE PRESENTAN 4 CASOS APROXIMADOS. EL POLO PUNTUAL, LA LINEA DE POLOS, DIPOLO PUNTUAL, Y LINEA DE DIPOLOS. LOS PERFILES DE INTENSIDAD MAGNÉTICA TOTAL SON DADOS PARA LAS FUENTES PUNTUALES. PARA LOS 4 TIPOS DE FUENTES EL DESPLAZAMIENTO DEL "PICO" ES DETERMINADO Y LOS FACTORES CALCULADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD, USANDO LAS DOS DISTANCIAS DEL VALOR MÁXIMO AL MEDIO-MÁXIMO A LO LARGO DEL PERFIL DE ANOMALIA.

CONSIDERACIONES GENERALES

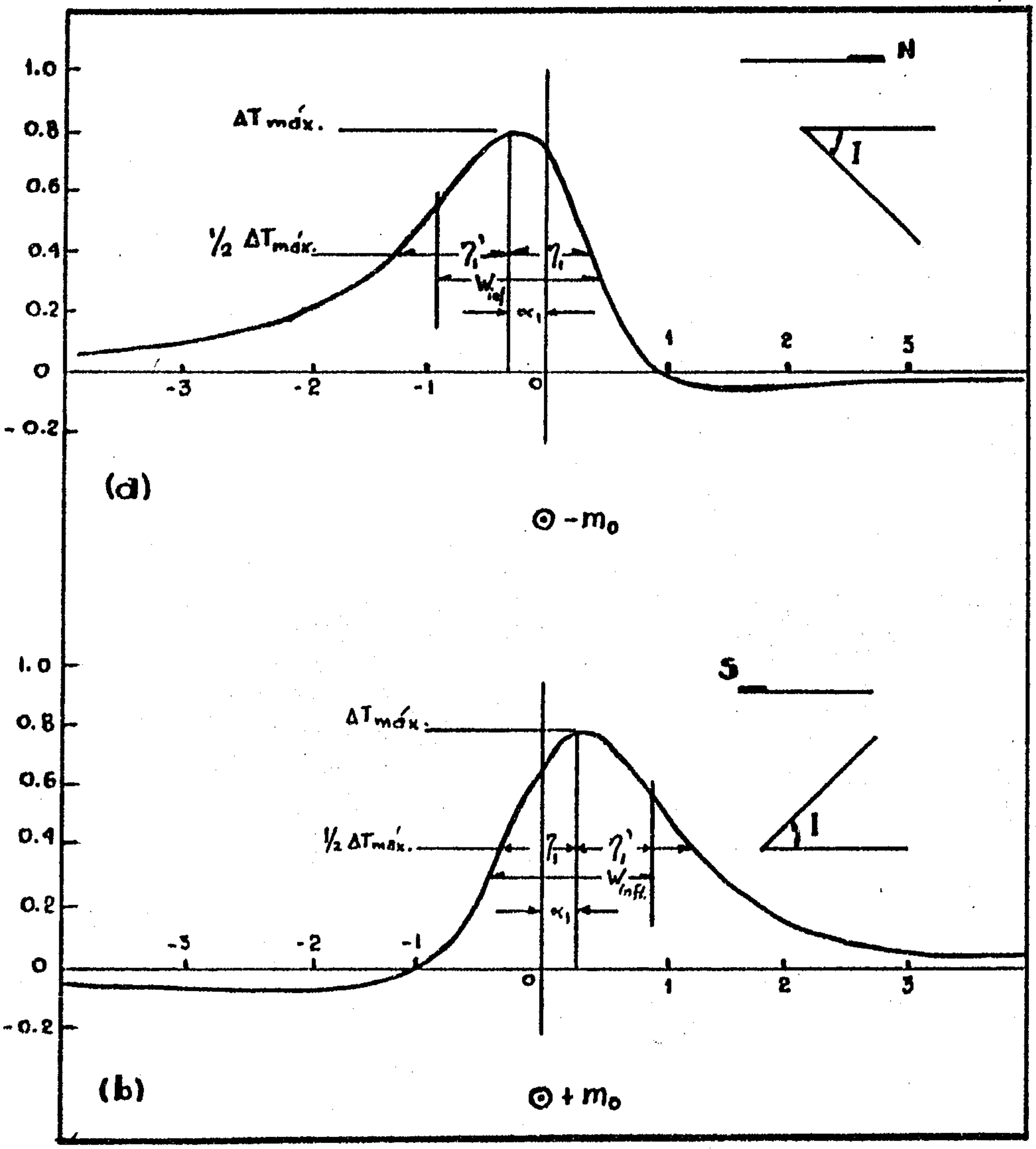
LOS CAMPOS POTENCIALES DE CUALQUIER TIPO SON POR NATURALEZA AMBIGUOS. EN OTRAS PALABRAS, TEORICAMENTE PUEDE OBTENERSE UN NÚMERO INFINITO DE SOLUCIONES PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DANDO REALCE A UNA ANOMALIA PARTICULAR SEA ELECTRICA, GRAVIMÉTRICA O MAGNÉTICA. POR SUPUESTO, SÓLO UN NUMERO LIMITADO DEBE SER PROBABLE SI NOS APOYAMOS EN RECONOCIMIENTOS GEOLÓGICOS. LOS MODELOS SIMPLES PRESENTADOS INDICAN LA PROFUNDIDAD AL POLO O DIPOLO EQUIVALENTES DE LA FUENTE.

EN RECONOCIMIENTOS AEROMAGNÉTICOS, SE PRESENTAN POR SI MISMOS PROBLEMAS DE DOS CLASES GENERALES. ESTOS SON LOS LEVANTAMIENTOS DE CUENCAS SEDIMENTARIAS DONDE LAS ANOMALIAS MAS FUERTES SE DEBEN AL CONTRASTE LITOLÓGICO DENTRO DEL BASAMENTO. SI EXISTE CONTRASTE DE SUSCEPTIBILIDAD SUFICIENTE ENTRE LOS SEDIMENTOS Y EL BASAMENTO COMPLEJO, QUE ES REFLEJADO EN UN PERFIL ANCHO EL CUAL REFLEJA LA ESTRUCTURA DEL BASAMENTO. ENTONCES EL BASAMENTO ALTO PRODUCE ANOMALIAS LOCALES, PERO LA INTERPRETACIÓN NO-AMBIGUA DE ESTOS ES DIFICIL. LOS MODELOS SIMPLES PUEDEN SER UTILES COMO UNA PRIMERA APROXIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD ESTIMADA, PERO EL MODELO PRISMATICO DE VACQUIER ET AL. (1951) PUEDE OFRECER RESULTADOS MÁS ILUSTRATIVOS. PERFILES DE ESTE TIPO PUEDEN SER VOLADOS A UNA ELEVACIÓN CONSTANTE SOBRE EL NIVEL DEL MAR Y SON DE INTERES EN LA INDUSTRIA DEL PETROLEO.

EL PROBLEMA DE LA FUENTE-SOMBRA DE INTERES EN GEOFÍSICA DE MINAS, TRATA POR OTRO LADO, CON CUERPOS MAGNÉTICOS CERCANOS A LA SUPERFICIE -

TERRESTRE, Y, POR CONSIGUIENTE, LOS PERFILES SON GENERALMENTE CONDUCIDOS A UN PROMEDIO DE ALTURA FIJO SOBRE EL TERRENO, USUALMENTE 500 PIES. LOS TERRENOS ABRUPTOS PUEDEN INTRODUCIR COMPLEJIDADES EN LOS PERFILES PERO EN EL TERRENO PLANO LOS RESULTADOS SON FACILES DE ANALIZAR. LOS RESULTADOS DE QUE LOS MODELOS SON USADOS SOLAMENTE COMO UNA GUIA PARA LA INTERPRETACIÓN CUALITATIVA.

LA FIGURA SIGUIENTE MUESTRA LA ANOMALIA DE INTENSIDAD TOTAL, SOBRE LA FUENTE PUNTUAL, TANTO EN EL HEMISFERIO NORTE COMO EN EL SUR, LA CUAL ILUSTRA LOS RASGOS DE TIPO NORMAL DE PERFIL ENCONTRADO EN LA PRÁCTICA Y LA CORRESPONDENCIA ENTRE LOS HEMÍSFERIOS.



LA APLICABILIDAD DE LAS APROXIMACIONES DEPENDE DE LA LATITUD GEOMAGNÉTICA Y LAS DIMENSIONES DE LA FUENTE. CUANDO EL ANCHO DEL CUERPO ES PEQUEÑO COMPARADO CON SU PROFUNDIDAD Y ESTE ES ALARGADO EN LA DIRECCIÓN DE POLARIZACIÓN, LA APROXIMACIÓN POLAR DA LA PROFUNDIDAD EN LA CIMA. EN CONSECUENCIA, EL DIQUE VERTICAL SERIA APROXIMADO POR UNA LINEA DE POLOS EN LATITUDES GEOMAGNÉTICAS ALTAS. SIN EMBARGO, EN LATITUDES GEOMAGNÉTICAS BAJAS EL MOMENTO DIPOLAR DEBE HACER UNA GRAN CONTRIBUCIÓN AL CAMPO OBSERVADO. PARA CUERPOS DE EXTENSIÓN LIMITADA EN PROFUNDIDAD, LA APROXIMACIÓN DIPOLAR DA LA PROFUNDIDAD AL CENTRO, EL DIPOLO PUNTUAL APROXIMARÍA A UNA ESFERA, LA LINEA DE DIPOLOS A UN CILINDRO HORIZONTAL. LAS FUENTES QUE SON ANCHAS COMPARADAS CON SU PROFUNDIDAD DARÁN PERFILES ANCHOS, Y LA DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD HECHA A PARTIR DE ESTOS VALORES SERAN GRANDES. ESTE ES TAMBIEN EL CASO CON FUENTES COMPLEJAS CONSISTIENDO DE VARIOS CUERPOS ANOMALOS CERCANAMENTE ESPACIADOS, CUYOS EFECTOS SE UNEN PARA DAR UNA ANOMALIA SIMPLE. LA PROFUNDIDAD ESTIMADA SERÁ UN VALOR MÁXIMO, ÚTIL PARA DISTINGUIR LA PROFUNDIDAD SOMERA DE LA FUENTE.

LA INTERPRETACIÓN DE ANOMALIAS CARACTERIZADAS POR CONTORNOS CIRCULARES PUEDE SER APROXIMADO USANDO EL MÉTODO DE UN POLO O DIPOLO, MIENTRAS QUE AQUELLOS CON CONTORNOS SEPARADOS EN UNA DIRECCIÓN REQUIERE UNA LINEA DE POLOS O LINEA DE DIPOLOS. LA SELECCIÓN ENTRE LAS APROXIMACIONES DEL POLO Y DIPOLO ES MEJOR HECHA, CONSIDERANDO LA INTENSIDAD DEL MÍNIMO EN RELACIÓN AL MÁXIMO. (FIGURAS 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª, 6ª, 7ª) ENFATIZADO QUE LOS MÉTODOS SIRVEN COMO UNA GUIA PARA LA COMPRENSIÓN DE LA GEOLOGÍA Y LOS MÉTODOS TEÓRICOS MÁS ELABORADOS.

APROXIMACION POR POLO PUNTUAL

LA TEORIA PARA LA ANOMALIA DE INTENSIDAD TOTAL DEBIDO A UN POLO PUNTUAL EN EL HEMISFERIO NORTE HA SIDO PRESENTADA (HENDERSON Y ZIETZ, 1948), PERO ES MODIFICADO POR EL PRESENTE TRABAJO. EN EL HEMISFERIO NORTE, UN CUERPO LIMITADO DE GRAN EXTENSIÓN EN PROFUNDIDAD CUYO EJE LONGITUDINAL ES CERCANO A LA DIRECCIÓN DE POLARIZACIÓN, SÍ ES POLARIZADO NORMALMENTE PUEDE SER REPRESENTADO POR UN POLO MAGNÉTICO NEGATIVO EN SU EXTREMO

SUPERIOR.

USANDO UN SISTEMA COORDENADO CARTESIANO ORTOGONAL, CON EL EJE Z VERTICAL HACIA ABAJO Y POLO $-m_0$ EN $Z=\zeta$, EL POTENCIAL MAGNÉTICO ANOMALO ΔV ESTA DADO POR:

(1)....
$$\Delta V = -\frac{m_0}{\left[x^2+Y^2+(z-\zeta)^2\right]^{1/2}}$$

EN EL PLANO XY, LA ANOMALIA DE INTENSIDAD TOTAL $\Delta T(x,Y,0)$ ES:

(2)....
$$\Delta T(x,Y,0) = -m_0 \cdot \frac{x\cos I\cos\beta + Y\cos I\operatorname{sen}\beta - \zeta\operatorname{sen} I}{\left(x^2+Y^2+\zeta^2\right)^{3/2}}$$

DONDE EL EJE X HACE UN ÁNGULO β CON EL NORTE MAGNÉTICO Y EL EJE Y ESTA EN EL SEMI-PLANO NORTE. I ES LA INCLINACIÓN DEL CAMPO TOTAL T. UN PERFIL A LO LARGO DEL EJE Y ESTA DADO POR:

(3)....
$$\Delta T(Y) = m_0\operatorname{sen} I \cdot \frac{\zeta - aY}{\left(Y^2+\zeta^2\right)^{3/2}}$$

DONDE:

(4)....
$$a = \cot I\operatorname{sen}\beta$$

EL VALOR PICO $\Delta T_{máx}$ OCURRE CUANDO $\beta=90°$ EN EL PUNTO.

$$Y = -\zeta\alpha_1$$

DONDE:

(5).....
$$\alpha_1 = \left[(9+8\cot^2 I)^{1/2} - 3\right]/4\cot I$$

Y SU VALOR ES:

(6)....
$$\Delta T_{máx} = m_0\operatorname{sen} I\,(1+\alpha_1\cot I)/\zeta^2(\alpha_1^2+1)^{3/2}$$

EL MÍNIMO VALOR OCURRE EN

$$Y = \zeta\gamma_1$$

DONDE:

(7)....
$$\gamma_1 = \left[3+(9+8\cot^2 I)^{1/2}\right]/4\cot I$$

Y SU VALOR ES:

(8)....
$$\Delta T_{min} = m_0\operatorname{sen} I\,(1-\gamma_1\cot I)/\zeta^2(\gamma_1^2+1)^{3/2}$$

ASI,

(9)..... $\Delta T(Y) = 0$, CUANDO $Y = \zeta \tan I$

DESEAMOS CALCULAR FACTORES QUE, CUANDO SE MULTIPLICAN POR LA DISTANCIA DE LA INTENSIDAD MÁXIMO A LA INTENSIDAD MEDIO-MÁXIMO A LO LARGO DEL PERFIL MERIDIONAL, DAN LA PROFUNDIDAD DEL POLO PUNTUAL. TRANSFORMAMOS NUESTRO ORIGEN AL PICO DE LA ANOMALIA, TOMANDO AL EJE Y A LO LARGO DEL MERIDIANO MAGNÉTICO, OBTENIENDO

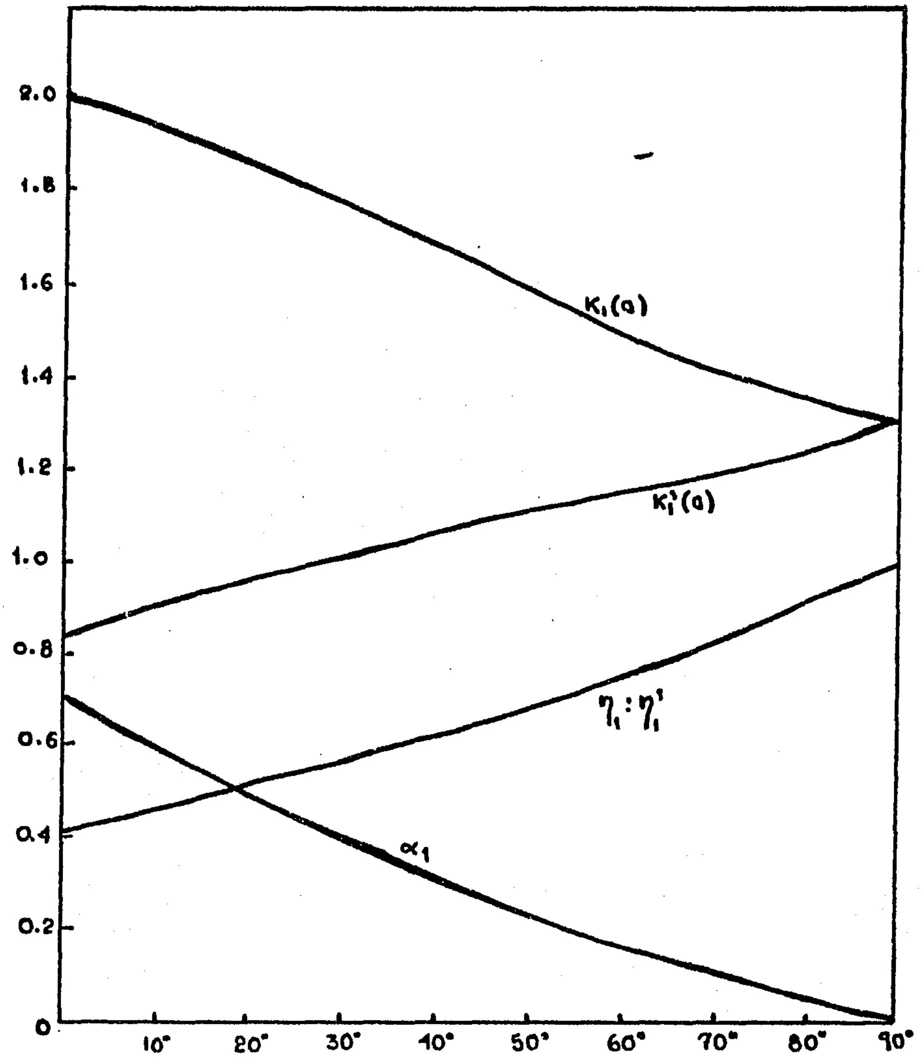
(10).... $$\Delta T(Y') = m_0 \operatorname{sen} I \cdot \frac{\zeta(1+\alpha_1 \cot I) - Y' \cot I}{\left[Y'^2 - 2\alpha_1 \zeta Y' + \zeta^2(1+\alpha_1^2)\right]^{5/2}}$$

SUSTITUYENDO $Y' = \zeta / K$ EN LA ECUACIÓN (10) E IGUALANDO CON $\frac{1}{2}\Delta T_{máx}$ A PARTIR DE LA ECUACIÓN (6) OBTENEMOS

(11).... $$\frac{1+\alpha_1 \cot I}{2(\alpha_1^2+1)^{3/2} K^2} = \frac{K(1+\alpha_1 \cot I) - \cot I}{\left[1 - 2\alpha_1 K + K^2(1+\alpha_1^2)\right]^{5/2}}$$

ESTA PUEDE SER RESUELTA NUMERICAMENTE PARA DOS RAICES REALES, UNA POSITIVA $K_1(a)$ Y UNA NEGATIVA $-K_1'(a)$. LAS CUALES SE USARAN CON η, LA DISTANCIA DESDE EL MÁXIMO DE ANOMALIA A LA MITAD-MAXIMA EN LA DIRECCIÓN NORTE, Y η' EN LA DIRECCIÓN SUR (EN EL HEMISFERIO NORTE). ESAS DIRECCIONES ESTAN INVERTIDAS EN EL HEMISFERIO SUR DE LA FIGURA PRIMERA.

LA PROFUNDIDAD $\zeta = K_1 \eta = K_1' \eta'$. EL RADIO DE LAS DISTANCIAS MÁXIMA MEDIA $\eta : \eta'$ SOBRE LA ANOMALIA ACTUAL DEBE APROXIMAR EL RADIO TEÓRICO $\eta_1 : \eta_1' = K_1' : K_1$, SÍ EL POLO PUNTUAL DA UNA REPRESENTACIÓN ADECUADA DE LA SITUACIÓN FÍSICA. EL DESPLAZAMIENTO DEL PICO α_1, LOS FACTORES $K_1(a)$, $K_1'(a)$ Y EL RADIO $\eta_1 : \eta_1'$ ESTAN DADOS EN LA FIGURA SIGUIENTE:



UNA FAMILIA DE CURVAS EN PERFIL ΔT CORRESPONDIENTES A VARIOS VALORES DE I ES PRESENTADA EN LA FIGURA QUE SIGUE. UNA NOTACIÓN ES USADA SIMILARMENTE EN LOS SUBSECUENTES TRES CASOS, CORRESPONDIENTES A LA LINEA DE POLOS, DIPOLO Y LINEA DE DIPOLOS, RESPECTIVAMENTE.

PUESTO QUE UN MAPA AEROMAGNÉTICO DE CONTORNOS ES HECHO EN LA PRÁCTICA, ESTA FUE UNA IDEA PARA DETERMINAR LOS FACTORES K PARA EL CASO $\beta = 90°$ CORRESPONDIENTES A PERFILES TOMADOS A PARTIR DEL MÁXIMO DE ANOMALIA, A LO LARGO DEL MERIDIANO MAGNETICO. EN UN CASO PRÁCTICO DADO, LAS DISTANCIAS η_1 Y $\eta_1^{'}$ SON MEDIDAS SOBRE UN PERFIL MERIDIONAL. ESOS PUEDEN SER MULTIPLICADOS POR LOS FACTORES $K_1(a)$, $K_1^{'}(a)$, RESPECTIVAMENTE PARA DAR DOS DETERMINACIONES DE PROFUNDIDAD. SÍ EL MÁXIMO

ES DIFICIL DE LOCALIZAR, PODEMOS MEDIR LA DISTANCIA η'' ENTRE LOS PUNTOS DE INTENSIDAD MEDIA-MÁXIMA Y DETERMINAR $\zeta = K_1''\eta''$ DONDE

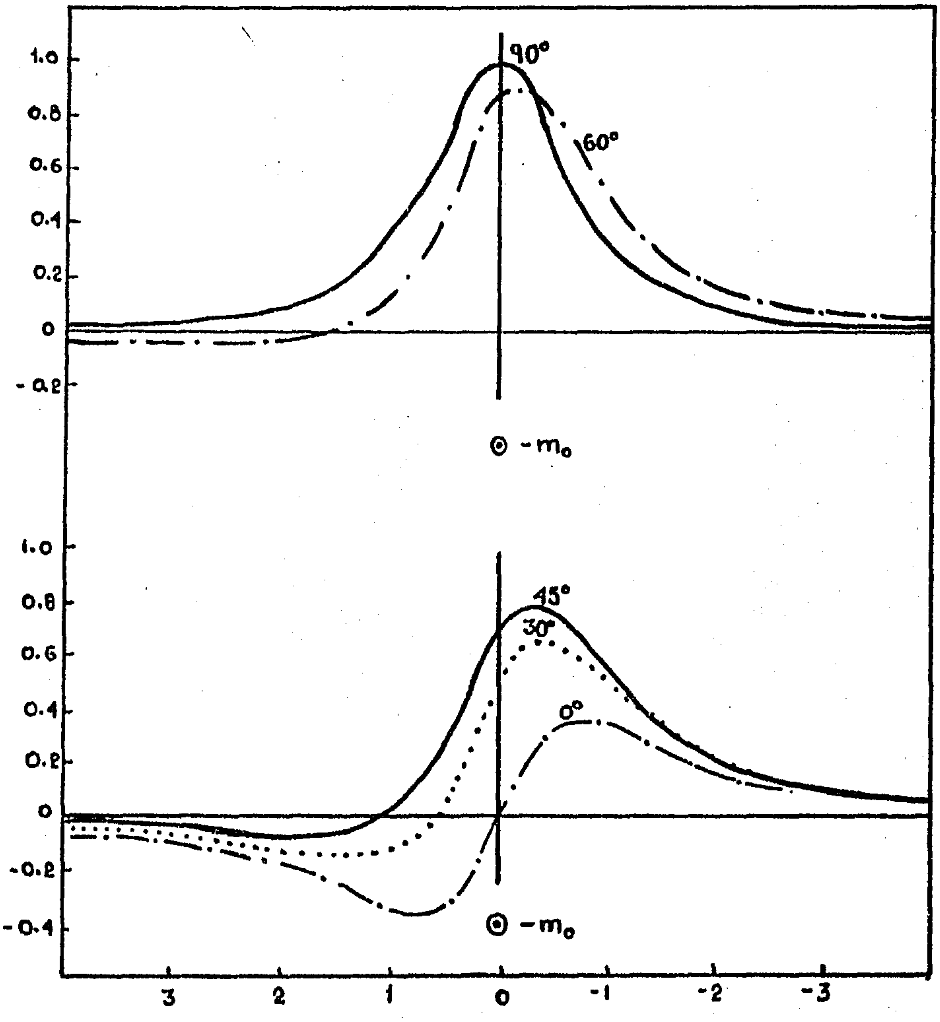
(12)....
$$K_1(a) = \frac{K_1(a)\,K_1'(a)}{K_1(a)+K_1'(a)}$$

UN PERFIL TRANSVERSAL ($\beta = 180°$) A TRAVÉS DEL MÁXIMO PUEDE SERVIR PARA CHECAR QUE ESTE ES SIMETRICO. EL ANCHO ENTRE LOS PUNTOS DE INTENSIDAD MÁXIMA-MEDIA η_τ'' POR UNIDAD DE PROFUNDIDAD ESTA DADA POR:

(13)....
$$\eta_\tau'' = 1.533\,(1+\alpha_1^2)^{1/2}$$

Y, POR LO TANTO, EL FACTOR DE PROFUNDIDAD K_τ'' ESTA DADO POR:

(14)....
$$K_\tau'' = 0.652\,(1+\alpha_1^2)^{-1/2}$$



EL TRABAJO DE HENDERSON Y ZIETZ (1948) DEBE SER TOMADO EN CONSIDERACIÓN. ESTOS AUTORES DEFINEN EL MÁXIMO DE ANOMALIA EN UN PUNTO DE INTENSIDAD MEDIA DEL MÁXIMO SOBRE LINEAS EN CUALQUIER DIRECCIÓN PASANDO DIRECTAMENTE SOBRE EL PUNTO POLO. DE ESAS LINEAS, SOLAMENTE LA QUE PASA POR EL MERIDIANO - MAGNÉTICO A TRAVÉS DEL MÁXIMO ABSOLUTO DE LA ANOMALÍA, DANDO LOS RESULTADOS PRESENTADOS AL RESPECTO. PARA LAS OTRAS DIRECCIONES, EL MÁXIMO ABSOLUTO ESTA SITUADO BAJO LA LINEA AL SUR (EN EL HEMISFERIO NORTE).

EN EL HEMISFERIO SUR MAGNÉTICO, NUESTRO CUERPO TIPO DEBE SER REPRESENTADO POR UN POLO MAGNÉTICO POSITIVO. EL POTENCIAL MAGNÉTICO ES AHORA

(15)....
$$\Delta V = \frac{m_0}{\left[x^2 + y^2 + (z - \zeta)^2\right]^{1/2}}$$

Y PARA UN PERFIL A LO LARGO DEL MERIDIANO (EJE Y),

(16)....
$$\Delta T(y) = m_0 \operatorname{sen} I \frac{\zeta + ay}{(y^2 + \zeta^2)^{3/2}}$$

ESTAS EXPRESIONES SON MERAMENTE UNA IMAGEN REFLEJO DE LAS DEL - HEMISFERIO NORTE. COMO UN RESULTADO, PODEMOS USAR LOS RESULTADOS DEL - HEMISFERIO NORTE EN EL HEMISFERIO SUR, CUIDANDO AL TOMAR NUESTRAS DISTANCIAS DEL MÁXIMO A LA MEDIA-MÁXIMA η EN LA DIRECCIÓN SUR Y η' EN LA DIRECCIÓN NORTE.

LINEA DE POLOS

LA TEORIA PARA ESTA APROXIMACION ES TAMBIEN DADA POR HENDERSON Y ZIETZ (1948), QUIENES DAN FACTORES

(17)....
$$K_2(a) = \frac{a}{2b}\left[1 + \left(\frac{3b-1}{b-1}\right)^{1/2}\right]$$

DONDE:

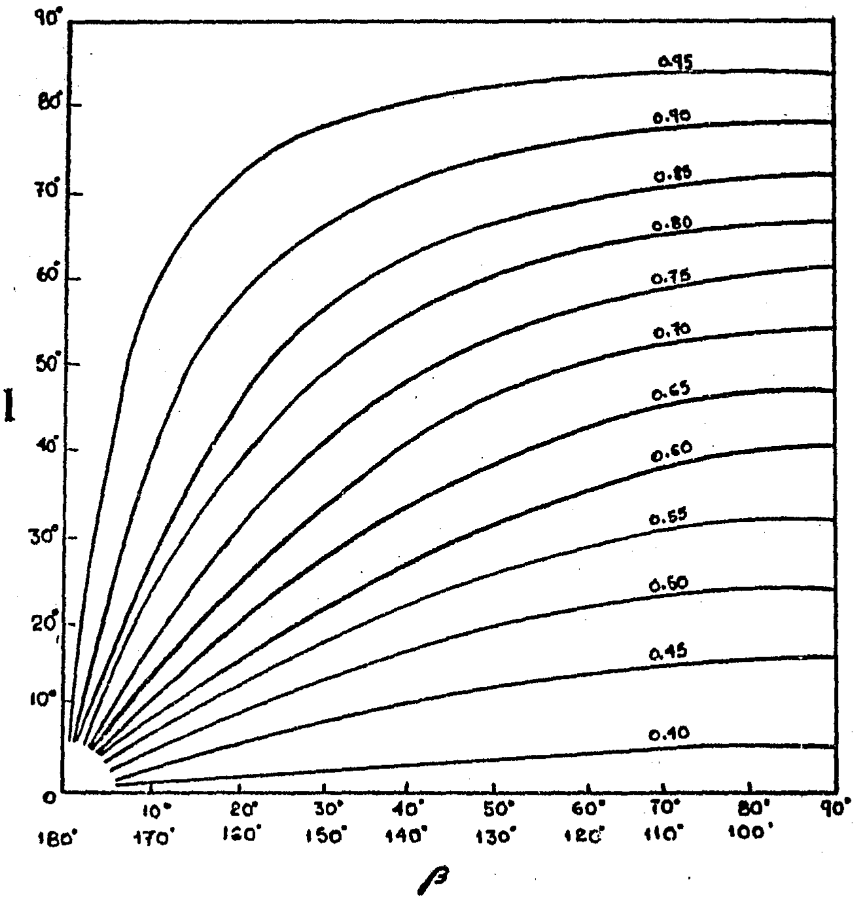
(18)....
$$b = (a^2+1)^{1/2}$$

COMO UNA FUNCION DE LA INCLINACIÓN DEL CAMPO TOTAL Y UN ÁNGULO β ENTRE EL CUERPO Y EL NORTE MAGNÉTICO. ESOS FACTORES SON PARA LA -

DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD USANDO PERFILES PERPENDICULARES AL RUMBO DE LA ANOMALÍA. LA DISTANCIA MEDIA-MÁXIMA η DEBE SER TOMADA HACIA EL NORTE EN EL HEMISFERIO NORTE Y HACIA EL SUR EN EL HEMISFERIO SUR. PARA LA OTRA DISTANCIA MEDIA-MÁXIMA

(19)....
$$-K_2^{\prime}(a) = \frac{a}{2b}\left[1-\left(\frac{3b-1}{b-1}\right)^{1/2}\right]$$

LOS VALORES DE $K_2^{\prime}(a)$ COMO UNA FUNCIÓN DE I Y β ESTAN DADOS EN LA FIGURA SIGUIENTE:



LA RELACIÓN DE LAS DISTANCIAS MEDIA-MÁXIMA ESTA DADA POR

(20)....
$$\eta_2 : \eta_2^{\prime} = \left[(3b-1)^{1/2} - (b-1)^{1/2}\right] \Big/ \left[(3b-1)^{1/2} + (b-1)^{1/2}\right]$$

Y ESTÁ GRAFICADA EN LA FIGURA SIGUIENTE. ÉSTA NOS PERMITE COMPARAR

EL RADIO MEDIDO CON UN VALOR TEÓRICO Y ASI VER EL GRADO DE APROXIMACIÓN OBTENIDO.

LA REFLEXIÓN EN EL ORIGEN PARA LOS PERFILES DE ANOMALIA EN EL HEMISFERIO SUR SE MUESTRA FACILMENTE PARA ESTE CASO.

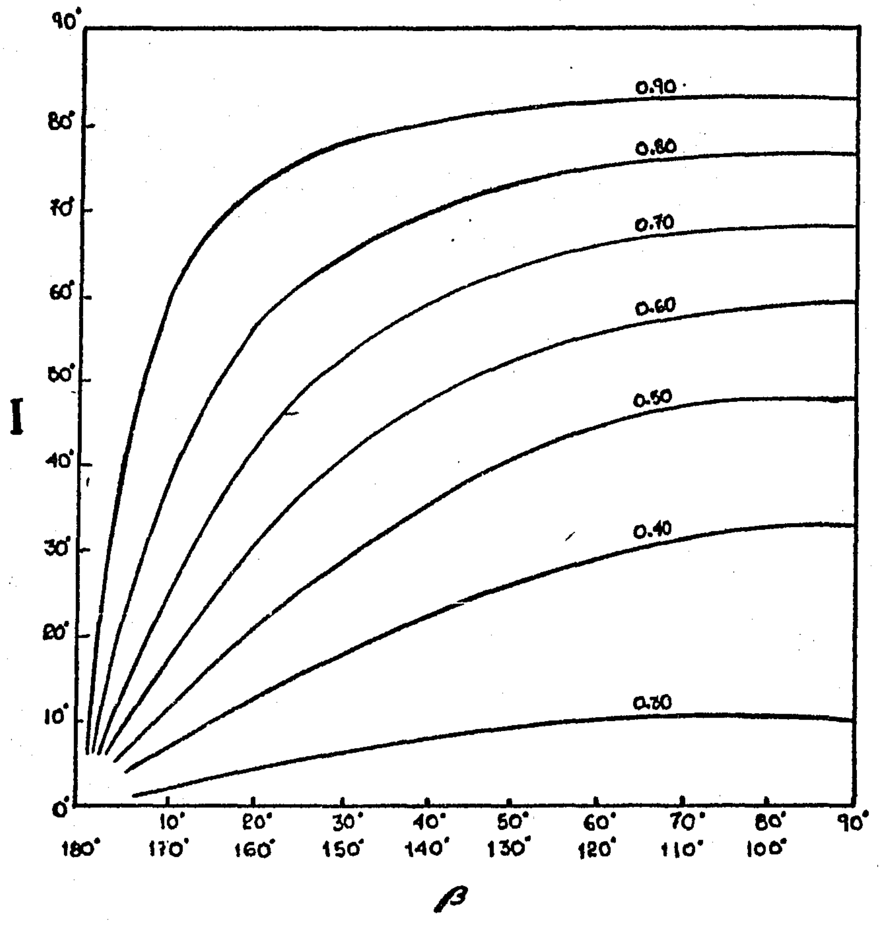
EL DESPLAZAMIENTO DEL PICO DE ANOMALIA DESDE UNA POSICIÓN DIRECTAMENTE SOBRE LA FUENTE ESTA EN LA DIRECCIÓN NEGATIVA Y DE CANTIDAD

(21).... $$\alpha_2 = (b-1)/a$$

Y EL VALOR DE PICO

(22).... $$\Delta T_{máx} = \frac{2 m_1 \operatorname{sen} I}{\zeta} \cdot \frac{1 - a\alpha_2}{1+\alpha_2^2}$$

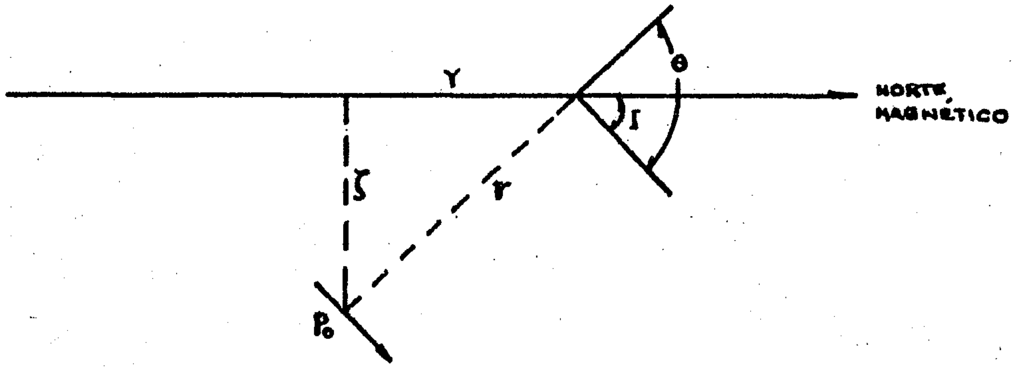
DONDE m_1 ES LA INTENSIDAD DEL POLO POR UNIDAD DE LONGITUD.



DIPOLO PUNTUAL

ASUMIMOS UN MOMENTO DIPOLAR P_o EN LA DIRECCIÓN DEL CAMPO TERRESTRE A UNA PROFUNDIDAD ζ CERCA DEL PLANO DE OBSERVACIONES (VER FIGURA SIG.).

SUPONGASE UN MOMENTO DIPOLAR P_o EN LA DIRECCIÓN DEL CAMPO TERRESTRE A UNA PROFUNDIDAD ζ CERCANA AL PLANO DE OBSERVACIONES. FIGURA SIGUIENTE:



EL POTENCIAL MAGNÉTICO ANOMALO EN EL HEMISFERIO NORTE PARA UN PERFIL MERIDIONAL PASANDO DIRECTAMENTE SOBRE LA FUENTE ES:

$$(23)\ldots\quad \Delta V_3 = P_o \frac{Y\cos I - \zeta \operatorname{sen} I}{(Y^2+\zeta^2)^{3/2}}$$

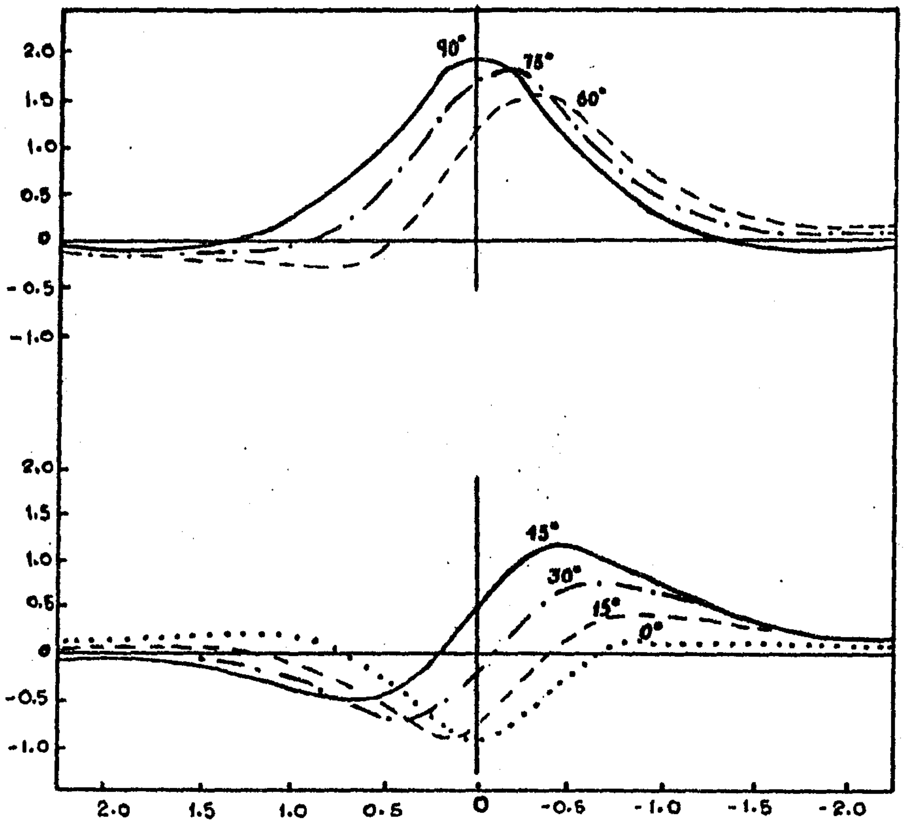
EXPRESADO EN UNIDADES DE PROFUNDIDAD, LA ANOMALIA DE INTENSIDAD TOTAL ES

$$(24)\ldots\quad \Delta T_3 = f_3(\alpha)\, P_o / \zeta^3$$

DONDE:

$$(25)\ldots f_3(\alpha) = \left[(3\operatorname{sen}^2 I - 1) - 6\operatorname{sen} I \cos I \cdot \alpha + (3\cos^2 I - 1)\alpha^2 \right] \Big/ (1+\alpha^2)^{5/2}$$

A PARTIR DE ESTA EXPRESIÓN, $f_3(\alpha)$ HA SIDO CALCULADO PARA VALORES REPRESENTATIVOS DE I Y LOS RESULTADOS SE PRESENTAN EN LA SIGUIENTE FIGURA:



EL REFLEJO DE ESTA IMAGEN EN Y DE LAS CURVAS ES ADECUADO PARA SU APLICACIÓN EN EL HEMISFERIO SUR.

PARA DETERMINAR EL CAMBIO DEL MÁXIMO DE ANOMALIA DESDE LA POSICIÓN DIRECTA SOBRE LA FUENTE, HACEMOS:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha}(\Delta T) = 0 \quad , \quad i.e.$$

(26).... $$(3\cos^2 I - 1)\alpha^3 - (8 \operatorname{sen} I \cos I)\alpha^2 + (7\operatorname{sen}^2 I - 3)\alpha + 2\operatorname{sen} I \cos I = 0$$

LA RAIZ REAL NEGATIVA DE ESTA ECUACIÓN DA EL VALOR REQUERIDO $-\alpha_3$ EN EL MÁXIMO DE LA ANOMALIA. ESTO HA SIDO CALCULADO PARA UN NÚMERO DE VALORES DE I Y LOS RESULTADOS SE DAN EN LA FIGURA QUE SIGUE.

LOS FACTORES DE PROFUNDIDAD DE LA INTENSIDAD MEDIA-MÁXIMA $K_3(0)$ Y $K_3'(0)$ FUERÓN OBTENIDOS PARA VARIOS VALORES DE I POR CÁLCULO DEL VALOR MÁXIMO $f_3(-\alpha_3)$. LA MITAD DE ESTE VALOR ES ENTONCES SITUADO EN

LA EXPRESION PARA $f_3(\alpha)$ Y EL RESULTADO DE LA ECUACIÓN RESUELTA PARA DOS RAICES REALES β_3 Y β_3' $(\beta_3 > \beta_3')$.

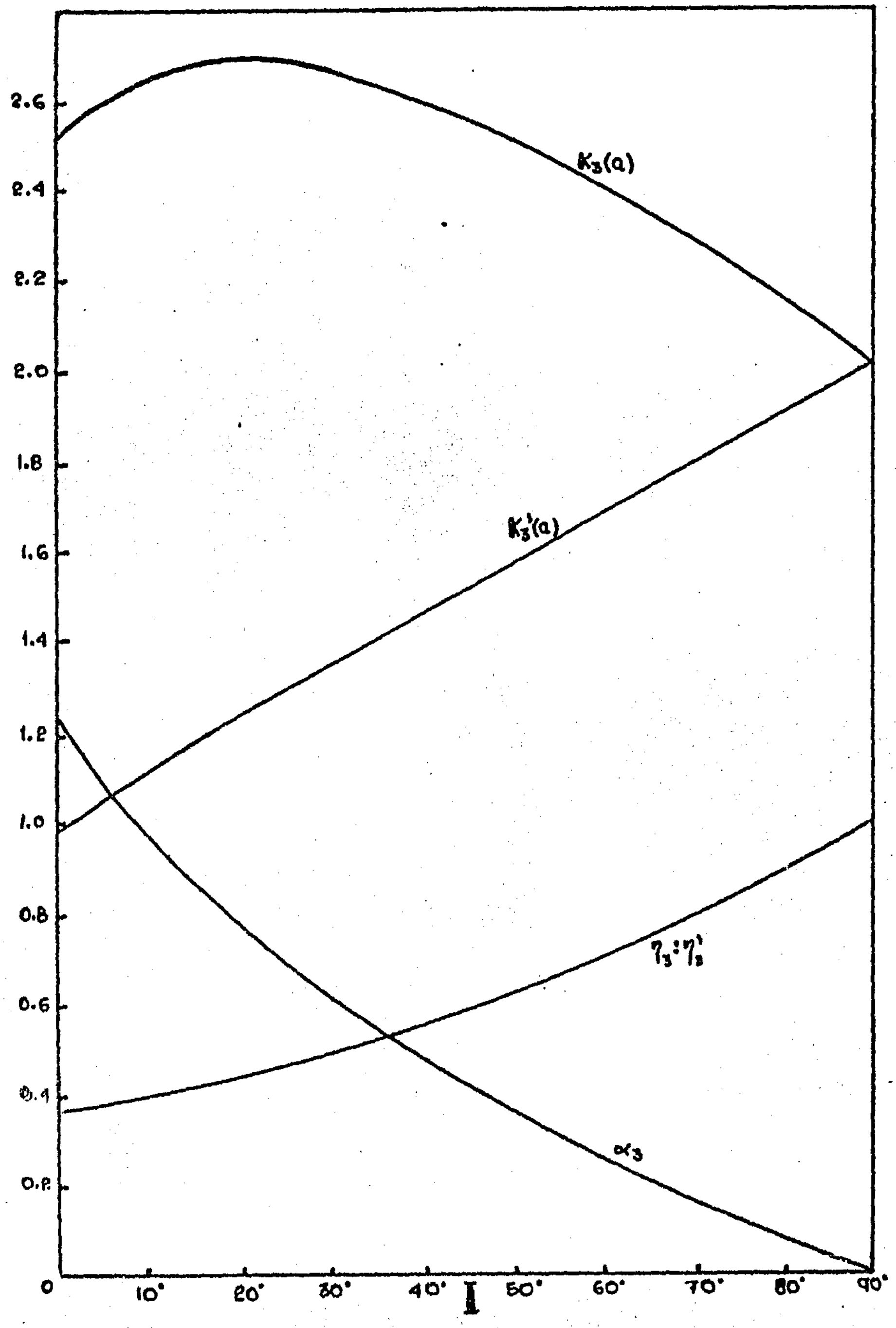
ENTONCES:

$$K_3(a) = (\beta_3 + \alpha_3)^{-1}$$

$$K_3'(a) = -(\alpha_3 + \beta_3')^{-1}$$

(27).... $$\eta_3 : \eta_3' = -(\beta_3 + \alpha_3)/(\alpha_3 + \beta_3')$$

ESTOS FACTORES ESTAN DADOS EN LA SIGUIENTE FIGURA:



LINEA DE DIPOLOS

CONSIDERE UNA LINEA DE DIPOLOS MAGNETICOS A LA PROFUNDIDAD ζ CUYO MOMENTO DIPOLAR POR UNIDAD DE LONGITUD ES P_1 EN LA DIRECCIÓN DEL CAMPO TERRESTRE Y LA CUAL FORMA UN ÁNGULO β CON EL NORTE MAGNETICO. NOSOTROS TENEMOS PARA EL POTENCIAL MAGNÉTICO EN EL HEMISFERIO NORTE:

(28)....
$$\Delta V_4 = 2P_1\left[Y\cos I \,\mathrm{sen}\,\beta + (z-\zeta)\,\mathrm{sen}\, I\right] \Big/ \left[Y^2 + (\zeta - Z)^2\right]$$

CUANDO LA DIRECCIÓN Y ES NORMAL AL ANGULO FORMADO Y POSITIVO EN EL SEMIPLANO NORTE. LA ANOMALIA DE INTENSIDAD TOTAL PARA UN PERFIL A LO LARGO DEL EJE Y ESTA DADA POR:

(29)....
$$\Delta T_4 = 2P_1 \cos^2 I \,\mathrm{sen}^2\beta \, f_4(\alpha) / \zeta^2$$

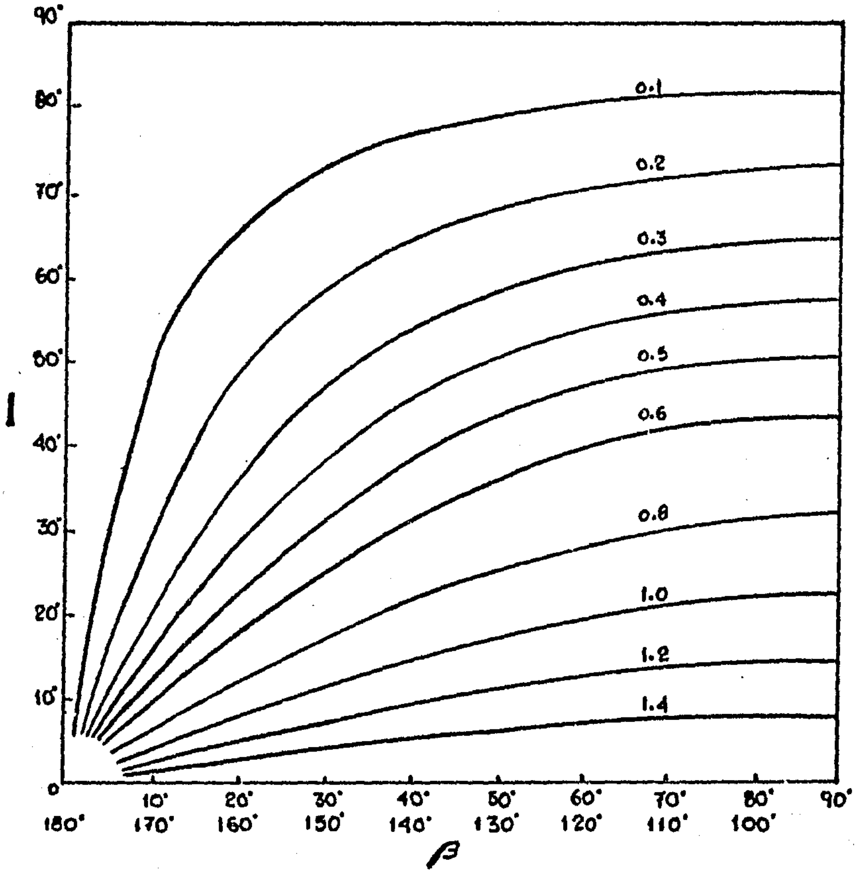
DONDE:

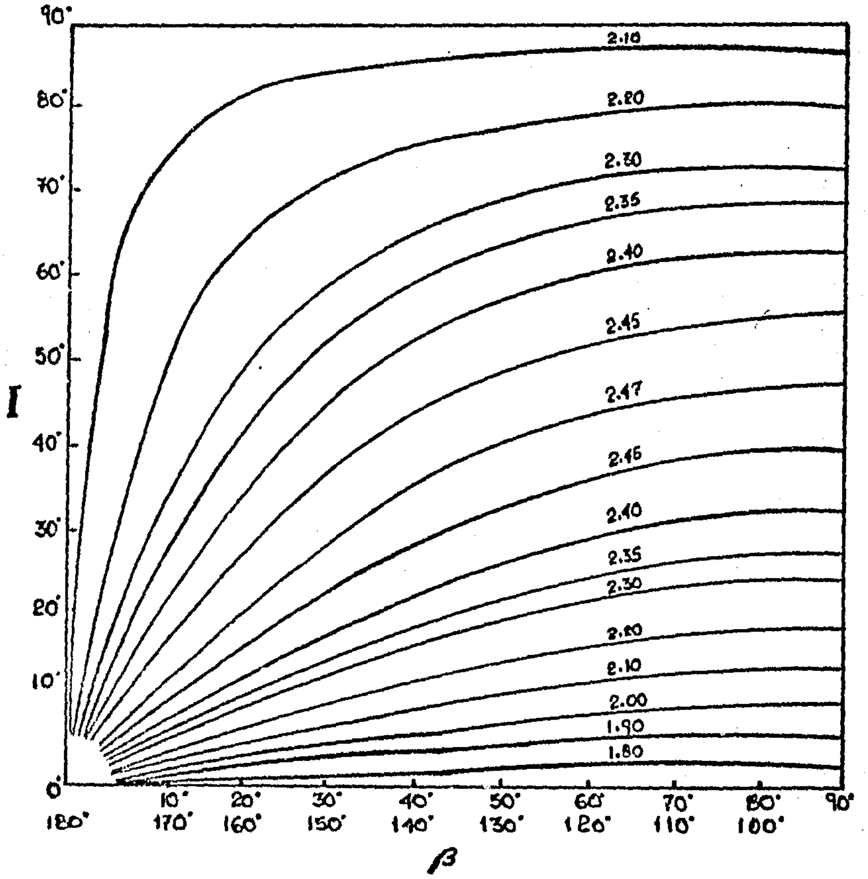
(30)....
$$f_4(\alpha) = \left[(\alpha^2 - 1)(1 - q^2) - 4\alpha q \right] \Big/ (1+\alpha^2)^2$$

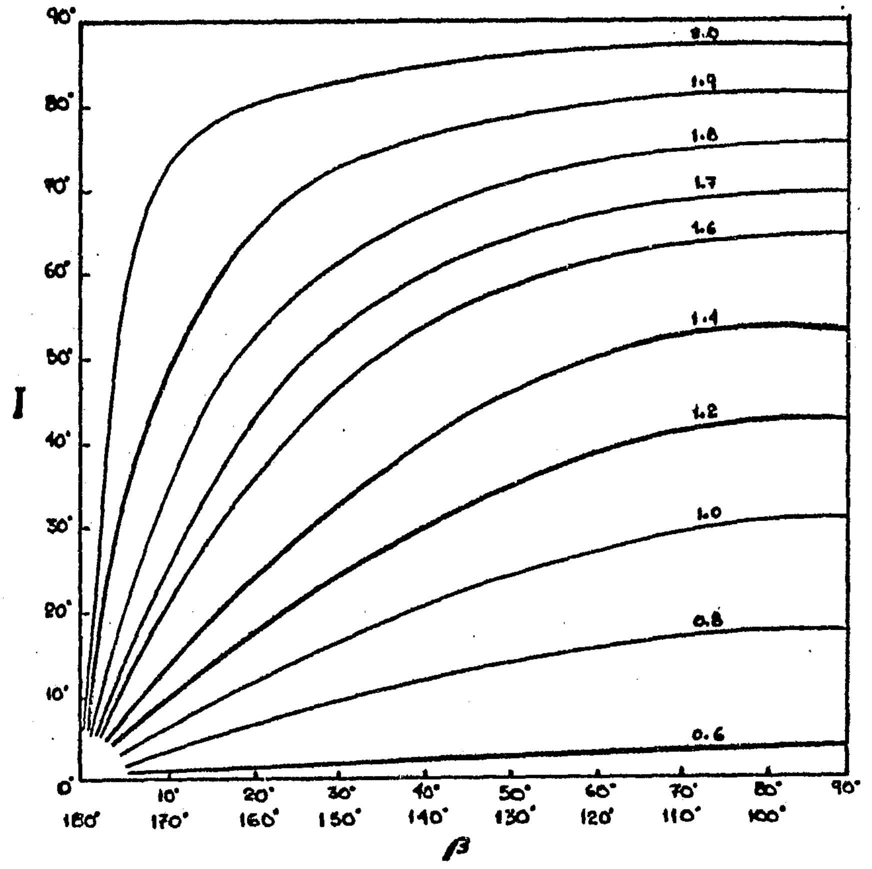
Y:

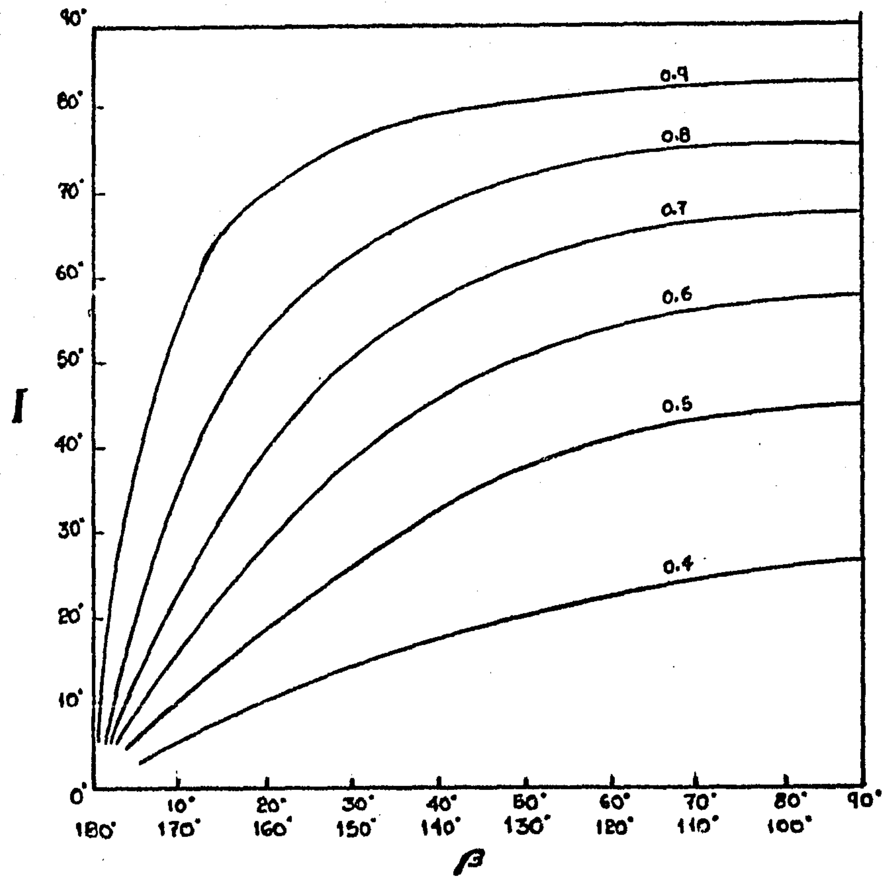
(31)....
$$q = \tan I \csc\beta = a^{-1}$$

EL MÉTODO DE CÁLCULO DE LOS FACTORES DE PROFUNDIDAD DE LA INTENSIDAD MEDIA-MÁXIMA ES EL MISMO QUE PARA EL CASO DEL PUNTO DIPOLAR, SIENDO q EL PARAMETRO UTILIZADO. FAMILIAS DE CURVAS DE LA COMPONENTE q SON USADAS PARA MOSTRAR LOS FACTORES EN LA MISMA FORMA QUE PARA LA LINEA DE POLOS. LOS RESULTADOS PARA α_4, $K_4(a)$, $K_4^1(a)$ Y $\eta_4 : \eta_4^1$ SE MUESTRAN EN LAS CUATRO FIGURAS SIGUIENTES RESPECTIVAMENTE.


90°
80°
70°
60°
50°
40°
30°
20°
10°
0
I
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°
180° 170° 160° 150° 140° 130° 120° 110° 100°
β


90°
80°
70°
60°
50°
40°
30°
20°
10°
0°
I
2.10
2.20
2.30
2.35
2.40
2.45
2.47
2.46
2.40
2.35
2.30
2.20
2.10
2.00
1.90
1.80
10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°
180° 170° 160° 150° 140° 130° 120° 110° 100°
β

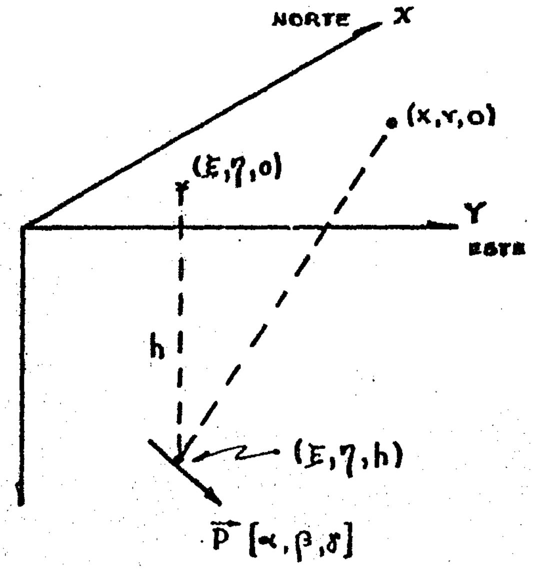

2.0
1.9
1.8
1.7
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
I
90°
80°
70°
60°
50°
40°
30°
20°
10°
0°
10°
20°
30°
40°
50°
60°
70°
80°
90°
180°
170°
160°
150°
140°
130°
120°
110°
100°
β


0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
I
90°
80°
70°
60°
50°
40°
30°
20°
10°
0°
10°
20°
30°
40°
50°
60°
70°
80°
90°
180°
170°
160°
150°
140°
130°
120°
110°
100°
β

COMPONENTES MAGNETICAS PARA ALGUNOS MODELOS

LAS EXPRESIONES ANALÍTICAS PARA LAS TRES COMPONENTES DEL CAMPO MAGNÉTICO ANOMALO SON DEDUCIDAS PARA 3 FUENTES: EL DIPOLO PUNTUAL, LA LINEA DE DIPOLOS Y EL PRISMA VERTICAL.

UN SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS ORTOGONAL ES SELECCIONADO TAL QUE EN EL PLANO DE OBSERVACIÓN EL EJE X APUNTE HACIA EL NORTE, EL EJE Y HACIA EL ESTE Y EL EJE Z VERTICALMENTE HACIA ABAJO. (FIGURA SIGUIENTE):



DIPOLO PUNTUAL

CONSIDEREMOS UN MOMENTO DIPOLAR $\vec{P}$ SITUADO EN $Q(\xi,\eta,h)$ Y CARACTERIZADO POR LOS COSENOS DIRECTORES (α,β,γ), (FIGURA ANTERIOR).

EL POTENCIAL MAGNÉTICO ANOMALO EN UN PUNTO (X,Y,Z) DEBIDO AL DIPOLO ESTA DADO POR: $\Delta V = -P\,\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{1}{r}\right)$

DONDE:

$$\frac{\partial}{\partial s} = \alpha\frac{\partial}{\partial x} + \beta\frac{\partial}{\partial y} + \gamma\frac{\partial}{\partial z} \quad ; \quad r = \left[(x-\xi)^2+(y-\eta)^2+(z-h)^2\right]^{1/2}$$

POR LO TANTO, TOMANDO LAS DERIVADAS

$$\Delta V = \frac{P}{r^3}\left[\alpha(x-\xi)+\beta(y-\eta)+\gamma(z-h)\right]$$

PODEMOS AHORA, OBTENER LAS COMPONENTES MAGNÉTICAS:

1..... $$H_x = -\frac{\partial}{\partial x}(\Delta V) = \frac{P}{r^5}\left[3(x-\xi)\left\{\alpha(x-\xi)+\beta(Y-\eta)+\gamma(z-h)\right\}-\alpha r^2\right]$$

2.... $$H_Y = -\frac{\partial}{\partial Y}(\Delta V) = \frac{P}{r^5}\left[3(Y-\eta)\left\{\alpha(x-\xi)+\beta(Y-\eta)+\gamma(z-h)\right\}-\beta r^2\right]$$

3..... $$H_z = -\frac{\partial}{\partial z}(\Delta V) = \frac{P}{r^5}\left[3(z-h)\left\{\alpha(x-\xi)+\beta(Y-\eta)+\gamma(z-h)\right\}-\gamma r^2\right]$$

4.... $$H_x(x,Y,0) = \frac{P}{r^5}\left\{3x(\alpha x+\beta Y-\gamma h)-\alpha r^2\right\}$$

5..... $$H_Y(x,Y,0) = \frac{P}{r^5}\left\{3Y(\alpha x+\beta Y-\gamma h)-\beta r^2\right\}$$

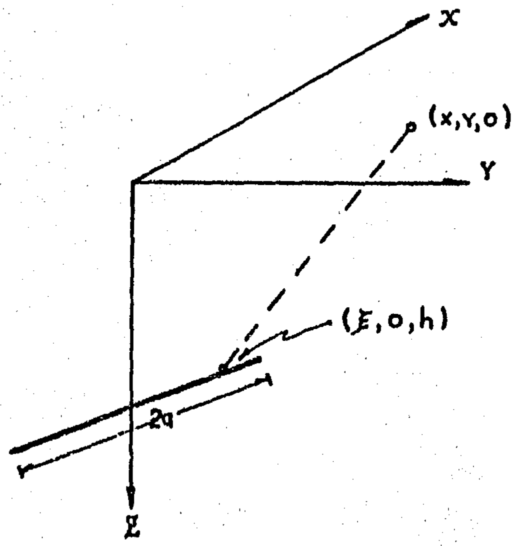
6..... $$H_z(x,Y,0) = \frac{P}{r^5}\left\{-3h(\alpha x+\beta Y-\gamma h)-\gamma r^2\right\}$$

DONDE:

$$r = (x^2+Y^2+h^2)^{1/2}$$

LINEA DE DIPOLOS

CONSIDEREMOS UNA LINEA CONTINUA DE DIPOLOS DE LONGITUD $2a$, A UNA PROFUNDIDAD h DEBAJO DEL PLANO X-Y. FIGURA SIGUIENTE:



EL PUNTO MEDIO DE LA LINEA ES TOMADO COMO $(0,0,h)$. CONSIDEREMOS I_L EL MOMENTO MAGNÉTICO POR UNIDAD DE LONGITUD, TENIENDO COMO COSENOS DIRECTORES A (α, β, γ).

EL POTENCIAL MAGNÉTICO ANOMALO EN UN PUNTO (X,Y,Z) DEBIDO A LA LINEA DE DIPOLOS ESTA DADO POR:

$$\Delta V = \int_{-a}^{a} \frac{\vec{I_L} \cdot \vec{r}}{r^3}\, d\xi$$

DONDE:

$$\vec{I_L} \cdot \vec{r} = I_L \left\{ \alpha (x - \xi) + \beta Y + \gamma (z-h) \right\}$$

$$|\vec{r}| = \left\{ (x-\xi)^2 + Y^2 + (z-h)^2 \right\}^{1/2}$$

Y: ξ ES UNA LONGITUD A LO LARGO DEL EJE X.

CAMBIANDO LA VARIABLE, OBTENEMOS LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$\Delta V = I_L \left[\alpha \int_{x-a}^{x+a} \frac{u\,du}{(u^2+\rho^2)^{3/2}} + \left\{ \beta Y + \gamma (z-h) \right\} \int_{x-a}^{x+a} \frac{du}{(u^2+\rho^2)^{3/2}} \right]$$

DONDE: $u = x - \xi$

Y: $\rho^2 = Y^2 + (z-h)^2$

SABEMOS QUE:

$$\int \frac{du}{(u^2+\rho^2)^{3/2}} = \frac{1}{\rho^2} \quad \frac{u}{(u^2+\rho^2)^{1/2}}$$

Y:

$$\int \frac{u\,du}{(u^2+\rho^2)^{3/2}} = - \frac{1}{(u^2+\rho^2)^{1/2}}$$

POR CONSIGUIENTE, DESPUES DE ALGUNAS SIMPLIFICACIONES, OBTENEMOS:

$$\Delta V = \left[\frac{I_L}{\rho^2} \quad \frac{\left\{ \beta Y + \gamma (z-h) \right\} u - \alpha \rho^2}{(u^2+\rho^2)} \right]_{x+a}^{x-a}$$

TOMANDO DERIVADAS CON RESPECTO A X, Y, Z, OBTENEMOS LAS COMPONENTES MAGNÉTICAS. EN $Z=0$ LAS COMPONENTES MAGNÉTICAS ESTAN DADAS POR:

7.... $$H_x (x,Y,0) = \left[I_L \quad \frac{\alpha u + \beta Y - \gamma h}{u^2 + Y^2 + h^2} \right]_{x+a}^{x-a}$$

$$8.\ldots\ H_Y(x,Y,0) = \left[\frac{I_L}{(Y^2+h^2)r} \left\{ \frac{\alpha Y(Y^2+h^2)}{r^2} - \frac{(\beta Y-\gamma h)Yu}{r^2} + \left(\beta - \frac{2Y(\beta Y-\gamma h)}{(Y^2+h^2)}\right)u \right\} \right]_{x+a}^{x-a}$$

$$9.\ldots\ H_Z(x,Y,0) = \left[\frac{I_L}{(Y^2+h^2)r} \left\{ \frac{-\alpha h(Y^2+h^2)}{r^2} + \frac{(\beta Y-\gamma h)hu}{r^2} + \left(\gamma + \frac{2h(\beta Y-\gamma h)}{(Y^2+h^2)}\right)u \right\} \right]_{x+a}^{x-a}$$

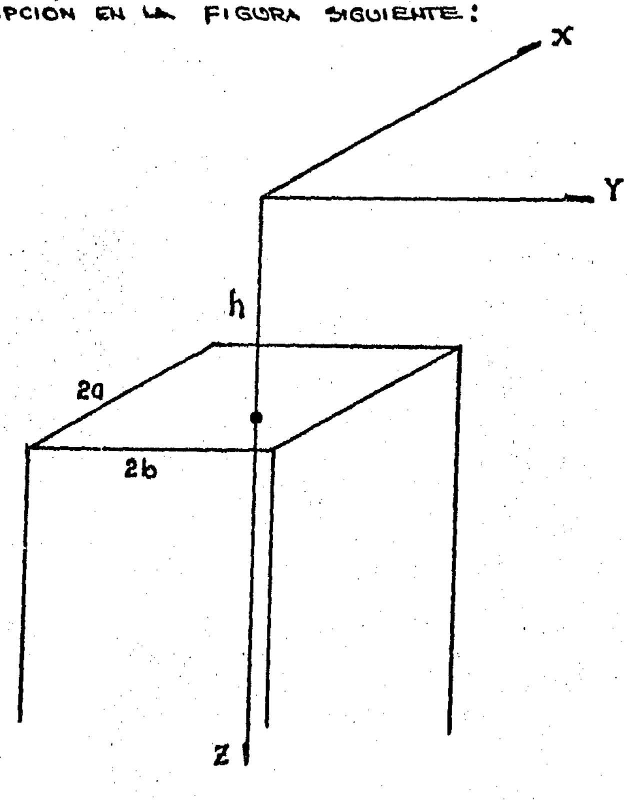
DONDE:

$$r = (u^2+Y^2+h^2)^{1/2}$$

CUERPOS DE FORMA PRISMATICA

CONSIDEREMOS UN CUERPO RECTANGULAR DE FORMA PRISMÁTICA, HOMOGENEAMENTE MAGNETIZADO, A UNA PROFUNDIDAD h BAJO EL PLANO DE OBSERVACIÓN, LA SUPERFICIE SUPERIOR EN LA CUAL ESTA UN PLANO HORIZONTAL Y LOS LADOS VERTICALES DE EXTENSIÓN INFINITA.

LAS DIMENSIONES HORIZONTALES DEL PRISMA PARALELAS AL EJE "Y" Y AL EJE "X" SON TOMADAS COMO $2a$ Y $2b$ RESPECTIVAMENTE. EL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN I_T (MOMENTO MAGNETICO POR UNIDAD DE VOLUMEN) ASOCIADO CON EL CUERPO ESTA CARACTERIZADO POR LOS COSENOS DIRECTORES (α, β, γ). SE ILUSTRA ESTA DESCRIPCIÓN EN LA FIGURA SIGUIENTE:



AFFLECK (1958) CONSIDERÓ LAS INTERRELACIONES ENTRE LAS COMPONENTES DE ANOMALÍA MAGNÉTICA Y DEMOSTRÓ QUE LAS COMPONENTES MAGNÉTICAS PUEDEN SER EXPRESADAS COMO:

10.... $$H_X = T_{XX} + T_{XY} + T_{XZ}$$

11.... $$H_Y = T_{YX} + T_{YY} + T_{YZ}$$

12.... $$H_Z = T_{ZX} + T_{ZY} + T_{ZZ}$$

DONDE T_{mn} REPRESENTA LA COMPONENTE DE LA INTENSIDAD EN LA DIRECCIÓN -m CAUSADA POR LA MAGNETIZACIÓN SOLAMENTE POR LA COMPONENTE EN LA DIRECCIÓN -n.

HAGAMOS A I_X, I_Y, I_Z LAS COMPONENTES DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN A LO LARGO DE LOS EJES X,Y,Z, RESPECTIVAMENTE. AFFLECK (1958) DEDUJO LAS SIGUIENTES RELACIONES:

$$\frac{T_{XY}}{I_Y} = \frac{T_{YX}}{I_X} \;\ldots\ldots 13 \qquad \frac{T_{XZ}}{I_Z} = \frac{T_{ZX}}{I_X} \;\ldots\ldots 14 \qquad \frac{T_{YZ}}{I_Z} = \frac{T_{ZY}}{I_Y} \;\ldots\ldots 15$$

$$\frac{T_{XX}}{I_X} + \frac{T_{YY}}{I_Y} + \frac{T_{ZZ}}{I_Z} = 0 \;\ldots\ldots 16$$

POR CONSIGUIENTE NECESITAMOS CALCULAR SÓLO 5 DE LOS 9 T_{mn}'S EN ORDEN PARA OBTENER LAS COMPONENTES MAGNÉTICAS.

BHATTACHARYYA (1966) DEDUJO LAS SIGUIENTES EXPRESIONES, PARA EL CASO DE UN PRISMA CON LADOS VERTICALES INFINITOS:

17..... $$T'_{XX} = \frac{T_{XX}}{I_X} = -\tan^{-1}\left(\frac{\xi\eta}{\xi^2 + r_0 h + h^2}\right)\Bigg|_{\xi_l}^{\xi_u}\Bigg|_{\eta_l}^{\eta_u}$$

18..... $$T'_{ZZ} = \frac{T_{ZZ}}{I_Z} = \tan^{-1}\left(\frac{\xi\eta}{r_0 h}\right)\Bigg|_{\xi_l}^{\xi_u}\Bigg|_{\eta_l}^{\eta_u}$$

19..... $$T'_{XY} = \frac{T_{XY}}{I_Y} = -\log(r_0 + h)\Bigg|_{\xi_l}^{\xi_u}\Bigg|_{\eta_l}^{\eta_u}$$

$$20\ldots\ldots \qquad T'_{xz} = \frac{T_{xz}}{I_z} = -\frac{1}{2}\log\left(\frac{r_0+\eta}{r_0-\eta}\right)\Bigg|_{\xi_l}^{\xi_u}\Bigg|_{\eta_l}^{\eta_u}$$

$$21\ldots\ldots \qquad T'_{zy} = \frac{T_{zy}}{I_y} = -\frac{1}{2}\log\left(\frac{r_0+\xi}{r_0-\xi}\right)\Bigg|_{\xi_l}^{\xi_u}\Bigg|_{\eta_l}^{\eta_u}$$

DONDE:

$$r_0^2 = \xi^2+\eta^2+h^2 \quad ; \quad \left|\begin{array}{l}\xi_u = a-x\\ \xi_l = -a-x\end{array}\right. \quad ; \quad \left|\begin{array}{l}\eta_u = b-y\\ \eta_l = -b-y\end{array}\right.$$

ASÍ, USANDO LAS ECUACIONES **10 A 21**, OBTENEMOS LAS COMPONENTES MAGNÉTICAS DEBIDO A UN PRISMA INFINITO

$$22\ldots \qquad H_x(x,y,0) = I_\nu\left[-\alpha\tan^{-1}\left(\frac{\xi\eta}{\xi^2+r_0h+h^2}\right)-\beta\log(r_0+h)-\frac{\gamma}{2}\log\left(\frac{r_0+\eta}{r_0-\eta}\right)\right]\Bigg|_{\xi_l}^{\xi_u}\Bigg|_{\eta_l}^{\eta_u}$$

$$23\ldots \qquad H_y(x,y,0) = I_\nu\left[-\alpha\log(r_0+h)-\beta\tan^{-1}\left(\frac{\xi\eta}{\eta^2+r_0h+h^2}\right)-\frac{\gamma}{2}\log\left(\frac{r_0+\xi}{r_0-\xi}\right)\right]\Bigg|_{\xi_l}^{\xi_u}\Bigg|_{\eta_l}^{\eta_u}$$

$$24\ldots\ldots \qquad H_z(x,y,0) = I_\nu\left[-\frac{\alpha}{2}\log\frac{r_0+\eta}{r_0-\eta}-\frac{\beta}{2}\log\left(\frac{r_0+\xi}{r_0-\xi}\right)+\gamma\tan^{-1}\left(\frac{\xi\eta}{r_0h}\right)\right]\Bigg|_{\xi_l}^{\xi_u}\Bigg|_{\eta_l}^{\eta_u}$$

ESTAS 3 ULTIMAS ECUACIONES PUEDEN SER USADAS FACILMENTE PARA OBTENER LAS COMPONENTES MAGNETICAS PARA CUERPOS PRISMÁTICOS DE EXTENSIÓN VERTICAL FINITA. SÍ EL CUERPO PRISMÁTICO TIENE SU CIMA A LA PROFUNDIDAD h_t DESDE EL PLANO DE OBSERVACIÓN Y SU BASE A LA PROFUNDIDAD h_b, NOSOTROS HEMOS DETERMINADO LOS CAMPOS DEBIDOS A LOS DOS CUERPOS DE EXTENSIÓN VERTICAL INFINITA, UNO A LA PROFUNDIDAD h_t Y EL OTRO A LA PROFUNDIDAD h_b, Y ASI SUSTRAER EL ULTIMO DEL PRIMERO EN ORDEN PARA EVALUAR LAS COMPONENTES MAGNÉTICAS DE ANOMALÍA PARA EL PRISMA FINITO.

TALWANI 2D

LA SECCION TRANSVERSAL DE UN CUERPO BIDIMENSIONAL DE FORMA ARBITRARIA ES REPRESENTADA PRIMERO POR UN POLIGONO IRREGULAR. LAS EXPRESIONES SON DEDUCIDAS PARA ANOMALIAS MAGNÉTICAS DE INTENSIDAD TOTAL, VERTICAL U HORIZONTAL CAUSADAS POR UN CUERPO POLIGONAL EN DOS DIMENSIONES. UN PROGRAMA PARA COMPUTADORA DIGITAL, EL CUAL HACE USO DE ESAS EXPRESIONES ES DESCRITO. EL MISMO PROGRAMA PUEDE SER USADO SÍ LA MAGNETIZACIÓN DEL CUERPO ES INDUCIDA, REMANENTE O COMBINADA.

EL CÁLCULO DE ANOMALIAS EN INTENSIDAD MAGNÉTICA CAUSADA POR ESTRUCTURAS DE FORMA Y MAGNETIZACIÓN ESPECÍFICAS TIENEN DOS APLICACIONES PRINCIPALES.

a). LA PRIMERA APLICACIÓN RELACIONA UNA COMPILACIÓN DEL PERFIL DE ANOMALIA PRODUCIDA POR CUERPOS DE GEOMETRIA RELATIVAMENTE SIMPLE. LOS DIFERENTES PERFILES SON CALCULADOS PARA CUERPOS CUYA PROFUNDIDAD, FORMA Y DIRECCIÓN DE MAGNETIZACIÓN VARIAN. TALES PERFILES SON USADOS EN EL LLAMADO MÉTODO "DIRECTO" DE INTERPRETACIÓN EN LA QUE LOS PERFILES DE ANOMALIA OBSERVADA ES COMPARADA CON UN PERFIL DEL MODELO Y ESTIMANDO ASI LA PROFUNDIDAD, FORMA, ETC., DEL CUERPO PRODUCTOR DE ANOMALIA.

UNA SERIE DE PERFILES "MODELO" DE INTENSIDAD TOTAL HAN SIDO OBTENIDOS POR HEIRTZLER Y OTROS (1962) USANDO PROGRAMAS POR COMPUTADORA DESCRITOS EN ESTE ARTÍCULO.

b). LA SEGUNDA APLICACIÓN RELACIONA AL LLAMADO MÉTODO "INDIRECTO" EN EL CUAL LAS ANOMALIAS SON CALCULADAS POR CUERPOS DE ENSAYO Y COMPARADOS CON LAS ANOMALIAS OBSERVADAS.

TALES CÁLCULOS SON GENERALMENTE MUY TEDEOSOS, PERO CON EL DESARROLLO DE PROGRAMAS POR COMPUTADORA, EL MÉTODO "INDIRECTO" HA LLEGADO A SER MÁS POPULAR.

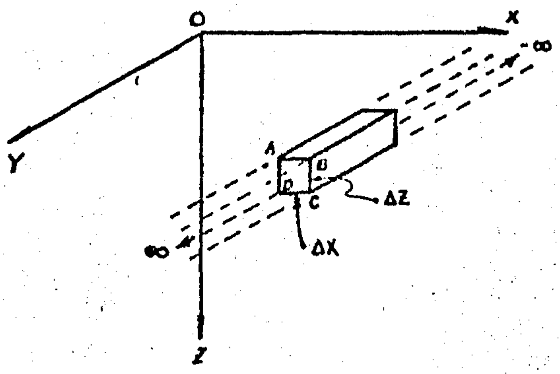
CUANDO LA FORMA Y DIMENSIONES DE LA ANOMALIA PRODUCIDA POR UN CUERPO ES CONOCIDA Y CUANDO PUEDE SER ASUMIDO QUE POSEE MAGNETIZACIÓN UNIFORME LOS CALCULOS DE ANOMALIA PUEDEN SER USADOS PARA INFERIR LA DIRECCIÓN ASI COMO TAMBIEN LA NATURALEZA (SEA INDUCIDA O REMA

NENTE) DE SU MAGNETIZACIÓN.

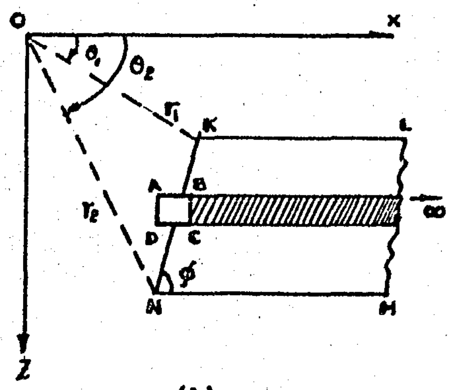
LAS ANOMALIAS MAGNÉTICAS BIDIMENSIONALES SON DEL TODO COMUNES Y ESTO DA VALOR AL MÉTODO PARA CALCULAR ANOMALIAS CAUSADAS POR - CUERPOS BIDIMENSIONALES. AUN CUÁNDO SU POSICIÓN DE DOS DIMENSIO- NES ES POBRE, NO OBSTANTE DA UNA PRIMERA PRUEBA DE APROXIMACIÓN A LA SOLUCIÓN LA CUAL ES ALGUNAS VECES TOTALMENTE ADECUADA.

LA FÓRMULA PARA LA ATRACCIÓN DE UN PRISMA SEMI-INFINITO BIDIMEN- SIONAL EL CUAL ES DEDUCIDO BAJO LOS PRIMEROS PRINCIPIOS, HA SIDO DADO EN UNA FORMA UN POCO DIFERENTE DEL DADO POR HEILAND (1946). ESTA FOR MULA ES USADA PARA OBTENER LA ANOMALIA MAGNÉTICA CAUSADA POR UN - CUERPO BIDIMENSIONAL CON LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN POLIGONO - IRREGULAR. COMO PUEDE SER RAPIDAMENTE APRECIADO, ESTO ES SIMPLE - PARA APROXIMAR TANTO LA SECCIÓN TRANSVERSAL IRREGULAR DE CUALQUIER CUERPO BIDIMENSIONAL POR UN POLIGONO Y, POR TANTO, ESTE MÉTODO PUEDE SER USADO PARA OBTENER LA ANOMALIA CAUSADA POR CUALQUIER CUERPO - CON FACILIDAD. UN PROGRAMA POR COMPUTADORA SIMILAR AL DESCRITO AN- TERIORMENTE HA SIDO ESCRITO POR LANDISMAN PARA LA IBM 650, Y HA SIDO - UTILIZADO POR GIRDLER Y PETER (1960).

FORMULACION



(a)



(b)

CONSIDEREMOS PRIMERO LA ANOMALIA MAGNÉTICA CAUSADA POR UN PRISMA - SEMI-INFINITO BIDIMENSIONAL KLMN MOSTRADO EN PERFIL EN LA FIGURA (b).

EL PRISMA SE EXTIENDE AL ∞ A LO LARGO DEL EJE $\underline{X}$ POSITIVO Y A LO LARGO DEL EJE $\underline{Y}$ TANTO POSITIVO COMO NEGATIVO. DEBEMOS DERIVAR LA ANOMALIA MAGNÉTICA PRODUCIDA POR ESTE PRISMA EN EL ORIGEN. CONSIDEREMOS PRIMERO LA ANOMALIA CAUSADA POR EL ELEMENTO DE BARRA DE SECCIÓN TRANSVERSAL ABCD MOSTRADO EN PERFIL EN LA FIGURA **b** Y TRIDIMENSIONAL EN LA FIGURA **a**.

SEA $\vec{J}$ LA INTENSIDAD DE MAGNETIZACIÓN; ENTONCES, EL MOMENTO MAGNÉTICO, $\vec{m}$, DEL ELEMENTO DE VOLUMEN $\Delta X \Delta Y \Delta Z$ ESTA DADO POR $\vec{m} = \vec{J}\,\Delta X \Delta Y \Delta Z$ Y SU POTENCIAL MAGNÉTICO EN EL ORIGEN ES:

$$\Omega = \frac{\vec{m}\cdot\vec{R}}{R^3} = \frac{J_x X + J_Y Y + J_z Z}{(X^2+Y^2+Z^2)^{3/2}}\,\Delta X \Delta Y \Delta Z$$

Y AQUEL DE LA VARILLA INFINITA DE SECCIÓN TRANSVERSAL ABCD ES:

$$\Omega = \Delta X \Delta Z \int_{-\infty}^{\infty} \frac{J_x X + J_Y Y + J_z Z}{(X^2+Y^2+Z^2)^{3/2}}\, dY = 2\Delta X \Delta Z\, \frac{J_x X + J_z Z}{X^2+Z^2}$$

LA FUERZA MAGNÉTICA VERTICAL ES:

1.... $$V = -\frac{\partial \Omega}{\partial Z} = 2\Delta X \Delta Z\, \frac{2XZ J_x - J_z(X^2-Z^2)}{(X^2+Z^2)^2}$$

Y LA FUERZA DE CAMPO HORIZONTAL MEDIDA EN LA DIRECCIÓN $\underline{X}$ ES:

2.... $$H = -\frac{\partial \Omega}{\partial X} = 2\Delta X \Delta Z\, \frac{J_x(X^2-Z^2) + 2XZ J_z}{(X^2+Z^2)^2}$$

NO HAY FUERZA DE CAMPO HORIZONTAL MEDIDA EN LA DIRECCIÓN $\underline{Y}$. EL VALOR DE V Y DE H PARA LA LAMINA SOMBREADA EN LA FIGURA b, SON OBTENIDOS POR INTEGRACIÓN DE 1 Y 2 CON RESPECTO A X, LOS LIMITES DE INTEGRACIÓN SON DE X A ∞. PARA ESTA LAMINA, ENTONCES, UNO OBTIENE:

$$V = 2\Delta Z\, \frac{J_x Z - J_z X}{X^2+Z^2}$$

$$H = 2\Delta Z\, \frac{J_x X + J_z Z}{X^2+Z^2}$$

PARA EL PRISMA KLMN LAS EXPRESIONES TIENEN QUE SER INTEGRADAS CON RESPECTO A Z, Y NOTANDO QUE A LO LARGO DE KN, $X = (x_1 + Z_1 \cot\phi) - Z\cot\phi$,

3....
$$V = 2\int_{z_1}^{z_2} \frac{J_x Z - J_z X}{X^2 + Z^2}\, dZ =$$

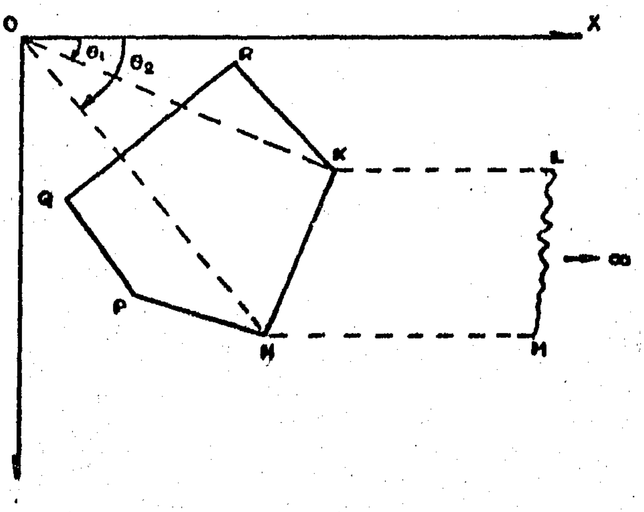
$$= 2 \operatorname{sen}\phi \left[J_x \left\{ (\theta_2 - \theta_1)\cos\phi + \operatorname{sen}\phi \log \frac{r_2}{r_1} \right\} - J_z \left\{ (\theta_2 - \theta_1)\operatorname{sen}\phi - \cos\phi \log \frac{r_2}{r_1} \right\} \right]$$

4....
$$H = 2\int_{z_1}^{z_2} \frac{J_x X + J_z Z}{X^2 + Z^2}\, dZ =$$

$$= 2 \operatorname{sen}\phi \left[J_x \left\{ (\theta_2 - \theta_1)\operatorname{sen}\phi - \cos\phi \log \frac{r_2}{r_1} \right\} + J_z \left\{ (\theta_2 - \theta_1)\cos\phi + \operatorname{sen}\phi \log \frac{r_2}{r_1} \right\} \right]$$

LA ANOMALIA MAGNÉTICA CAUSADA POR UN CUERPO DE SECCIÓN POLIGONAL - KNPQRK PUEDE SER EVALUADO OBTENIENDO LAS ANOMALIAS PARA PRISMAS COMO KLMN Y ASI SUMAR ESTOS CONSIDERANDO UN SIGNO APROPIADO. NOTAMOS QUE SÍ - ESTAMOS PROCEDIENDO EN EL SENTIDO DE LAS MANECILLAS EN TORNO A LAS ES-QUINAS DEL POLIGONO KNPQR, ENTONCES, PARA SEGMENTOS TAL COMO KN PARA EL CUAL θ SE INCREMENTA, LA ANOMALIA CAUSADA POR EL PRISMA CORRESPONDIENTE KLMN DEBE SER CONSIDERADA NEGATIVAMENTE.

LAS ECUACIONES 3 Y 4 PARA LA ANOMALÍA MAGNÉTICA PUEDE SER REESCRITA ENTONCES CON SIGNO NEGATIVO, Y SON REORDENADOS POR CONVENIENCIA.



QUEDANDO:

$$V = 2(J_x Q - J_z P) \quad \ldots . \; 5$$

$$H = 2(J_x P + J_z Q) \quad \ldots . \; 6$$

DONDE:

$$P = \frac{Z_{21}^2}{Z_{21}^2 + X_{12}^2}(\theta_1 - \theta_2) + \frac{Z_{21} X_{12}}{Z_{21}^2 + X_{12}^2} \log \frac{r_2}{r_1}$$

$$Q = \frac{Z_{21} X_{12}}{Z_{21}^2 + X_{12}^2}(\theta_1 - \theta_2) - \frac{Z_{21}^2}{Z_{21}^2 + X_{12}^2} \cdot \log \frac{r_2}{r_1}$$

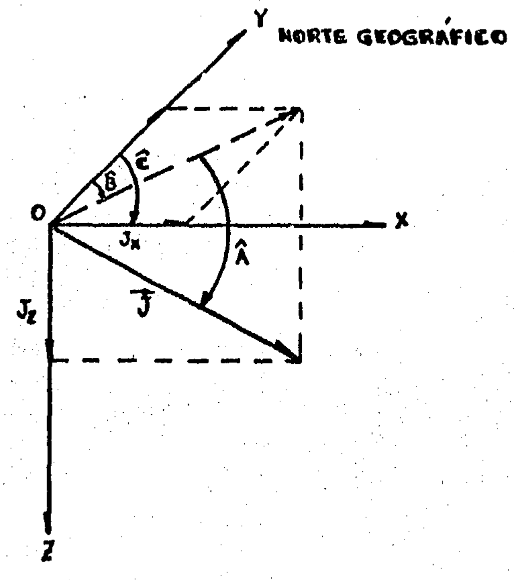
Y:

$$X_{12} = X_1 - X_2 \; ; \quad Z_{21} = Z_2 - Z_1 \; ; \quad r_1 = \sqrt{X_1^2 + Z_1^2} \; ; \quad r_2 = \sqrt{X_2^2 + Z_2^2}$$

SÍ UNO PROCEDE EN EL SENTIDO DEL MOVIMIENTO DE LAS MANECILLAS DEL RELOJ, EN LAS EXPRESIONES QUE SE OCUPAN PARA CADA SEGMENTO DEL POLIGONO, LOS SUBINDICES 1, 2 INDICAN LAS ESQUINAS SUCESIVAS EN CADA CASO.

UN PERFIL MAGNÉTICO ES CALCULADO MOVIENDO EL ORIGEN SUCESIVAMENTE A VARIOS PUNTOS A LO LARGO DEL EJE X. (ENTONCES EL PERFIL MAGNÉTICO SERÁ DETERMINADO PARA UNA LINEA DE ANGULOS RECTOS RESPECTO AL EJE DEL POLIGONO).

PARA EVALUAR J_x Y J_z TENEMOS QUE ADOPTAR LA SIGUIENTE CONVENCIÓN



SEA LA INCLINACIÓN DE $\vec{J}$ POSITIVA, SÍ BAJO EL HORIZONTE ESTA REPRESENTADA POR $\hat{A}$. SEA EL ANGULO $\hat{B}$ MEDIDO EN EL SENTIDO DE LAS MANECILLAS DEL RELOJ A

PARTIR DEL NORTE GEOGRÁFICO HASTA EL LUGAR DE LA PROYECCIÓN HORIZONTAL. Y SEA EL ANGULO $\hat{C}$, COMO AQUEL QUE SE ENCUENTRA EN EL PLANO HORIZONTAL FORMADO POR EL EJE POSITIVO X Y EL NORTE GEOGRÁFICO MEDIDO A PARTIR DE ESTE EN EL SENTIDO DEL MOVIMIENTO DEL RELOJ. ENTONCES:

$$J_x = J \cos A \cos (C-B)$$

$$J_z = J \,\mathrm{sen}\, A$$

SI LA MAGNETIZACIÓN ES POR INDUCCIÓN $\vec{J} = k\vec{F}$ Y $A = I$, $B = D$, DONDE I Y D SON LAS DIRECCIONES DE LA INCLINACIÓN Y DECLINACIÓN DEL CAMPO TERRESTRE RESPECTIVAMENTE.

SÍ QUEREMOS EVALUAR LA ANOMALIA DE INTENSIDAD TOTAL T, ENTONCES, PARA ANOMALIAS CHICAS CON RESPECTO AL CAMPO TOTAL F, T ES LA SUMA DE LAS PROYECCIONES DE H Y V A LO LARGO DE LA DIRECCIÓN DE F.

i.e.

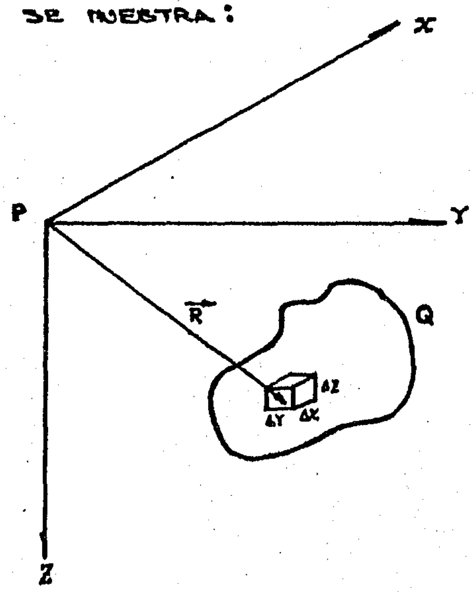
7.... $$T = V \,\mathrm{sen}\, I + H \cos I \cos (C-D)$$

TALWANI (3D)

LAS FORMULAS SON DEDUCIDAS PARA ANOMALIAS MAGNÉTICAS CAUSADAS POR LAMINAS DE POLIGONOS IRREGULARES. SON USADAS PARA OBTENER LAS 3 COMPONENTES DE LAS ANOMALIAS MAGNÉTICAS CAUSADAS POR CUERPOS FINITOS MAGNETIZADOS HOMOGENEAMENTE DE FORMA ARBITRARIA. NO HAY RESTRICCIÓN PARA LA DIRECCIÓN DE MAGNETIZACIÓN; EN GENERAL, ESTA PUEDE SER DIFERENTE QUE LA DEL CAMPO TERRESTRE. TAMBIEN SON OBTENIDAS LAS ANOMALIAS DE INTENSIDAD TOTAL. EL USO DE ESAS FORMULAS EN UN PROGRAMA DE COMPUTADORA ES DISCUTIDO E ILUSTRADO. LAS FORMULAS SIMPLIFICADAS SON PRESENTADAS PARA LAS ANOMALIAS CAUSADAS POR LAMINAS RECTANGULARES FINITAS. PARA CUERPOS DE FORMA COMPLEJA, EL PROGRAMA DE COMPUTADORA PUEDE SER USADO PREFERENTEMENTE PARA EL CÁLCULO DE ANOMALIAS MAGNÉTICAS CAUSADAS POR CUERPOS DE GEOMETRIA RELATIVAMENTE SIMPLE.

ENUNCIADO DEL PROBLEMA

CONSIDERENOS UN SISTEMA DE REFERENCIA DE MANO DERECHA COMO EL QUE A CONTINUACIÓN SE MUESTRA:



PARA EL ELEMENTO DE VOLUMEN ΔXΔYΔZ DEL CUERPO Q, EL POTENCIAL MAGNÉTICO EN EL ORIGEN ESTA DADO POR: $\Omega = \frac{\mu \cdot R}{R^3}$, DONDE μ ES EL MOMENTO MAGNÉTICO DEL ELEMENTO DE VOLUMEN ΔXΔYΔZ Y R EL VECTOR DE POSICIÓN.

SÍ J ES LA INTENSIDAD DE MAGNETIZACIÓN DE ESTE CUERPO, CONSIDERADA UNIFORME, $\mu = J\,\Delta X \Delta Y \Delta Z$, Y SÍ J_X, J_Y Y J_Z SON LAS TRES COMPONENTES DE J, ENTONCES:

(1).... $$\Omega = \frac{J_x \cdot X + J_Y \cdot Y + J_Z \cdot Z}{R^3} \Delta X \Delta Y \Delta Z$$

LAS 3 COMPONENTES DE LA INTENSIDAD MAGNÉTICA PARA EL CUERPO Q SON

$$\Delta X = \iiint -\frac{\partial \Omega}{\partial X} dxdydz \quad ; \quad \Delta Y = \iiint -\frac{\partial \Omega}{\partial Y} dxdydz \quad ; \quad \Delta Z = \iiint -\frac{\partial \Omega}{\partial Z} dxdydz$$

HACIENDO LA INTEGRACIÓN TRIPLE SOBRE EL CUERPO Q.

SUSTITUYENDO EL VALOR DE Ω DE (1) Y DIFERENCIANDO CON RESPECTO A X, Y, Z RESPECTIVAMENTE OBTENEMOS:

(2)... $\Delta X = J_X V_1 + J_Y V_2 + J_Z V_3$; $\Delta Y = J_X V_2 + J_Y V_4 + J_Z V_5$; $\Delta Z = J_X V_3 + J_Y V_5 + J_Z V_6$

DONDE:

(3)....
$$\begin{cases} V_1 = \iiint \frac{3X^2 - R^2}{R^5} dxdydz \quad ; \quad V_2 = \iiint \frac{3XY}{R^5} dxdydz \\ V_3 = \iiint \frac{3XZ}{R^5} dxdydz \quad ; \quad V_4 = \iiint \frac{3Y^2 - R^2}{R^5} dxdydz \\ V_5 = \iiint \frac{3YZ}{R^5} dxdydz \quad ; \quad V_6 = \iiint \frac{3Z^2 - R^2}{R^5} dxdydz \end{cases}$$

ESTAS EXPRESIONES REPRESENTAN LAS INTEGRACIONES SOBRE EL VOLUMEN Q.

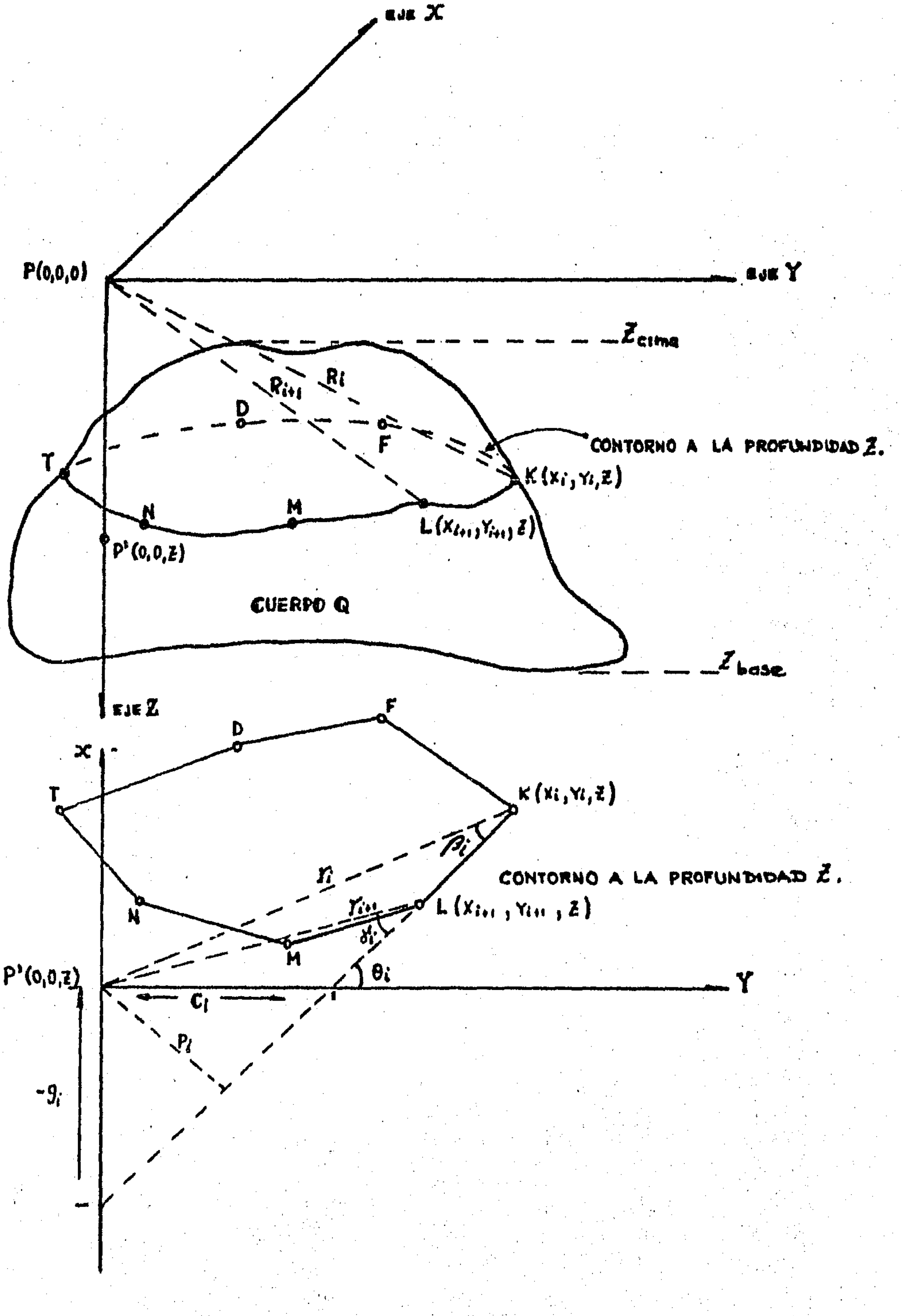
DISCUSION

EL MÉTODO DESCRITO EN ESTE ARTICULO REALIZA UNA DOBLE INTEGRACIÓN ANALITICA Y UNA INTEGRAL NUMÉRICA. EL CUERPO AL QUE SE LE EVALUA LA ANOMALIA ES REPRESENTADO POR CONTORNOS (FIGURA QUE SIGUE). CADA CONTORNO ES ENTONCES REEMPLAZADO POR UNA LAMINA POLIGONAL. HACIENDO EL NÚMERO DE LADOS DE ESTE POLIGONO GRANDE, EL POLIGONO LIMITANTE PUEDE SER REPRESENTADO TAN EXACTO COMO SE DESEE. LA DOBLE INTEGRACIÓN SE EFECTUA SOBRE LA SUPERFICIE DE CADA UNA DE LAS LAMINAS POLIGONALES HORIZONTALES. ENTONCES LA INTEGRACIÓN NUMÉRICA ES REALIZADA CON RESPECTO AL EJE Z. UNO DE LOS CONTORNOS EN LA FIGURA SIGUIENTE HA SIDO REPRESENTADA POR LA LAMINA POLIGONAL KLMNTDFK. TOMEMOS AL PUNTO P COMO ORIGEN, EN EL QUE SE DETERMINA LA ANOMALIA Y P' EL PUNTO DIRECTAMENTE BAJO EL PUNTO P A UNA DISTANCIA Z Y EN EL PLANO DE KLMNTDFK.

TOMEMOS LA PARTE SUPERFICIAL DE LAS INTEGRALES DE VOLUMEN DENOTADAS POR $S_1, S_2, S_3, \ldots S_6$ RESPECTIVAMENTE COMO:

$$S_1 = \iint \frac{3X^2 - R^2}{R^5}\, dxdy \; ; \quad S_2 = \iint \frac{3XY}{R^5}\, dxdx \; ; \quad S_3 = \iint \frac{3XZ}{R^5}\, dxdy$$ Y ASI SUCE-SIVAMENTE.

TENEMOS QUE RESOLVER ESAS INTEGRALES DE SUPERFICIE PARA LA SUPERFICIE DE KLMNTDFK. TOMEMOS EN CUENTA LA SIGUIENTE FIGURA:



EN LA FIGURA ANTERIOR: KL ES EL i-ESIMO LADO DEL POLIGONO,

P_i ES LA DISTANCIA PERPENDICULAR DE P' A KL

g_i ES LA INTERSECCIÓN DE KL CON EL EJE X.

C_i ES LA INTERSECCIÓN DE KL CON EL EJE Y.

SÍ θ_i, β_i, γ_i SON ÁNGULOS Y r_i, r_{i+1}, R_i Y R_{i+1} DISTANCIAS, ENTONCES S_1, S_2, S_3, ... S_6 PUEDEN SER RESUELTAS PARA OBTENER:

$$
(4)\ldots\left\{
\begin{aligned}
S_1 &= \sum_i \frac{\cos^2\theta_i}{Z^2+P_i}\left(\frac{g_i Y_{i+1} - Z^2\tan\theta_i}{R_{i+1}} - \frac{g_i Y_i - Z^2\tan\theta_i}{R_i}\right)\\
S_2 &= \sum_i \frac{\cos^2\theta_i}{Z^2+P_i}\left(\frac{g_i Y_{i+1}\tan\theta_i + g_i + Z^2}{R_{i+1}} - \frac{g_i Y_i\tan\theta_i + g_i + Z^2}{R_i}\right)\\
S_3 &= \sum_i \frac{Z\cos^2\theta_i}{Z^2+P_i^2}\left(\frac{Y_{i+1}\sec^2\theta_i + g_i\tan\theta_i}{R_{i+1}} - \frac{Y_i\sec^2\theta_i + g_i\tan\theta_i}{R_i}\right)\\
S_4 &= \sum_i \frac{\operatorname{sen}^2\theta_i}{Z^2+P_i^2}\left(\frac{C_i X_{i+1} - Z^2\cot\theta_i}{R_{i+1}} - \frac{C_i X_i - Z^2\cot\theta_i}{R_i}\right)\\
S_5 &= \sum_i \frac{Z\operatorname{sen}^2\theta_i}{Z^2+P_i^2}\left(\frac{X_{i+1}\csc^2\theta_i + C_i\cot\theta_i}{R_{i+1}} - \frac{X_i\csc^2\theta_i + C_i\cot\theta_i}{R_i}\right)\\
S_6 &= \sum_i \frac{P_i}{Z^2+P_i^2}\left(\frac{r_{i+1}\cos\gamma_i}{R_{i+1}} - \frac{r_i\cos\beta_i}{R_i}\right)
\end{aligned}
\right.
$$

LAS SUMATORIAS SON HECHAS PARA EL TOTAL DE LADOS DEL POLIGONO. LAS FUNCIONES TRIGONOMETRICAS $\tan\theta_i$, $\cot\theta_i$, $\operatorname{sen}\theta_i$, $\cos\theta_i$, $\sec\theta_i$, $\csc\theta_i$, $\cos\beta_i$, $\cos\gamma_i$, ASI COMO LAS INTERSECCIONES C_i Y g_i, LAS DISTANCIAS r_i, r_{i+1}, R_i, R_{i+1} Y P_i PUEDEN SER EXPRESADAS EN TERMINOS DE X_i, Y_i, LAS COORDENADAS DE K Y X_{i+1}, Y_{i+1} LAS COORDENADAS DE L.

ENTONCES VEMOS QUE LAS INTEGRALES S_1, S_2, ... S_6, TODAS PUEDEN SER EXPRESADAS EN FORMA CERRADA EN TERMINOS DE LAS COORDENADAS CARTESIANAS DE LAS ESQUINAS DEL POLIGONO. SIMILARMENTE S_1, S_2, ... S_6 SON EVALUADAS PARA TODOS LOS OTROS CONTORNOS. FINALMENTE V_1, V_2, ... V_6 SON EVALUADAS REALIZANDO LAS INTEGRACIONES NUMÉRICAS $V_1 = \int S_1\,dZ$, ... $V_6 = \int S_6\,dZ$. SIENDO LOS LIMITES DE INTEGRACIÓN Z_{fondo} Y Z_{cima}. UN PROCEDIMIENTO CONVENIENTE PARA REALIZAR LA INTEGRACIÓN NUMÉRICA ES AJUSTAR PARABOLAS A SERIES SUCESIVAS DE ESOS PUNTOS Y ASI DEFINIR EL ÁREA CONTENIDA ENTRE LAS PARÁBOLAS Y EL EJE Z.

SÍ S_{1_0}, S_{1_1}, S_{1_2} SON LOS VALORES DE S_1 CORRESPONDIENTES A LOS CONTORNOS A LAS

PROFUNDIDADES Z_0, Z_1 Y Z_2 RESPECTIVAMENTE, LA CONTRIBUCIÓN DE V_1 POR LA PORCION DEL CUERPO ENTRE LOS PLANOS HORIZONTALES Z_0 Y Z_2 ESTA DADO POR

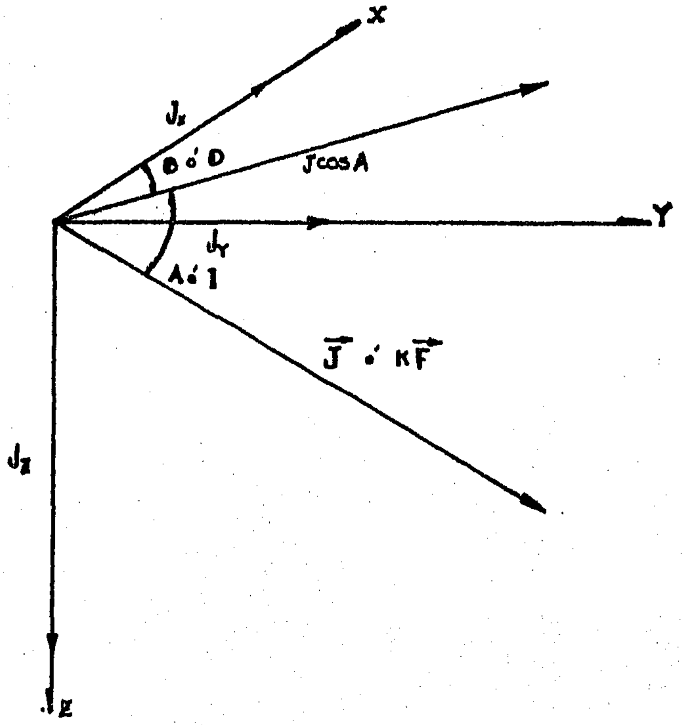
$$(5)\ldots\quad \int_{Z_0}^{Z_2} S_1\,dZ = \frac{1}{6}\left\{ S_{1_0}\,\frac{Z_0-Z_2}{Z_0-Z_1}\,(3Z_1-Z_2-2Z_0) + S_{1_1}\,\frac{(Z_0-Z_2)^3}{(Z_1-Z_2)(Z_1-Z_0)} + S_{1_2}\,\frac{Z_0-Z_2}{Z_2-Z_1}\,(3Z_1-Z_0-2Z_2)\right\}$$

SÍ LOS CONTORNOS ESTAN IGUALMENTE ESPACIADOS, ESTO ES $Z_0-Z_1=Z_1-Z_2$, LA ECUACIÓN (5) PUEDE SER IDENTIFICADA CON UN TÉRMINO A PARTIR DE LA REGLA DE SIMPSON. SELECCIONANDO UNA SERIE SUCESIVA DE ESOS PUNTOS, LA INTEGRACIÓN NUMÉRICA PUEDE SER LLEVADA A LO LARGO DEL RANGO COMPLETO DE LAS Z'S Y V_1 PUEDE SER OBTENIDO, Y ASI OBTENER DESPUES S_2 PARA TODOS LOS CONTORNOS Y LA INTEGRACIÓN NÚMÉRICA PUEDE SER REALIZADA PARA CONSEGUIR V_2. SIMILARMENTE V_3, V_4, V_5 Y V_6 PUEDEN SER OBTENIDOS. CAMBIANDO EL ORIGEN A OTRO PUNTO Y REFIRIENDO LAS COORDENADAS DE TODAS LAS ESQUINAS DEL POLIGONO A ESTE PUNTO, LOS VALORES DE $V_1, V_2, \ldots, V_6$ PUEDEN SER OBTENIDOS EN ESTE PUNTO TAMBIEN. ENTONCES, CONOCIENDO LOS VALORES DE J_X, J_Y, J_Z LAS COMPONENTES DEL VECTOR MAGNETIZACIÓN, LOS VALORES PARA CUALQUIER PUNTO DE $V_1, V_2, \ldots, V_6$ PUEDEN SUSTITUIRSE EN LA ECUACIÓN (2) PARA OBTENER LAS 3 COMPONENTES DE LA ANOMALIA MAGNÉTICA $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$.

SÍ LAS ANOMALIAS QUE CORRESPONDEN A DIFERENTES VALORES DE J_X, J_Y Y J_Z TIENEN QUE SER DETERMINADAS, ESTO ES, PARA DIFERENTES VALORES DE LA INTENSIDAD Y DIRECCIÓN DEL VECTOR J, UNO NO TIENE QUE REVALUAR $V_1, V_2, \ldots V_6$ QUE CONSUMEN LA MAYOR PARTE EN LA COMPUTACIÓN. TODO LO QUE UNO NECESITA ES SUSTITUIR LOS NUEVOS VALORES DE J_X, J_Y Y J_Z EN (2). LA FIGURA QUE SIGUE MUESTRA LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS INVOLUCRADOS. TOMAMOS AL ÁNGULO A COMO AQUEL QUE SE FORMA ENTRE EL HORIZONTE Y EL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN TOTAL J (MEDIDO HACIA ABAJO DESDE EL HORIZONTE) Y TOMAMOS SU PROYECCIÓN HORIZONTAL PARA FORMAR EL ÁNGULO B ENTRE ESTA Y EL EJE POSITIVO X. (MEDIDO EN EL SENTIDO DE LAS MANECILLAS DEL RELOJ DESDE EL EJE X). HEMOS SELECCIONADO EL EJE X A LO LARGO DEL NORTE GEOGRÁFICO Y AL EJE Y A LO LARGO DEL ESTE GEOGRÁFICO.

SI LA MAGNETIZACIÓN ES POR INDUCCIÓN EN EL CAMPO TERRESTRE, $J=KF$, DONDE F ES LA INTENSIDAD TOTAL DEL CAMPO TERRESTRE Y K LA SUSCEPTIBILIDAD EFECTIVA, Y $A=I$, $B=D$, DONDE I Y D SON LA INCLINACIÓN Y DECLINACIÓN DEL CAMPO TERRESTRE,

RESPECTIVAMENTE. LO ANTERIORMENTE EXPUESTO SE ILUSTRA EN LA FIGURA SIGUIENTE:



DE DONDE:

$$
(6)\ldots\quad
\begin{aligned}
J_X &= J\cos A\cos B\\
J_Y &= J\cos A\,\mathrm{sen}\,B\\
J_Z &= J\,\mathrm{sen}\,A
\end{aligned}
$$

ANOMALIAS DE INTENSIDAD TOTAL

SÍ F ES EL VALOR DEL CAMPO TOTAL NORMAL, LA ANOMALIA DE INTENSIDAD - TOTAL ESTA DADA POR:

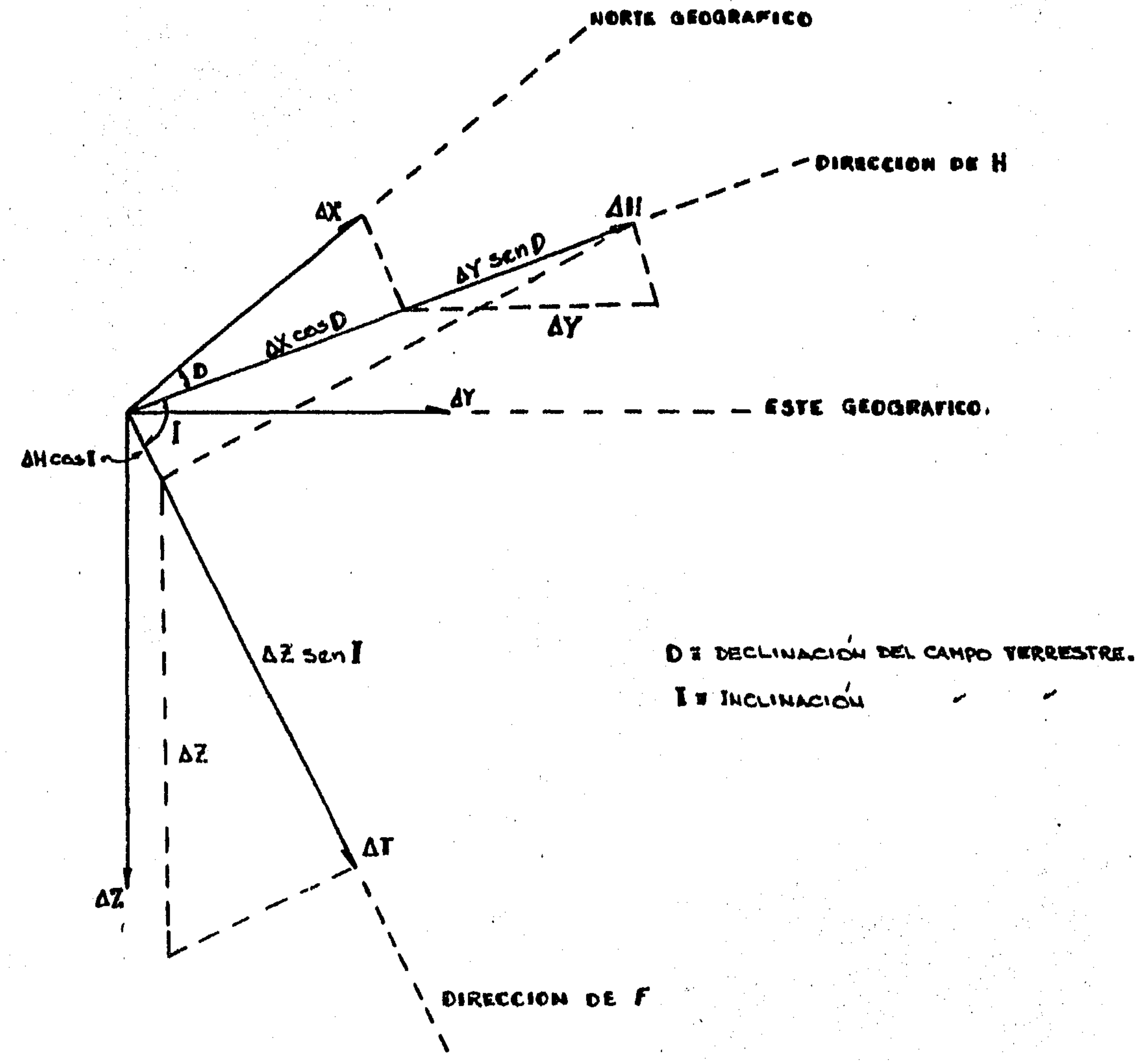
$$(7)\ldots\quad \Delta T = \left\{ (F_X+\Delta X)^2 + (F_Y+\Delta Y)^2 + (F_Z+\Delta Z)^2 \right\}^{1/2} - F$$

DONDE:

F_X, F_Y, F_Z SON LAS COMPONENTES DE F

SÍ LA ANOMALIA ES PEQUEÑA COMPARADA A LA INTENSIDAD DE CAMPO NO DISTURBADO. LA DIRECCIÓN DEL CAMPO TOTAL (INCLUYENDO LA ANOMALIA) PUEDE ASUMIRSE COMO LA MISMA QUE PARA EL CAMPO NO DISTURBADO, ENTONCES ΔT ESTA DADO POR LA SUMA DE LAS PROYECCIONES DE ΔX, ΔY Y ΔZ EN LA DIRECCIÓN DE F COMO SE MUESTRA

EN LA FIGURA QUE SIGUE.



DE DONDE:

(8).... $$\Delta T = \Delta X \cos D \cos I + \Delta Y \operatorname{sen} D \cos I + \Delta Z \operatorname{sen} I$$

LA ANOMALIA EN LA COMPONENTE HORIZONTAL DEL CAMPO MAGNÉTICO ESTÁ DADA SIMILARMENTE POR:

$$\Delta H = \Delta X \cos D + \Delta Y \operatorname{sen} D$$

A PARTIR DE LAS ECUACIONES (2) Y (8) PODEMOS EXPRESAR ΔT EN TÉRMINOS DE J_x, J_y Y J_z, COMO:

$$(9)\ldots\ldots \quad \Delta T = J_x\,(V_1 \cos D \cos I + V_2 \operatorname{sen} D \cos I + V_3 \operatorname{sen} I) + J_Y\,(V_2 \cos D \cos I + V_4 \operatorname{sen} D \cos I + V_5 \operatorname{sen} I) + J_Z\,(V_3 \cos D \cos I + V_5 \operatorname{sen} D \cos I + V_6 \operatorname{sen} I)$$

EN LA ECUACIÓN (9) LA PRINCIPAL LABOR ES INCLUIR LA EVALUACIÓN DE V_1, V_2, ... V_6. NOTAMOS QUE V_4 NO TIENE QUE EVALUARSE INDEPENDIENTEMENTE PUESTO QUE $V_1 + V_4 + V_6 = 0$. SÍ LA DIRECCIÓN DE MAGNETIZACIÓN ES LA MISMA QUE LA DEL CAMPO TERRESTRE, ALGUNA VENTAJA ES GANADA SELECCIONANDO EL NORTE MAGNÉTICO MÁS BIEN QUE EL NORTE GEOGRÁFICO COMO EJE X PORQUE EN ESTE CASO $J_Y = 0$, $\operatorname{sen} D = 0$ Y UNO NO TIENE QUE EVALUAR V_2 Y V_5. SÍ UNO ESTÁ EVALUANDO LA ANOMALIA DE INTENSIDAD VERTICAL ΔZ, ENTONCES A PARTIR DE (2) SOLAMENTE V_3 Y V_6 SON REQUERIDAS. SIN EMBARGO, EN EL CASO GENERAL CUANDO LA DIRECCIÓN DE MAGNETIZACIÓN NO ES LA MISMA QUE LA DEL CAMPO TERRESTRE NO HAY VENTAJA TENIENDO AL EJE X A LO LARGO DEL NORTE MAGNÉTICO, PORQUE AUNQUE $\operatorname{sen} D = 0$, J_Y NO ES CERO Y UNO TIENE QUE EVALUAR V_2 Y V_5. NOSOTROS HEMOS PREFERIDO TOMAR EL EJE X A LO LARGO DEL NORTE GEOGRÁFICO. PUESTO QUE LA MAYORIA DE LOS MAPAS DE CONTORNO SON CONSTRUIDOS CON EL NORTE GEOGRÁFICO ARRIBA. ESTA SELECCIÓN DEL EJE X ASISTE EN LA LECTURA DE LAS COORDENADAS DE LAS ESQUINAS DEL POLIGONO EL CUAL REPRESENTA EL CONTORNO.

DE (9) NOTAMOS QUE LOS COEFICIENTES DE J_x, J_Y, Y J_Z EN LA EXPRESIÓN PARA ΔT CONTIENE TÉRMINOS QUE DEPENDEN SOLAMENTE DE LA GEOMETRIA DEL CUERPO O LA DIRECCIÓN DEL CAMPO TERRESTRE. ENTONCES, SI ESOS TÉRMINOS SON DETERMINADOS UNA VEZ PARA UN CUERPO DADO Y PARA UNA DIRECCIÓN PARTICULAR DEL CAMPO TERRESTRE, LAS ANOMALIAS DE INTENSIDAD TOTAL PARA DIFERENTES MAGNITUDES Y DIRECCIONES PARA EL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN TOTAL (ESTO ES PARA DIFERENTES VALORES DE J_x, J_Y, J_Z) PUEDEN SER DETERMINADAS POR SIMPLE MULTIPLICACIÓN.

COMO SE APLICA EN EL PRESENTE MÉTODO, EL VALOR DE ΔT EN (9) ES CONOCIDO EN CADA UNO DE LOS PUNTOS DEL LEVANTAMIENTO, D E I SON CONOCIDAS Y $V_1, V_2, \ldots V_6$ SON DETERMINADAS POR LA COMPUTADORA A PARTIR DE LA GEOMETRIA DEL CUERPO. J_x, J_Y, J_Z SON LAS UNICAS CANTIDADES DESCONOCIDAS Y SI EL LEVANTAMIENTO HA SIDO HECHO EN NÚMERO DE PUNTOS, ELLOS PUEDEN SER DETERMINADOS POR EL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

COMO EL AUTOR LO VE, LA VENTAJA DE LA COMPUTADORA ES QUE SU ACELE-RACIÓN HACE EL MÉTODO INDIRECTO DE INTERPRETACIÓN TOTALMENTE FACTIBLE. LAS ANOMALIAS PUEDEN SER RAPIDAMENTE CALCULADAS CON DIFERENTES VALORES PARA LOS PARÁMETROS, FORMA, MAGNETIZACIÓN, ETC., DEL CUERPO. DE LOS RESUL-TADOS DE LOS CÁLCULOS PODEMOS IMPONER LÍMITES DENDRO DE LOS CUALES ESOS PARÁMETROS DEBEN VARIAR. CON LA AYUDA DE OTROS DATOS GEOFÍSICOS PODRIA SER POSIBLE ESPECIFICAR AL CUERPO COMPLETAMENTE PRECISO.

BHATTACHARYYA 2D

RESUMEN

SE HACE UN ESTUDIO DE ANOMALIAS MAGNÉTICAS CAUSADAS POR CUERPOS DE FORMA PRISMÁTICA CON POLARIZACIÓN ARBITRARIA. LAS EXPRESIONES DEL CAMPO TOTAL SON DEDUCIDAS SOBRE LA SUPOSICIÓN DE LA MAGNETIZACIÓN UNIFORME A TRAVÉS DEL CUERPO. LAS FÓRMULAS PARA TODOS LOS CASOS POSIBLES EN CONECCIÓN CON UN PRISMA RECTANGULAR DE LADOS VERTICALES PUEDEN SER OBTENIDAS TANTO DIRECTAMENTE POR MEDIO DE ESTE ARTÍCULO O POR EXTENSIÓN DE LAS FÓRMULAS DADAS AQUI. USANDO LAS EXPRESIONES EXACTAS DADAS EN ESTE ARTÍCULO, EL CAMPO TOTAL ES EVALUADO CONVENIENTEMENTE Y RAPIDAMENTE CON LA AYUDA DE UNA COMPUTADORA DIGITAL.

EL EFECTO DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN Y DECLINACIÓN DEL VECTOR DE POLARIZACIÓN SOBRE LA DIMENSIÓN Y FORMA DE LA ANOMALIA MAGNÉTICA, ES ESTUDIADO PARA EL CASO EN EL QUE EL VECTOR DE CAMPO NORMAL TERRESTRE TOTAL TIENE UN ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE 60° Y DECLINACIÓN DE 0°. CON UN INCREMENTO EN LA INCLINACIÓN DEL ÁNGULO DEL VECTOR DE POLARIZACIÓN, LA ANOMALÍA NEGATIVA QUE OCURRE EN EL NORTE DEL CUERPO CAUSANTE DISMINUYE EN MAGNITUD, MIENTRAS QUE LA ANOMALÍA POSITIVA Y LA SEGUNDA DERIVADA INCREMENTAN AL MÁXIMO VALOR Y ENTONCES DECRECEN. CON UN INCREMENTO EN LA DECLINACIÓN, ESTA ULTIMA TENDENCIA ES REPETIDA CON LA ANOMALIA POSITIVA PERO LA ANOMALIA NEGATIVA Y LA SEGUNDA DERIVADA DECRECEN SISTEMATICAMENTE.

INTRODUCCION

EN LA INTERPRETACIÓN DE DATOS AEROMAGNÉTICOS, LOS CALCULOS TEÓRICOS DE ANOMALIAS DE CAMPO TOTAL PARA VARIOS TIPOS DE MODELOS DE FUENTES TIENEN SU IMPORTANCIA. POR ESTA SIMPLE RAZON, NO HAY DISCONTINUIDAD EN LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS CON MÉTODOS FUERA DE LINEA PARA EL CÁLCULO DE ANOMALIAS DE CAMPO TOTAL PARA DIFERENTES MODELOS DE FUENTES. i.e. PUNTO POLO, LINEA DE POLOS, PUNTO DIPOLO, Y LINEA DE DIPOLOS (HENDERSON Y ZIETZ, 1948; SMELLIE, 1956) Y CUERPOS DE FORMA PRISMÁTICA (VACQUIER, ET AL, 1951; HUGHSON, 1962). DE TODOS ESTOS EL ARTÍCULO ESCRITO POR VACQUIER HA SIDO USADO PROBABLEMENTE MÁS EXTENSAMENTE POR LA IMPORTANCIA DE CUERPOS TIPO BLOQUE EN INTERPRETACIÓN AEROMAGNÉTICA. EN TODOS LOS

ARTÍCULOS MENCIONADOS SE ASUME A LA INDUCCIÓN DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO COMO RESPONSABLE EN LA MAGNETIZACIÓN DE LAS MASAS DE ROCA.

EL TRABAJO EXPERIMENTAL EN MAGNETISMO DE ROCAS HA DEJADO CLARO QUE, CONTRARIO A LAS PRIMERAS CREENCIAS, LA PRESENCIA DE LA MAGNETIZACIÓN PERMANENTE CONFIRMA LA REGLA, MAS QUE LA EXCEPCIÓN, EN LAS ROCAS DE LA CORTEZA TERRESTRE. LA MAGNETIZACIÓN PERMANENTE ESTA ASOCIADA POR SI MISMA CON LA MAGNETIZACIÓN INDUCIDA PARA ORIENTAR AL VECTOR DE POLARIZACIÓN DE LA MASA DE ROCA EN ALGUNA DIRECCIÓN ARBITRARIA. LA DIRECCIÓN DE ESTE VECTOR DE POLARIZACIÓN INFLUYE APRECIABLEMENTE EN LA DIMENSIÓN Y FORMA DE LA ANOMALIA MAGNÉTICA ASOCIADA. LA NECESIDAD DE UN ESTUDIO DE ESTA INFLUENCIA ESTA CRECIENDO. UNOS CUANTOS ARTICULOS SOBRE ESTE OBJETIVO HAN SIDO PUBLICADOS. EN LA MAYORIA DE ESOS ARTÍCULOS LOS RESULTADOS PARA EL MODELO ESPECÍFICO DE LA FUENTE HAN SIDO PRESENTADOS, i.e. DIKES INFINITAMENTE LARGOS (HUTCHISON, 1958); PUNTO DIPOLO Y LINEA DE DIPOLOS - (SUTTON Y MUMME, 1957); UN PUNTO DIPOLO, UNA LINEA DE DIPOLOS HORIZONTAL, UNA LAMINA, UNA HOJA INCLINADA, UNA CAPA (HALL, 1959).

EL PRESENTE ARTÍCULO TRATA SOLAMENTE DE CUERPOS DE FORMA PRISMÁTICA CON POLARIZACIÓN ARBITRARIA. EL EFECTO DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN Y DECLINACIÓN DEL VECTOR DE POLARIZACIÓN SOBRE EL TAMAÑO Y FORMA DE LA ANOMALIA MAGNÉTICA HA SIDO ESTUDIADO.

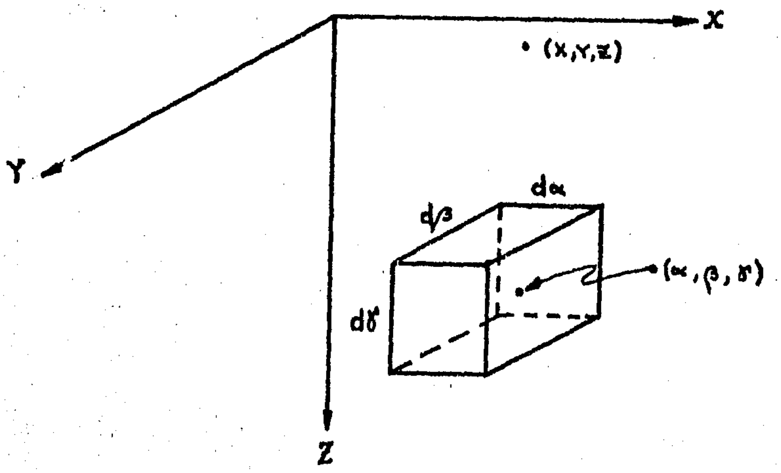
UNA EXPRESIÓN DEL CAMPO TOTAL EN FORMA CERRADA ES DEDUCIDA EN LA SUPOSICIÓN DE LA MAGNETIZACIÓN DEL CUERPO COMPLETO. SIN ESTA SUPOSICIÓN EL ANALISIS DE ESTE PROBLEMA SERA PRACTICAMENTE IMPOSIBLE, POR NUESTRA FALTA DE CONOCIMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN DE MAGNETIZACIÓN PROBABLE EN UNA MASA DE ROCA DADA.

PRISMA CON LADOS VERTICALES INFINITOS.

CONSIDEREMOS UN CUERPO DE FORMA PRISMÁTICA A LA PROFUNDIDAD h BAJO EL NIVEL DE OBSERVACIÓN, CUYA SUPERFICIE SUPERIOR ES UN PLANO HORIZONTAL Y LOS LADOS VERTICALES EXTENDIDOS INFINITAMENTE. EL VECTOR DE POLARIZACIÓN ES TOMADO FORMANDO UN ÁNGULO θ CON LA DIRECCIÓN DEL CAMPO TERRESTRE. PUESTO QUE LA MAGNITUD DEL CAMPO ANOMALO ES GENERALMENTE PEQUEÑO COMPARADA CON EL CAMPO TOTAL TERRESTRE, LA DIRECCIÓN DE LA RESULTANTE DE

LOS DOS VECTORES DE CAMPO SERÁ PRACTICAMENTE INVARIANTE SOBRE EL ÁREA DE OBSERVACIÓN Y ESTÁ EN LA MISMA DIRECCIÓN DEL CAMPO TERRESTRE. EN EL CASO EN EL QUE EL CAMPO TOTAL SERÁ MEDIDO, LA DIRECCIÓN DE LAS MEDICIONES SERÁ, POR CONSIGUIENTE, LA MISMA QUE EL VECTOR DE CAMPO TERRESTRE EL CUAL ESTA DEFINIDO POR LOS COSENOS DIRECTORES, l, m Y n.

HAGAMOS α, β Y γ LAS COORDENADAS DEL ELEMENTO DE VOLUMEN $d\alpha d\beta d\gamma$ EN EL PRISMA, (FIGURA SIGUIENTE):



CARACTERIZANDO AL VECTOR DE POLARIZACIÓN POR LOS COSENOS DIRECTORES L, M, N. ENTONCES EL CAMPO PRODUCIDO POR EL ELEMENTO DE VOLUMEN $d\alpha d\beta d\gamma$ ESTÁ DADO POR:

(1).... $$dF = I_p \frac{\partial^2}{\partial s \partial t} \left(\frac{1}{r}\right) d\alpha d\beta d\gamma$$

DONDE:

I_p ≡ POLARIZACIÓN

∂s ≡ ES UN ELEMENTO DE LONGITUD EN LA DIRECCIÓN DEL VECTOR DE POLARIZACIÓN.

∂t ≡ ES UN ELEMENTO EN LA DIRECCIÓN DEL CAMPO TOTAL TERRESTRE.

HAGAMOS (X, Y, Z) LAS COORDENADAS DEL PUNTO DE OBSERVACIÓN. ENTONCES,

(2).... $$\partial/\partial t = l\, \partial/\partial x + m\, \partial/\partial y + n\, \partial/\partial z$$

(3).... $$\partial/\partial s = L\, \partial/\partial x + M\, \partial/\partial y + N\, \partial/\partial z \quad , \quad Y$$

(4).... $$r^2 = (\alpha - x)^2 + (\beta - y)^2 + (\gamma - z)^2$$

UTILIZANDO LAS ECUACIONES (2), (3) Y (4), LA ECUACIÓN (1) PUEDE SER ESCRITA COMO:

$$(5)\ldots\quad dF = I_p\left[-\frac{1}{r^3}\cos\theta+\frac{3}{r^5}\left\{lL(\alpha-x)^2+mM(\beta-Y)^2+nN(\gamma-Z)^2+\alpha_{12}(\alpha-x)(\beta-Y)+\alpha_{13}(\alpha-x)(\gamma-Z)+\alpha_{23}(\beta-Y)(\gamma-Z)\right\}\right]d\alpha\, d\beta\, d\gamma$$

DONDE:

$$(6)\ldots\quad \alpha_{12}=Lm+Ml\ ,\quad \alpha_{13}=Ln+Nl\quad Y\quad \alpha_{23}=Mn+Nm$$

AHORA, LA ECUACIÓN (5) PUEDE SER INTEGRADA CON RESPECTO A γ Y LA INTEGRAL DE VOLUMEN REDUCIDA A UNA INTEGRAL DE SUPERFICIE.

$$(7)\ldots\quad F(x,Y,Z)=I_p\iint\left[-\frac{\cos\theta}{a^2}\left(1-\frac{h-Z}{r_0}\right)+\frac{Nn}{a^2}\left\{1-\frac{(h-Z)^3}{r_0^3}\right\}+\frac{\alpha_{13}\alpha_1+\alpha_{23}\beta_1}{r_0^3}+\frac{3}{a^4}\left(lL\alpha_1^2+mM\beta_1^2+\alpha_{12}\alpha_1\beta_1\right)\cdot\left\{\frac{2}{3}-\frac{(h-Z)}{r_0}+\frac{(h-Z)^3}{3r_0^3}\right\}\right]d\alpha\, d\beta_1$$

DONDE:

$$\cos\theta = lL+mM+nN$$

$$\alpha_1=\alpha-x\ ;\ \beta_1=\beta-Y\ ;\ a^2=\alpha_1^2+\beta_1^2\ ;\ r_0^2=\alpha_1^2+\beta_1^2+(h-Z)^2$$

TOMAREMOS AHORA AL PLANO DE OBSERVACIÓN EN $Z=0$ Y LA INTEGRAL (7) CON RESPECTO A α_1. LAS INTEGRALES QUE APARECEN EN (7) SON TODAS DE TIPO ESTANDAR Y NO PRESENTAN SERIAS DIFICULTADES. CONSIDERACIONES ALGEBRAICAS Y TRIGONOMÉTRICAS SON NECESARIAS, SIN EMBARGO, PARA OBTENER:

$$(8)\ldots\quad F(x,Y,0)=I_p\int f(\beta_1)\,d\beta_1$$

DONDE:

$$(9)\ldots\quad f(\beta_1)=\frac{\alpha_{23}\alpha_1\beta_1}{p^2r_0}-\frac{\alpha_{13}}{r_0}-\frac{\alpha_{12}\beta_1}{a^2}\left(1-\frac{h}{r_0}\right)-\frac{lL\alpha_1}{a^2}\left(1-\frac{h}{r_0}\right)+mM\alpha_1\left[\frac{1}{a^2}-\frac{h}{r_0}\left(\frac{1}{a^2}+\frac{1}{p^2}\right)\right]+\frac{Nn\alpha_1 h}{p^2r_0}$$

CON:

$$p^2=h^2+\beta_1^2\quad Y\quad r_0^2=p^2+\alpha_1^2$$

DESPUES DE LA INTEGRACIÓN DE (8) CON RESPECTO A β_1, LA EXPRESIÓN DE ANOMALIA DE CAMPO TOTAL PUEDE SER ESCRITA FINALMENTE COMO:

$$(10)\ldots\ \frac{F(X,Y,0)}{I_p} = \Bigg[\frac{\alpha_{23}}{2} \log\left(\frac{r_0-\alpha_1}{r_0+\alpha_1}\right) + \frac{\alpha_{13}}{2} \log\left(\frac{r_0-\beta_1}{r_0+\beta_1}\right) - \alpha_{12} \log(r_0+h) -$$

$$- \left(L \tan^{-1}\left(\frac{\alpha_1\beta_1}{\alpha_1^2+r_0h+h^2}\right) - mM \tan^{-1}\left(\frac{\alpha_1\beta_1}{r_0^2+r_0h+h^2}\right) + Nn \tan^{-1}\left(\frac{\alpha_1\beta_1}{r_0h}\right)\right)\Bigg]\Bigg|_{\alpha_l}^{\alpha_u}\Bigg|_{\beta_l}^{\beta_u}$$

DONDE α_u, β_u SON LOS LÍMITES SUPERIORES Y α_l, β_l LOS LIMITES INFERIORES DE α_1, β_1 RESPECTIVAMENTE.

SEA I_0, D_0 LA INCLINACIÓN Y DECLINACIÓN DEL CAMPO TERRESTRE RESPECTIVA - MENTE, I Y D LA INCLINACIÓN Y DECLINACIÓN DEL VECTOR DE POLARIZACIÓN. EN EL CASO EN EL QUE EL EJE X ESTA DIRIGIDO HACIA EL NORTE Y CUANDO LA DIRECCIÓN DE POLARIZACIÓN ES LA MISMA QUE LA DEL CAMPO TERRESTRE, TENEMOS:

$$l = L = \operatorname{sen}\delta \ ; \quad n = N = \cos\delta \ ; \quad m = M = 0$$

DONDE: $\delta = 90° - I$

LA SUSTITUCIÓN DE ESTAS ECUACIONES EN LA ECUACIÓN (10) PRODUCE:

$$(11)\ldots\quad F(X,Y,0) = I_p \Bigg[\cos^2\delta \tan^{-1}\left(\frac{\alpha_1\beta_1}{r_0h}\right) - \operatorname{sen}^2\delta \tan^{-1}\left(\frac{\alpha_1\beta_1}{\alpha_1^2+r_0h+h^2}\right) +$$

$$+ \operatorname{sen}\delta\cos\delta \cdot \log\left(\frac{r_0-\beta_1}{r_0+\beta_1}\right)\Bigg]\Bigg|_{\alpha_l}^{\alpha_u}\Bigg|_{\beta_l}^{\beta_u}$$

ESTE ES EXACTAMENTE EL MISMO CASO QUE EL TRATADO POR VACQUIER (1951). CUANDO EL EJE X ES DIRIGIDO HACIA EL NORTE, PERO LA DIRECCIÓN DE POLARIZACIÓN ES DIFERENTE DE LA DEL CAMPO TERRESTRE, TENEMOS:

$$(12)\ldots\quad \frac{F(X,Y,0)}{I_p} = \Bigg[\frac{\alpha_{23}}{2} \log\left(\frac{r_0-\alpha_1}{r_0+\alpha_1}\right) + \frac{\alpha_{13}}{2} \log\left(\frac{r_0-\beta_1}{r_0+\beta_1}\right) - \alpha_{12} \log(r_0+h) +$$

$$- \left(L \tan^{-1}\left(\frac{\alpha_1\beta_1}{\alpha_1^2+r_0h+h^2}\right) + Nn \tan^{-1}\left(\frac{\alpha_1\beta_1}{r_0h}\right)\right)\Bigg]\Bigg|_{\alpha_l}^{\alpha_u}\Bigg|_{\beta_l}^{\beta_u}$$

DONDE, EN EL PRESENTE CASO:

$$\alpha_{12} = \cos I \cos I_0 \operatorname{sen} D$$

$$\alpha_{13} = \cos I_0 \operatorname{sen} I + \cos I \operatorname{sen} I_0 \cos D$$

$$\alpha_{23} = \cos I \operatorname{sen} I_0 \operatorname{sen} D.$$

BHATTACHARYYA 3D

LA ALTURA DE LA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN DE LA REGIÓN MAGNETIZADA DETERMINA LA DIMENSIÓN CRITICA DE LA MÁS PEQUEÑA HETEROGENEIDAD EN LA MAGNETIZACIÓN QUE PUEDE SER RESUELTA A PARTIR DE LOS DATOS DEL LEVANTAMIENTO MAGNÉTICO. CUANDO UN BLOQUE RECTANGULAR ES CORTO EN LONGITUD, EN ESTA DIMENSIÓN CRITICA, LO PRESENTA MAGNETIZADO HOMOGENEAMENTE EN EL CAMPO MAGNETICO OBSERVADO. ESTA CONSIDERACIÓN PERMITE LA SELECCIÓN DE UNA UNIDAD DE BLOQUE RECTANGULAR DE DIMENSIONES CONVENIENTES CON MAGNETIZACIÓN HOMOGENEA. LA REGIÓN MAGNETIZADA CREANDO LOS VALORES DE CAMPO ANOMALO EN EL ÁREA DE OBSERVACIÓN Y PUEDE POR CONSIGUIENTE, SER PARTIDA EN VARIOS BLOQUES TENIENDO DIFERENTES MAGNETIZACIONES, CADA BLOQUE ES IGUAL EN TAMAÑO Y UNIFORMEMENTE MAGNETIZADO.

EL METODO ITERATIVO DESCRITO AQUI SUPONE INICIALMENTE QUE LOS VALORES DE CAMPO ANOMALO SON CAUSADOS POR UNA DISTRIBUCIÓN TRIDIMENSIONAL (3-D) DE BLOQUES RECTANGULARES MAGNETIZADOS. LA ORIENTACIÓN OPTIMA DE ESOS BLOQUES CON RESPECTO AL NORTE GEOGRÁFICO TIENE QUE SER DETERMINADA. ESTA ORIENTACIÓN ES PARTICULARMENTE INSENSIBLE A LOS AJUSTES EN LAS DIMENSIONES DE LOS BLOQUES. LAS SUPERFICIES DE LA CIMA Y LA BASE DE CADA UNO DE LOS BLOQUES EN UNA O MÁS CAPAS SON AJUSTADOS EN EL SENTIDO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS PARA MINIMIZAR LA DIFERENCIA ENTRE LOS VALORES DEL CAMPO CALCULADO Y EL OBSERVADO. UN METODO ES DESCRITO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN DE CADA BLOQUE QUE YACE CON UN ÁNGULO ESPECIFICO DE DIRECCIÓN NORMAL O INVERSA DEL VECTOR DE CAMPO GEOMAGNÉTICO. EL PROCESO PARA EL ANALISIS DE DATOS PUEDE SER EXTENDIDO AL CASO DE ANOMALIAS SOBRE SUPERFICIES CUBIERTAS. EN LA CONCLUCIÓN DE LAS ITERACIONES, UNA DISTRIBUCIÓN (3-D) DE MAGNETIZACIÓN ES GENERADA PARA DELINEAR LA REGIÓN MAGNETIZADA RESPONSABLE DEL CAMPO MAGNÉTICO ANOMALO OBSERVADO.

INTRODUCCION

LA INTERPRETACIÓN DE ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS Y MAGNÉTICAS SE EFECTUA TANTO PARA EL MODELADO BIDIMENSIONAL COMO PARA EL TRIDIMENSIONAL. EN EL MODELADO (2-D) EL ANALISIS DE PERFILES SELECCIONADOS ESTA BASADO EN LA SUPOSICIÓN DE QUE LAS ESTRUCTURAS SE EXTIENDEN HACIA EL INFINITO EN UNA DIRECCIÓN PARTICULAR SON RESPONSABLES DE LA GENERACIÓN DE ANOMALIAS OBSERVADAS. (HARTMAN etd

1971; O'BRIEN, 1975; NABIGHIAN, 1972, 1974; BHATTACHARYYA Y LEU, 1975). ESTE TIPO DE ANALISIS ES GENERALMENTE UTIL EN LA DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD A LA CIMA DE LAS ESTRUCTURAS. EL PROBLEMA DE INTERPRETACIÓN DE ANOMALIA MAGNÉTICA CAUSADA POR UN CUERPO (2-D) HA SIDO ESTUDIADA POR BOTT (1967) PARA DOS CASOS: 1) CUANDO LA FORMA DEL CUERPO Y LA DIRECCIÓN DE MAGNETIZACIÓN SON CONOCIDOS Y SOLAMENTE LA DISTRIBUCIÓN DE LA INTENSIDAD DE MAGNETIZACIÓN ES ESTIMADA; Y 2) CUANDO LA FORMA DE UNA INTERFACE ES DETERMINADA CUANDO LA MAGNETIZACIÓN Y OTRA INTERFACE SON DADAS: TANNER (1967) PRESENTÓ UN RECURSO INTERACTIVO PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA INVERSO DEL SEGUNDO CASO DISCUTIDO POR BOTT (1967). UNA TEORIA RECIENTE HA SIDO DESARROLLADA POR HUESTIS Y PARKER (1977) PARA UBICAR UNA REGIÓN BAJA SOBRE EL ESPESOR DE LA CAPA OCEÁNICA MAGNETIZADA, USANDO VALORES DE ANOMALIA MAGNÉTICA SOBRE UN PERFIL Y ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD DE MAGNETIZACIÓN.

EL MODELADO (3-D) REQUIERE EL ANALISIS DE DATOS SOBRE UNA ÁREA. DEBIDO A LA AMBIGUEDAD INHERENTE EN LA INTERPRETACIÓN Y LAS VARIAS COMPLEJIDADES EN LA INVERSIÓN ANALITICA. LA MAYORIA DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS QUE TRATAN CON CUERPOS DE FORMA GEOMETRICA SIMPLE, TAL COMO LOS CUERPOS PRISMATICOS RECTANGULARES. (VACQUIER ET AL, 1951; BHATTACHARYYA, 1966; BHATTACHARYYA Y LEU, 1977), PUNTO DIPOLAR Y LINEA DE DIPOLOS (SUTTON Y MUMME, 1957; HENDERSON Y ZIETZ, 1948) Y UNOS CUANTOS MÁS.

EN AÑOS RECIENTES, EL ESPECTRO DE ENERGIA DE LAS ANOMALIAS MAGNÉTICAS OBSERVADAS SOBRE ÁREAS LIMITADAS TAMBIEN HAN SIDO USADOS PARA DETERMINAR LA PROFUNDIDAD PROMEDIO DEL ENSAMBLE DE CUERPOS PRISMÁTICOS RECTANGULARES (SPECTOR Y GRANT, 1970). LA TÉCNICA DESARROLLADA POR SPECTOR Y GRANT (1970) HA SIDO EXTENDIDO Y MODIFICADO POR GERARD Y DEBEGLIA (1975) PARA LA ESTIMACIÓN NO SOLO DE LA PROFUNDIDAD MEDIA, SINO TAMBIEN PARA PROFUNDIDADES LOCALES EN PUNTOS SOBRE LA INTERFACE DE DOS MEDIOS.

ESTE ARTICULO PRESENTA UN MÉTODO PARA MODELADO (3-D). PARA EXPLICAR LAS BASES DEL MÉTODO, SUPONGA UNA MASA DE ROCA MAGNETIZADA, QUE GENERA UNA ANOMALIA DE CAMPO MAGNÉTICO A UNA ALTURA h. EL VOLUMEN DE LA MASA DE ROCA SE EXTIENDE POR ENCIMA DEL ÁREA DE OBSERVACIÓN Y ES, PARA TODO PROPOSITO PRACTICO, LIMITADO EN EXTENSIÓN HORIZONTAL Ó VERTICAL.

UNA MASA DE ROCA EN GENERAL NO ESTA HOMOGENEAMENTE MAGNETIZADA, SIN EMBARGO, LA ALTITUD DE LA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN DESDE LA REGION MAGNETIZADA. PRIMERAMENTE DETERMINA LA DIMENSIÓN CRÍTICA DE LA MÁS PEQUEÑA HETEROGENEIDAD EN LA MAGNETIZACIÓN QUE PUEDE SER DETECTADA EN LOS DATOS OBSERVADOS. SÍ CONSIDERAMOS UN BLOQUE RECTANGULAR VERTICAL DE DIMENSIONES APROXIMADAMENTE IGUALES A LA DIMENSIÓN CRÍTICA, PARECE EN LA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN COMO MAGNETIZADO HOMOGENEAMENTE. LA MASA DE ROCA ES DIVIDIDA HORIZONTAL Y VERTICALMENTE EN UN NÚMERO DE ESOS BLOQUES RECTANGULARES. AUNQUE CADA UNO DE LOS BLOQUES ES MAGNETIZADO HOMOGENEAMENTE, LA MAGNETIZACIÓN PUEDE VARIAR DE UN BLOQUE A OTRO.

EL CAMPO TOTAL GENERADO POR LA DISTRIBUCIÓN DE BLOQUES QUE REPRESENTAN A LA MASA DE ROCA PUEDE SER EXPRESADO EN UNA FORMA ANALÍTICA. PARA EXTENSIONES HORIZONTAL Y VERTICAL FIJAS DE LOS BLOQUES, ES POSIBLE DETERMINAR LA INTENSIDAD OPTIMA Y DIRECCIÓN DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN ASOCIADO CON LOS BLOQUES EN EL SENTIDO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS. EL ERROR CUADRATICO MEDIO, EL CUAL ES LA SUMA DE LOS CUADRADOS DE LAS DIFERENCIAS ENTRE LOS VALORES DEL CAMPO OBSERVADO Y EL CALCULADO PARA TODOS LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN, PUEDE SER CALCULADO. PARA MINIMIZAR EL ERROR CUADRATICO MEDIO, SE USA UN RECURSO ITERATIVO PARA AJUSTAR EL RUMBO DE LA MASA DE ROCA, Y LA EXTENSIÓN VERTICAL DE BLOQUES INDIVIDUALES. EN MUCHAS ÁREAS, LOS DATOS DE MAGNETIZACIÓN DE ROCAS Y LAS PROFUNDIDADES DE LA CIMA Y LA BASE DE POCOS BLOQUES ESTAN DISPONIBLES. EN TALES CASOS, EL RECURSO ITERATIVO HA SIDO MODIFICADO PARA CONSTRUIR EL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN CONTENIDO EN LOS LIMITES ESPECIFICADOS Y USAR LA EXTENSIÓN VERTICAL CONOCIDA DE ALGUNO DE LOS BLOQUES PARA CONTROLAR LA SOLUSIÓN FINAL. EL MÉTODO PARA ANALISIS DE ANOMALIAS SOBRE SUPERFICIES CUBIERTAS ES DISCUTIDO.

LAS DIMENSIONES HORIZONTALES SE MANTIENEN FIJAS DURANTE TODO EL ANALISIS. LOS ANCHOS DE LOS LADOS, SIENDO APROXIMADAMENTE IGUALES A LA DIMENSIÓN CRÍTICA DE INHOMOGENEIDAD EN LA MAGNETIZACIÓN, SITUADO ENTRE 1.6 Y 2 VECES LA DIMENSIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE LA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN Y LA MASA MAGNETIZADA. PARA UN BLOQUE MAGNETIZADO POR COMPLETO O NO MAGNETIZADO, NO HAY PROBLEMA EN LA SOLUCIÓN DEL PROCESO ITERATIVO.

SIN EMBARGO, SI SÓLO UNA PARTE DEL BLOQUE ES MAGNETIZADA, LA MAGNETIZACIÓN CALCULADA DEL BLOQUE COMPLETO SERÁ MENOR QUE LA MAGNETIZACIÓN DE LA PARTE MAGNETIZADA. HAY UN PEQUEÑO EFECTO DE LA MAGNETIZACIÓN PARCIAL SOBRE LAS PROFUNDIDADES CALCULADAS PARA LA CIMA Y LA BASE DEL BLOCK.

UNA DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL DE MAGNETIZACIÓN ES OBTENIDA EN LA CONCLUSIÓN DEL PROCESO ITERATIVO. ESTA DISTRIBUCIÓN DELINEA LA ZONA MAGNETIZADA DE LA MASA DE ROCA RESPONSABLE DEL CAMPO MAGNÉTICO ANOMALO OBSERVADO.

CAMPO TOTAL DEBIDO A UN BLOQUE RECTANGULAR

CONSIDERANDO UN SISTEMA DE COORDENADAS RECTANGULARES CARTESIANAS CON LOS EJES X, Y A LO LARGO DE LAS DIRECCIONES DEL NORTE Y DEL ESTE GEOGRAFICOS RESPECTIVAMENTE, Y EL EJE Z APUNTANDO VERTICALMENTE HACIA ABAJO. SÍ EL MATERIAL MAGNETIZADO CON MAGNETIZACIÓN J OCUPA UN VOLUMEN V, EL POTENCIAL MAGNÉTICO ESCALAR A(r) EN EL PUNTO P(r), DONDE $r = xi + yj + zk$ ESTA DADO POR:

$$(1)\ldots\quad A(r) = \int_V \left[J(r_0)\cdot\nabla_0 \right]\cdot\frac{1}{|r-r_0|}\,dV = \int_V J_\alpha(r_0)\,\frac{x-\alpha}{d^3}\,dv + \int_V J_\beta(r_0)\,\frac{y-\beta}{d^3}\,dv + \int_V J_\gamma(r_0)\,\frac{z-\gamma}{d^3}\,dv$$

DONDE:

$r_0 \equiv i\alpha + j\beta + k\gamma$ ES UN PUNTO EN EL VOLUMEN V.

$\nabla_0 \equiv i\,\partial/\partial\alpha + j\,\partial/\partial\beta + k\,\partial/\partial\gamma$

$J \equiv i J_\alpha + j J_\beta + k J_\gamma$ Y $d^2 = (x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2$

LA ECUACIÓN (1) PARA EL POTENCIAL MAGNÉTICO ESCALAR PUEDE SER EXPRESADO EN FORMA DE UNA CONVOLUCIÓN:

$$(2)\ldots\quad A(r) = J_x * \frac{x}{r^3} + J_y * \frac{y}{r^3} + J_z * \frac{z}{r^3}$$

DONDE: * INDICA CONVOLUCIÓN.

EL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL EN LA DIRECCIÓN $u = il + jm + kn$ EN EL PUNTO P ESTA DADO POR:

$$(3)\ldots \qquad T(r) = -(u\cdot\nabla)\,A(r) = J_x * G_x + J_Y * G_Y + J_z * G_z$$

DONDE:

$$\nabla = i\,\partial/\partial x + j\,\partial/\partial Y + k\,\partial/\partial z\ ,$$

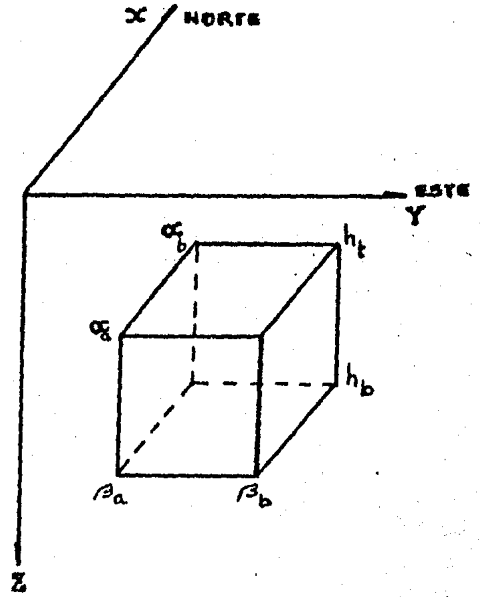
$$G_x \equiv -\frac{l}{r^3} + \frac{3(lx^2+mxY+nxz)}{r^5}$$

$$G_Y \equiv -\frac{m}{r^3} + \frac{3(lxY+mY^2+nYz)}{r^5}$$

$$G_z \equiv -\frac{n}{r^3} + \frac{3(lxz+mYz+nz^2)}{r^5}$$

LA DISTRIBUCIÓN DE MAGNETIZACIÓN $\vec{J}$ EN LAS ECUACIONES (2) Y (3) DELINEAN LA FORMA DEL CUERPO FUENTE.

SI SUPONEMOS QUE EL VOLUMEN V ES UN BLOQUE RECTANGULAR HOMOGENEAMENTE MAGNETIZADO COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA SIGUIENTE:



EL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN $\vec{J}$ ES DEFINIDO POR LA INTENSIDAD J Y LOS COSENOS DIRECTORES (L, M, N). NOSOTROS, POR CONSIGUIENTE PODEMOS ESCRIBIR:

$$(4)\ldots \qquad J_x = LJ\ , \quad J_Y = MJ\ , \quad J_z = NJ$$

LOS LADOS DEL BLOQUE RECTANGULAR SE CONSIDERAN PARALELOS A LOS EJES X, Y RESPECTIVAMENTE. EL BLOQUE SE EXTIENDE DESDE α_a HASTA α_b EN LA DIRECCIÓN X, DESDE β_a HASTA β_b EN LA DIRECCIÓN Y, DESDE h_t HASTA h_b EN LA DIRECCIÓN Z. EN ESTE CASO LA INTEGRAL DE CONVOLUCIÓN EN LA ECUACIÓN (3) PUEDE SER EXPRESADA EN FORMA CERRADA, Y TENEMOS (BHATTACHARYYA, 1964):

(5).... $$T(r) = a_1 b_{r1} + a_2 b_{r2} + a_3 b_{r3}$$

DONDE:

$$a_1 = J_x \;,\quad a_2 = J_Y \;,\quad a_3 = J_z$$

$$b_{r1} = \left[\frac{n}{2}\log\left(\frac{r_0-\beta_1}{r_0+\beta_1}\right) - m\log(r_0+h) - l\tan^{-1}\frac{\alpha_1\beta_1}{\alpha_1^2+r_0h+h^2} \right]_{\alpha_l}^{\alpha_u}\Bigg]_{\beta_l}^{\beta_u}\Bigg]_{h_t}^{h_b}$$

$$b_{r2} = \left[\frac{n}{2}\log\left(\frac{r_0-\alpha_1}{r_0+\alpha_1}\right) - l\log(r_0+h) - m\tan^{-1}\frac{\alpha_1\beta_1}{r_0^2+r_0h+\alpha_1^2} \right]_{\alpha_l}^{\alpha_u}\Bigg]_{\beta_l}^{\beta_u}\Bigg]_{h_t}^{h_b}$$

$$b_{r3} = \left[\frac{m}{2}\log\left(\frac{r_0-\alpha_1}{r_0+\alpha_1}\right) + \frac{l}{2}\log\frac{r_0+\beta_1}{r_0+\beta_1} + n\tan^{-1}\frac{\alpha_1\beta_1}{r_0h} \right]_{\alpha_l}^{\alpha_u}\Bigg]_{\beta_l}^{\beta_u}\Bigg]_{h_b}^{h_b}$$

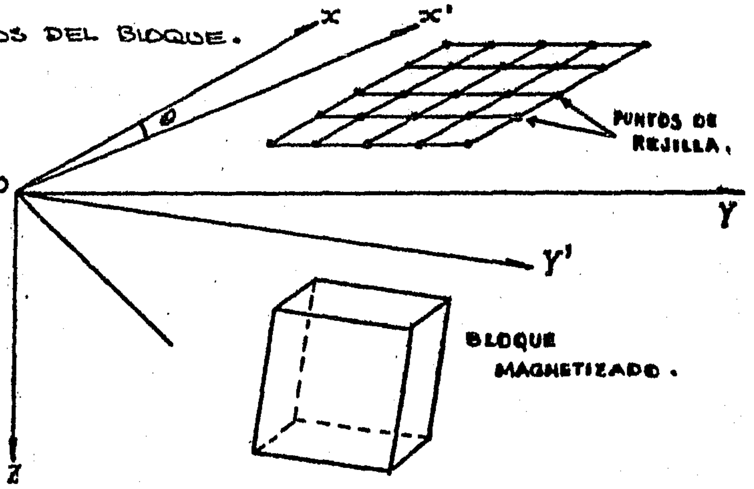
$$\alpha_1 = \alpha - X \;,\quad \beta_1 = \beta - Y \;,\quad \alpha_l = \alpha_a - X \;,\quad \alpha_u = \alpha_b - X$$

$$\beta_l = \beta_a - Y \;,\quad \beta_u = \beta_b - Y$$

$$r_0^2 = \alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h-Z)^2$$

ROTACION DEL BLOQUE RECTANGULAR

LA ECUACIÓN (5) ES VÁLIDA CUANDO LOS LADOS DEL BLOQUE SON PARALELOS A LAS DIRECCIONES NORTE Y ESTE, RESPECTIVAMENTE. A CONTINUACIÓN, TAMBIEN ENCONTRAREMOS LA SITUACIÓN (FIGURA SIGUIENTE) EN LA CUAL (1). EL BLOQUE RECTANGULAR ES GIRADO UN ÁNGULO θ CON RESPECTO AL NORTE GEOGRÁFICO, Y (2) LAS LINEAS DE REJILLA QUE CONTIENEN LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN SON PARALELAS AL NORTE Y AL ESTE RESPECTIVAMENTE. TAL CASO REQUIERE LA SELECCIÓN DE LOS EJES X', Y' PARALELOS A LOS LADOS DEL BLOQUE.



SUS DIMENSIONES HORIZONTALES SON EXPRESADAS EN TÉRMINOS DE LAS DISTANCIAS A LO LARGO DE LOS EJES X', Y'. EL PUNTO "O" SOBRE LA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN SE CONSIDERA COMO EL ORIGEN DE LOS EJES (X, Y) ASI COMO TAMBIEN PARA LOS NUEVOS EJES (X', Y'). ENTONCES LAS RELACIONES ENTRE LAS COORDENADAS (X, Y) Y (X', Y') DE UN PUNTO SON:

$$X' = X\cos\theta + Y \operatorname{sen}\theta$$
$$Y' = -X \operatorname{sen}\theta + Y\cos\theta$$

LAS COORDENADAS (X, Y) EN LA ECUACIÓN (5) TIENEN QUE SER REEMPLAZADAS POR LAS NUEVAS COORDENADAS (X', Y'). SÍ I Y D SON LA INCLINACIÓN Y DECLINACIÓN DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO RESPECTIVAMENTE LOS COSENOS DIRECTORES DEL VECTOR DE CAMPO ESTAN DADAS POR:

$$(7)\ldots \quad \begin{aligned} l &= \cos I \cos(D-\theta) \\ m &= \cos I \operatorname{sen}(D-\theta) \\ n &= \operatorname{sen} I \end{aligned}$$

SIMILARMENTE, LOS COSENOS DIRECTORES DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN ESTAN DADOS POR:

$$(8)\ldots \quad \begin{aligned} L &= \cos I_0 \cos(D_0-\theta) \\ M &= \cos I_0 \operatorname{sen}(D_0-\theta) \\ N &= \operatorname{sen} I_0 \end{aligned} \quad ;$$

DONDE:

I_0 = INCLINACIÓN

D_0 = DECLINACIÓN

ACERCA DE ESTOS CAMBIOS LA ECUACIÓN (5) PUEDE SER USADA PARA CALCULAR EL CAMPO TOTAL CAUSADO POR EL BLOQUE RECTANGULAR GIRADO EN PUNTOS DE REJILLA LOCALIZADOS SOBRE LINEAS PARALELAS A LAS DIRECCIONES NORTE Y ESTE, RESPECTIVAMENTE.

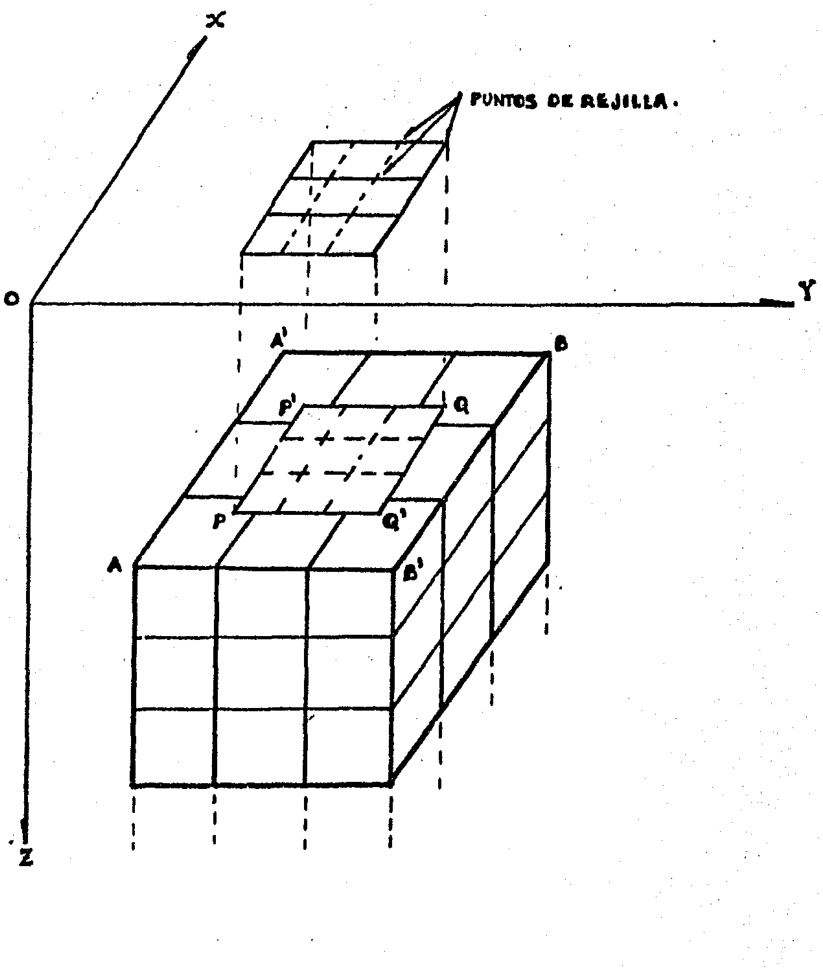
MASA DE ROCA CON MAGNETIZACION INHOMOGENEA

CONSIDERE UNA MASA DE ROCA, RESPONSABLE DE GENERAR UN CAMPO MAGNÉTICO ANOMALO EN PUNTOS LOCALIZADOS SOBRE UNA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN. SE CONSIDERA QUE ESTA SUPERFICIE SE ENCUENTRA A UNA ALTURA h DESDE LA CIMA DE LA MASA DE ROCA. SUPONGASE QUE LA ANOMALIA MAGNÉTICA ES OBSERVADA SOBRE UNA ÁREA (FIGURA QUE SIGUE) CONTENIENDO $m = n_x \cdot n_y$ PUNTOS. DONDE n_x Y n_y SON LOS NÚMEROS DE PUNTOS A LO LARGO DE LAS LINEAS DE REJILLA PARALELAS A LOS EJES X, Y, RESPECTIVAMENTE.

EL VOLUMEN DE LA MASA DE ROCA MAGNETIZADA, LA CUAL ES PRIMERAMENTE

RESPONSABLE DE VARIACIONES EN EL CAMPO MAGNÉTICO SE EXTIENDE POR ENCIMA DEL ÁREA DIRECTAMENTE BAJO EL ÁREA DE LA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN. ESTA EXTENSIÓN HORIZONTAL DEL VOLUMEN ES DETERMINADA POR LA INTENSIDAD DE MAGNETIZACIÓN DE LAS ROCAS Y LA DISTANCIA MÁS CORTA ENTRE LOS PUNTOS SOBRE LOS LÍMITES DEL VOLUMEN Y LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN. CUANDO ESTA DISTANCIA - CRECE, EL EFECTO DEL MATERIAL MAGNETIZADO EN LA VECINDAD DEL LÍMITE EN EL CAMPO ANOMALO OBSERVADO DECRECE.

POR CONSIGUIENTE, ES POSIBLE LIMITAR LA EXTENSIÓN HORIZONTAL DE LA - MASA DE ROCA MAGNETIZADA POR ENCIMA DEL ÁREA DIRECTAMENTE BAJO EL ÁREA DE OBSERVACIÓN. LA FIGURA SIGUIENTE PROPORCIONA UN EJEMPLO DE LAS POSICIONES HORIZONTALES RELATIVAS DE LA MASA DE ROCA MAGNETIZADA Y EL ÁREA DE OBSERVACIÓN, AA' BB' ES LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL VOLUMEN DEL MATERIAL MAGNÉTICO. PP' QQ' ES LA PROYECCIÓN VERTICAL DEL ÁREA QUE CONTIENE LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN. LA MASA DE ROCA MAGNETIZADA PUEDE EXTENDERSE VERTICALMENTE DESDE LA SUPERFICIE TERRESTRE A LA SUPERFICIE ISOTERMAL DEL PUNTO CURIE.



LA ALTURA DE LA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN SOBRE LA CIMA DE LAS ROCAS MAGNETIZADA LIMITA LA RESOLUCIÓN DE LOS DATOS, i.e., LA HABILIDAD PARA DETECTAR EN LOS DATOS OBSERVADOS LA PRESENCIA DE DOS FUENTES ESPACIADAS POR UN INTERVALO CRITICO (BHATTACHARYYA, 1973). LA RESOLUCIÓN DE DOS FUENTES DISTINTAS EN LAS OBSERVACIONES DEPENDE DEL VALOR DE h/s, DONDE s ES EL ESPACIAMIENTO ENTRE LAS FUENTES. HA SIDO MOSTRADO TEORICAMENTE QUE PARA RESOLUCIONES NO AMBIGUAS DE DOS POLOS MAGNÉTICOS DE IGUAL INTENSIDAD, h/s DEBERIA SER MENOR QUE 1.0. EN OTRAS PALABRAS, PARA DETECTAR DOS FUENTES EN LOS DATOS OBSERVADOS, LAS FUENTES DEBEN ESTAR SEPARADAS POR UNA DISTANCIA MAYOR QUE h. UN INCREMENTO EN LA SEPARACIÓN FACILITA LA RESOLUCIÓN DE LAS FUENTES DESDE UN PUNTO DE VISTA PRÁCTICO, LA DISTANCIA CRÍTICA ENTRE LAS DOS FUENTES PARA SU DETECCIÓN EN LOS DATOS OBSERVADOS DEBE SER $1.5h$ Ó MAYOR. UNA SEPARACIÓN MENOR QUE ESTA DISTANCIA CRÍTICA EXPANDIDA ENTRE LAS FUENTES PRODUCIRÁ UNA ANOMALIA QUE PUEDE SER INTERPRETADA SOLAMENTE EN TÉRMINOS DE UNA FUENTE SENCILLA.

DE ESTA DISCUSIÓN RESULTA CLARO QUE LA ALTURA h DE LA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN ACERCA DE LA REGIÓN MAGNETIZADA, DETERMINA LAS DIMENSIONES CRITICAS DE LA MÁS BAJA INHOMOGENEIDAD EN LA MAGNETIZACIÓN QUE PUEDE SER RESUELTA A PARTIR DE LOS DATOS. CUANDO LAS DIMENSIONES HORIZONTALES DE UN BLOQUE RECTANGULAR SON MUY PEQUEÑAS EN TAMAÑO, QUE SU DIMENSIÓN CRÍTICA, EL BLOQUE APARECE HOMOGENEAMENTE MAGNETIZADO EN EL CAMPO MAGNÉTICO OBSERVADO. LA DIMENSIÓN CRITICA CONSIDERA EL VALOR DE $1.5h$ PARA LA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN A UNA ALTURA h DESDE EL CUERPO MAGNETIZADO.

LA MASA DE ROCA QUE GENERA EL CAMPO MAGNÉTICO ANOMALO ES, EN LA MAYORIA DE LOS CASOS, MAGNETIZADO NO HOMOGENEAMENTE. LA SUPOSICIÓN DE LA MAGNETIZACIÓN HOMOGENEA POR CONSIGUIENTE, GENERALMENTE PRODUCIRA RESULTADOS ERRONEOS EN EL ANALISIS DE DATOS. POR ESTA RAZÓN LA MASA DE ROCA MAGNÉTICA ES DIVIDIDA EN BLOQUES RECTANGULARES (FIGURA ANTERIOR). LA DIMENSIÓN HORIZONTAL DE UN BLOQUE DEBERIA ACERCARSE A LA DIMENSIÓN CRITICA DE LA MÁS BAJA INHOMOGENEIDAD EN LA MAGNETIZACIÓN. EL BLOQUE PODRIA EXTENDERSE VERTICALMENTE DESDE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA HASTA LA SUPERFICIE ISOTERMAL DEL PUNTO CURIE. SIN EMBARGO, TAL COLUMNA VERTICAL LARGA NO ES PROBABLEMENTE MAGNETIZADO HOMOGENEAMENTE; POR ESTA RAZON, LA EXTENSIÓN

VERTICAL DE CADA BLOQUE DEBERIA TAMBIEN SER LIMITADA. LA MASA DE ROCA MAGNETIZADA ES, POR LO TANTO, ASUMIDA A SER DIVIDIDA EN H BLOQUES EN LA HORIZONTAL Y V BLOQUES EN LA DIRECCIÓN VERTICAL (FIGURA ANTERIOR) CADA BLOQUE PUEDE SER CONSIDERADO COMO HOMOGENEAMENTE MAGNETIZADO. SIN EMBARGO, UN CAMBIO EN LA MAGNETIZACIÓN PODRIA TOMAR LUGAR DE UN BLOQUE A OTRO.

PROCEDIMIENTO PARA EL ANALISIS DE DATOS

LA DISCUSIÓN EN LA SECCIÓN ANTERIOR CONCERNIENTE AL CASO GENERAL DE UN CAMPO MAGNÉTICO ANOMALO OBSERVADO EN m PUNTOS SOBRE UNA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN LA CUAL ES LOCALIZADA A UNA ALTURA h DESDE LA MASA DE ROCA MAGNETIZADA. LA MASA PUEDE SER REPRESENTADA POR $B=H\cdot V$ BLOQUES ELEMENTALES, CADA BLOQUE SE ASUME SER MAGNETIZADO HOMOGENEAMENTE. LOS BLOQUES VERTICALES CONSECUTIVOS PODRIAN SER SEPARADOS ALGUNAS VECES POR REGIONES NO MAGNETICAS.

AHORA ASUMIMOS QUE LAS DIMENSIONES HORIZONTALES DE LOS DIFERENTES BLOQUES SON FIJADAS. SIN EMBARGO LA CIMA Y LA BASE DE CADA BLOQUE Y SU VECTOR DE MAGNETIZACIÓN SON DESCONOCIDOS, Y TIENEN QUE SER ESTIMADOS POR UN ANALISIS DE LA ANOMALIA MAGNÉTICA OBSERVADA. USANDO LA ECUACIÓN (5) PODEMOS ESCRIBIR LAS EXPRESIONES PARA EL CAMPO TOTAL EN UN PUNTO DE OBSERVACIÓN, DENOTADO POR K, COMO:

$$(9)\ldots \qquad T(K) = (a_1 b_{K1} + a_2 b_{K2} + a_3 b_{K3}) + (a_4 b_{K4} + a_5 b_{K5} + a_6 b_{K6}) + \ldots + a_n b_{Kn}$$

EN LA ECUACIÓN (9) LOS TÉRMINOS EN CADA PARENTESIS CORRESPONDEN A UN BLOQUE PARTICULAR. LOS TÉRMINOS $(a_{3r-2}, a_{3r-1}, a_{3r})$ DENOTAN COMO EN LA ECUACIÓN (5), LOS COSENOS DIRECTORES MULTIPLICADOS POR LA INTENSIDAD DE MAGNETIZACIÓN ASOCIADA CON EL r-ESIMO BLOQUE. ASI, $n=3B$ Y $(b_{K,3r-2}, b_{K,3r-1}, b_{K,3r})$, $r=1,2,\ldots B$ SON LAS FUNCIONES DE GREEN COMO LAS DEFINIDAS EN (5).

SE ASUME QUE EL NUMERO DE PUNTOS DATO m ES MAYOR QUE EL DE LOS n DESCONOCIDOS. EL CAMPO TOTAL OBSERVADO EN EL PUNTO K ES DENOTADO POR t_K. LA SERIE DE COEFICIENTES $a_1, a_2, \ldots, a_n$ ES DETERMINADO MINIMIZANDO LA DIFERENCIA ENTRE LOS VALORES OBSERVADOS Y LOS CALCULADOS POR EL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS. LAS ECUACIONES NORMALES SON:

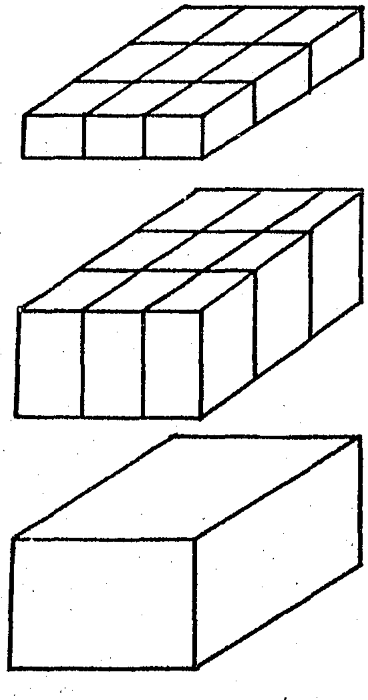
$$(10)\ldots \quad \sum_{j=1}^{n} a_j \left(\sum_{k=1}^{m} b_{kj}\, b_{kr}\right) = \sum_{k=1}^{m} t_k b_{kr} \quad ; \quad r = 1, 2, \ldots, n$$

LA SOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES NORMALES HA SIDO OBTENIDA POR LA DES-COMPOSICIÓN DE CHOLESKY. CON LOS COEFICIENTES ESTIMADOS "a" EN LA ECUACIÓN (10), PODEMOS OBTENER AHORA UNA ECUACIÓN PARA EL ERROR CUADRÁTICO MEDIO PARA LAS m OBSERVACIONES

$$(11)\ldots \quad e^2 = \sum_{k=1}^{m} t_k \left[t_k - \sum_{j=1}^{n} a_r\, b_{kr} \right]$$

LOS COEFICIENTES a CALCULADOS PROPORCIONAN LOS VECTORES DE MAGNETIZACIÓN ASOCIADOS CON LOS BLOQUES. ES RAZONABLEMENTE RÁPIDO CALCULAR LOS COEFICIENTES b Y ENTONCES INVERTIR LA MATRIZ POSITIVA DEFINITIVA DE LAS ECUACIONES NORMALES EN (10) PARA LA EVALUACIÓN DE LOS COEFICIENTES a.

EL PROCEDIMIENTO PARA ESTIMAR LOS PARAMETROS DESCONOCIDOS VARIA, A UNA EXTENSIÓN MENOR, CON EL CAMBIO EN LA REPRESENTACIÓN DE LA MASA DE ROCA POR UNA DISTRIBUCIÓN DE BLOQUES RECTANGULARES. CONSIDERAREMOS AQUI UNA REPRESENTACIÓN PARTICULAR, LA CUAL HA SIDO ÚTIL EN VARIOS AMBIENTES GEOLÓGICOS. LA FIGURA SIGUIENTE MUESTRA LOS DIFERENTES BLOQUES, EN LOS CUALES LA MASA DE ROCA MAGNETIZADA HA SIDO DIVIDIDA.



HAY 3 BLOQUES DE CAPAS. NUEVE BLOQUES RECTANGULARES CONSTITUYEN CADA UNA DE LAS DOS CAPAS DE LA CIMA. UNA GRAN PROFUNDIDAD DONDE LA CAPA DE LA BASE ES GENERALMENTE LOCALIZADA, LA INHOMOGENEIDAD EN LA MAGNETIZACIÓN DE LOS BLOQUES DE DIMENSIÓN HORIZONTAL RELATIVAMENTE PEQUEÑA ES PROBABLEMENTE NO DETECTADA. POR ESTA RAZÓN, SOLAMENTE UN BLOQUE HA SIDO COLOCADO EN LA TERCERA CAPA. EL MEDIO INTERMEDIO DE LAS CAPAS SE CONSIDERA COMO NO MAGNÉTICO. PARA LOS 19 BLOQUES EN LA FIGURA ANTERIOR HAY 57 COEFICIENTES Q DESCONOCIDOS.

RUMBO DE LA MASA DE ROCA

EN LA MAYORIA DE LOS CASOS, LA MASA DE ROCA RESPONSABLE DE GENERAR LA ANOMALÍA MAGNÉTICA OBSERVADA ES GIRADA UN ANGULO θ CON RESPECTO AL NORTE GEOGRÁFICO. LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN SON ENREJILLADOS A LO LARGO DE LAS DIRECCIONES NORTE Y ESTE. EL PROBLEMA ES DETERMINAR PARA UNA DISTRIBUCIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL DADAS DE LOS BLOQUES, EL RUMBO DE LA MASA DE ROCA EL CUAL MINIMIZA EL ERROR CUADRÁTICO MEDIO ε^2 EN LA ECUACIÓN (11). PARA RESOLVER EL PROBLEMA, TENEMOS QUE CALCULAR ε^2 PARA MUCHAS POSIBLES DIRECCIONES DEL RUMBO. PARA UN ÁNGULO PARTICULAR θ ENTRE EL RUMBO Y EL NORTE GEOGRÁFICO, LAS COORDENADAS PARA EL PUNTO DE OBSERVACIÓN, TENDRAN QUE SER CAMBIADAS DE ACUERDO CON LA ECUACIÓN (6). USANDO LOS COSENOS DIRECTORES REVISADOS PARA EL CAMPO GEOMAGNÉTICO DADO POR LA ECUACIÓN (7), PODEMOS CALCULAR LOS COEFICIENTES b EN (5). ENTONCES LAS ECUACIONES NORMALES EN (10) SON RESUELTAS Y EL ERROR CUADRÁTICO MEDIO EN (11) ES EVALUADO. UN EFICIENTE PROGRAMA PUEDE SER FACILMENTE ESCRITO PARA BUSCAR LA DIRECCIÓN DEL RUMBO RECONOCIENDO EL ERROR CUADRÁTICO MEDIO.

POSTERIORMENTE SE MOSTRARÁ CON EJEMPLOS QUE EL RUMBO CALCULADO DE LA MASA DE ROCA ES MÁS BIEN INSENSIBLE A AJUSTES MODERADOS DEL ESPESOR VERTICAL DE LOS BLOQUES. DEBE NOTARSE TAMBIEN, QUE EN ESTE ESTADO INICIAL DEL CÁLCULO, LOS VECTORES DE MAGNETIZACIÓN CALCULADOS SON NORMALMENTE ERRONEOS DEBIDO A LA INEXACTITUD DE LA EXTENSIÓN VERTICAL DE LOS BLOQUES.

SUPERFICIES DE LA BASE Y CIMA DE LOS BLOQUES.

EN LA MAYORIA DE LOS CASOS, LA EXACTITUD DE LOS RESULTADOS FINALES -

DEPENDE DEL ORDEN DE SELECCIÓN DE LAS CAPAS PARA AJUSTAR LAS SUPERFICIES DE LA CIMA Y LA BASE DE LOS BLOQUES. DEBIDO A LA PROXIMIDAD DE LA CIMA DE LA CAPA AL PLANO DE OBSERVACIÓN, LOS BLOQUES EN ESTA CAPA EJERCEN UNA FUERTE INFLUENCIA SOBRE LOS VALORES DE CAMPO OBSERVADO. POR ESTA RAZÓN EL AJUSTE DE ESOS BLOQUES AL INICIO DEL PROCESO ITERATIVO FRECUENTEMENTE CONDUCE A UNA CAPA EQUIVALENTE DE MAGNETIZACIÓN, RELACIONANDO EXACTAMENTE AL CAMPO OBSERVADO. ENTONCES LLEGA A SER INNECESARIO AJUSTAR LOS BLOQUES EN LAS CAPAS MAS BAJAS. POR LO TANTO, LA PRIMERA ETAPA EN EL PROCESO ITERATIVO ES INICIAR CON LOS BLOQUES EN LA CAPA MEDIA. LA CIMA Y LA BASE DE CADA BLOQUE INDIVIDUAL SON SIMULTANEAMENTE AJUSTADAS PARA MINIMIZAR EL ERROR CUADRÁTICO MEDIO EN (11). SIGUIENDO CON LOS BLOQUES FIJOS, DURANTE LA EJECUCIÓN DEL AJUSTE; LA CIMA O LA BASE DE ALGUNOS BLOQUES PUEDEN TOCAR LA CIMA O LA BASE EN LA CAPA MÁS ALTA O MÁS BAJA. ENTONCES LA BASE O LA CIMA DEL BLOQUE ES LEVANTADA Ó BAJADA PARA PROPORCIONAR UNA CAPA NO MAGNÉTICA ENTRE LOS BLOQUES. EL PROCESO DE AJUSTE ES CONTINUADO, UNO A LA VEZ, PARA TODOS LOS BLOQUES EN LA CAPA INTERMEDIA.

CUANDO EL PROCESO ES TERMINADO PARA LA CAPA INTERMEDIA, EL BLOQUE TERCERO O DEL FONDO ES CONSIDERADO PARA EL AJUSTE. EN LA CONCLUSIÓN DE ESTA ETAPA, ES PROBABLEMENTE NECESARIO DEFINIR UN REAJUSTE DE LOS BLOQUES EN LA SEGUNDA Y TERCERA CAPAS EN SECUENCIA, ANTES DE PROCEDER PARA LA PRIMERA CAPA. SIGUIENDO EL PROCESO CON LOS BLOQUES DE LA PRIMERA CAPA.

EL PROCESO COMO SE DESCRIBIO EN LOS PARRAFOS ANTERIORES, ES REPETIDO DOS VECES AL FINAL PARA OBTENER LA ESTABILIDAD DE LAS SUPERFICIES DE LA CIMA Y LA BASE DE TODOS LOS BLOQUES.

ITERACIONES ADICIONALES

EL RUMBO DE LA MASA DE ROCA ES ENTONCES EVALUADO POR EL PROCESO DESCRITO A CONTINUACIÓN [ETAPAS (1) a (5)] CON LA DISTRIBUCIÓN ESTIMADA DE LOS BLOQUES QUE REPRESENTAN LA MASA DE ROCA MAGNETIZADA. COMO NOTAMOS ANTES, EN LA MAYORIA DE LOS CASOS LA DIFERENCIA ENTRE LOS VIEJOS Y NUEVOS VALORES DEL RUMBO ES PEQUEÑA, Y ES, POR LO TANTO, INNECESARIO REPETIR LAS ETAPAS PARA LAS SUPERFICIES DE LA CIMA Y EL FONDO. SIN EMBARGO, EN CASOS EXCEPCIONALES, LA DIFERENCIA PODRÍA SER SIGNIFICATIVA Y LAS ETAPAS DEBEN SER REPETIDAS.

RESTRICCIÓN EN LA DIRECCIÓN DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN.

EN LA DISCUSIÓN SOBRE EL PROCEDIMIENTO PARA EL ANALISIS DE LOS DATOS, NO SE HAN IMPUESTO RESTRICCIONES SOBRE LOS POSIBLES VALORES DE LOS COEFICIENTES Q LOS CUALES DETERMINAN LOS VECTORES DE MAGNETIZACIÓN DE LOS BLOQUES. EN CASOS EN LOS QUE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE ES MÍNIMA, ACERCA DE LA MAGNETIZACIÓN DE LAS ROCAS, PUEDE SER NECESARIO CALCULAR LOS COEFICIENTES Q SIN NINGUNA RESTRICCIÓN. SIN EMBARGO, ESOS COEFICIENTES DEBEN SER FORZADOS EN LA PRESENCIA DE DATOS SOBRE LA MAGNETIZACIÓN DE LAS ROCAS PORQUE ES PROBABLE OBTENER UN ERROR CUADRÁTICO MEDIO MÍNIMO EN (11) CON LOS VECTORES DE MAGNETIZACIÓN APUNTANDO EL CAMINO DE LA DIRECCIÓN VERDADERA. ESOS VECTORES ERRONEOS, EN TORNO, DAN VALORES INCORRECTOS DEL RUMBO DE LA MASA DE ROCA Y LAS PROFUNDIDADES DE LAS SUPERFICIES HORIZONTALES DE TODOS LOS BLOQUES.

CONSIDEREMOS EL PROBLEMA DE RESTRINGIR EL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN DENTRO DE LOS LÍMITES ESPECIFICADOS EN TORNO A LA DIRECCIÓN DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO. COMO UN EJEMPLO SUPONGASE QUE EN EL PROCESO DESCRITO ("SUPERFICIES DE LA BASE Y CIMA DE LOS BLOQUES"), PARA EL AJUSTE DEL ESPESOR VERTICAL DE UN BLOQUE, LAS PROFUNDIDADES DE LAS SUPERFICIES DE LA CIMA Y LA BASE DE LOS BLOQUES ESTAN EN UNA ETAPA INTERMEDIA RESPECTIVAMENTE. PARA ESAS PROFUNDIDADES LA DIRECCIÓN (L,M,N) DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN ES CAMBIADO DENTRO DE LOS LÍMITES ESPECIFICADOS PARA OBTENER EL MÍNIMO ERROR CUADRÁTICO MEDIO EN LA ECUACIÓN (11). PUESTO QUE $Q_1 = LJ$, $Q_2 = MJ$, $Q_3 = NJ$ EN (5), SOLAMENTE LA INTENSIDAD DE MAGNETIZACIÓN J DEL BLOQUE ES DESCONOCIDA PARA UNA DIRECCIÓN PARTICULAR DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN. LAS ECUACIONES NORMALES (10) PARA B BLOQUES CONTIENE SOLAMENTE B INTENSIDADES DE MAGNETIZACIÓN DESCONOCIDAS. EL ALGORITMO PARA ESTIMAR LAS OPTIMAS h_t Y h_b PUEDEN SER DIVIDIDAS ENTONCES, EN LAS ETAPAS SECUENCIALES:

(1) SELECCIÓN DE h_t Y h_b

(2) SELECCIÓN DE (L,M,N) DENTRO DE LOS LÍMITES ESPECIFICADOS, DETERMINA LAS INTENSIDADES DE MAGNETIZACIÓN RESOLVIENDO LAS ECUACIONES NORMALES (10) Y CALCULA EL ERROR CUADRÁTICO MEDIO EN LA ECUACIÓN (11).

(3). VARIAR (L,M,N) DENTRO DE LOS LÍMITES UTILES DEL ERROR CUADRÁTICO MEDIO PARA QUE SEA MÍNIMO.

(4) CAMBIA h_b Y h_t Y REGRESA A LA ETAPA (2). REPITE ESTE PROCESO HASTA QUE EL ERROR CUADRÁTICO MEDIO MÍNIMO ES OBTENIDO.

CUANDO ESTIMAMOS LA DIRECCIÓN DEL RUMBO DE LA MASA DE ROCA MAGNETIZADA EN LA FASE INICIAL, NO SE HACE LA CONSIDERACIÓN ACERCA DE LA DIRECCIÓN DE MAGNETIZACIÓN DE LOS BLOQUES.

RESTRICCIONES EN LAS PROFUNDIDADES DE LA CIMA Y LA BASE DE UN BLOQUE PARTICULAR.

EN ALGUNAS ÁREAS LOS DATOS DE PERFORACIONES U OTROS DATOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS PODRIAN PROPORCIONAR LAS PROFUNDIDADES DE LA CIMA Y LA BASE Y LA MAGNETIZACIÓN DE UNOS CUANTOS BLOQUES. ENTONCES LOS PARAMETROS ASOCIADOS CON ESOS BLOQUES SE CONSIDERAN CONOCIDOS Y ELLOS CONTROLAN LA SOLUCIÓN FINAL OBTENIDA POR EL PROCESO DE ITERACIÓN DESCRITO EN ESTA SECCIÓN.

ANALISIS DE ANOMALIAS EN SUPERFICIES CUBIERTAS.

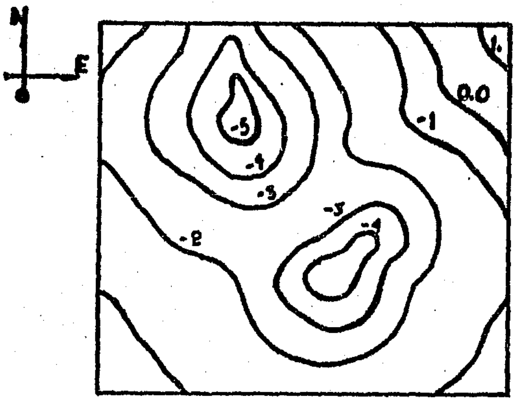
LOS LEVANTAMIENTOS AEROMAGNETICOS SON ALGUNAS VECES CONDUCIDOS EN FORMA CUBIERTA SOBRE TERRENO MONTAÑOSO. EN TALES CASOS, LAS LINEAS DE VUELO TIENDEN A SEGUIR LA SUPERFICIE TOPOGRÁFICA EN UN TERRENO DESPEJADO CONSTANTE. DEBIDO A FLUCTUACIONES INEVITABLES EN EL TERRENO DESPEJADO DEL AVIÓN, ES NECESARIO CONTINUAR LOS DATOS OBSERVADOS DESDE LA SUPERFICIE DEL VUELO HASTA LA SUPERFICIE CUBIERTA (BHATTACHARYYA Y CHAN, 1977; WYNN Y BHATTACHARYYA, 1977).

EL PROCEDIMIENTO PARA INVERSIÓN DE DATOS MAGNÉTICOS COMO SE DISCUTIO EN LA SECCIÓN PREVIA PUEDE SER ADAPTADO FACILMENTE AL CASO DE LA ANOMALIA OBSERVADA SOBRE UNA SUPERFICIE CUBIERTA. PARA EL MODELO DE LA TERCER FIGURA, LA SUPERFICIE DE LA CIMA, EN LA ETAPA INICIAL DE INVERSIÓN, DEBE COINCIDIR CON LA SUPERFICIE TERRESTRE (CUARTA FIGURA) EL CENTRO DE LA SUPERFICIE DE LA CIMA DE CADA UNO DE LOS BLOQUES EN LA CAPA SUPERIOR ES LOCALIZADO SOBRE EL NIVEL DE LA TIERRA. LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN EN EL PRESENTE CASO NO ESTAN EN UN NIVEL FIJO. SIN EMBARGO, PUESTO QUE LA ALTITUD DE LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN DESDE LA SUPERFICIE TERRESTRE ES FIJO Y CONOCIDO, LA ECUACIÓN (5) PUEDE SER USADA PARA CALCULAR LOS COEFICIENTES b. EL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA DIRECCIÓN DEL RUMBO Y AJUSTAR LA SUPERFI-

CIE HORIZONTAL DE LOS BLOQUES, QUE PERMANECE IDENTICA A LA DESCRITA EN LA SECCIÓN PREVIA.

ANOMALIAS MODELO

PARA EXAMINAR LA EXACTITUD DEL PROCEDIMIENTO SUGERIDO PARA EL ANALISIS DE DATOS, FUERÓN ASOCIADOS EXPERIMENTOS NUMÉRICOS CON ANOMALIAS MODELO. PARA HACER LOS EXPERIMENTOS COMPLICADOS, SE ASUME AL TERRENO CONSISTENTE DE DOS COLINAS SEPARADAS POR UN VALLE (FIGURA SIGUIENTE):

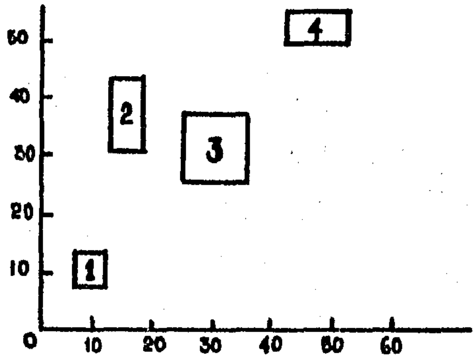


EL CONTORNO EN LA FIGURA ANTERIOR, INDICA ALTURAS EN UNIDADES ARBITRARIAS CON RESPECTO AL NIVEL DEL MAR, POSITIVO HACIA ABAJO. EL NIVEL DEL MAR ES CONSIDERADO PARA SER EL PLANO XY CON LOS EJES X, Y APUNTANDO AL NORTE Y AL ESTE RESPECTIVAMENTE. PARA PREPARAR ESA FIGURA, LAS ELEVACIONES FUERÓN USADAS SOBRE UNA REJILLA DE 64×64.

EL TERRENO ES CONSIDERADO COMO NO MAGNÉTICO. CUATRO CUERPOS PRISMATICOS RECTANGULARES ENTERRADOS SE ASUMEN COMO RESPONSABLES DE CAUSAR EL CAMPO TOTAL ANOMALO. EL CAMPO ES OBSERVADO SOBRE UNA SUPERFICIE CON UN ESPACIO VERTICAL FIJO DE DOS UNIDADES DE REJILLA SOBRE EL TERRENO. LOS CAMPOS ANOMALOS SOBRE SUPERFICIES CUBIERTAS SON, POR LO TANTO, ANALIZADOS EN EL PRESENTE EXPERIMENTO.

LA FIGURA QUE SIGUE MUESTRA LA DISTRIBUCIÓN DE LOS 4 CUERPOS QUE YACEN BAJO LA SUPERFICIE TERRESTRE PARA EL CÁLCULO DEL CAMPO TOTAL CAUSADO POR ESOS CUERPOS, LA INCLINACIÓN Y DECLINACIÓN DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO

SE ASUMEN DE 60° Y 0° RESPECTIVAMENTE:



LOS PARAMETROS DE LOS CUERPOS MAGNETIZADOS ESTAN DADOS EN LA TABLA SIGUIENTE, EN ESTA TABLA, I_0 Y D_0 ESTAN EXPRESADOS EN GRADOS Y LA INTENSIDAD DE MAGNETIZACIÓN J ESTA EN UNIDADES ARBITRARIAS.

PARAMETROS DE LOS CUATRO CUERPOS PRISMÁTICOS RECTANGULARES

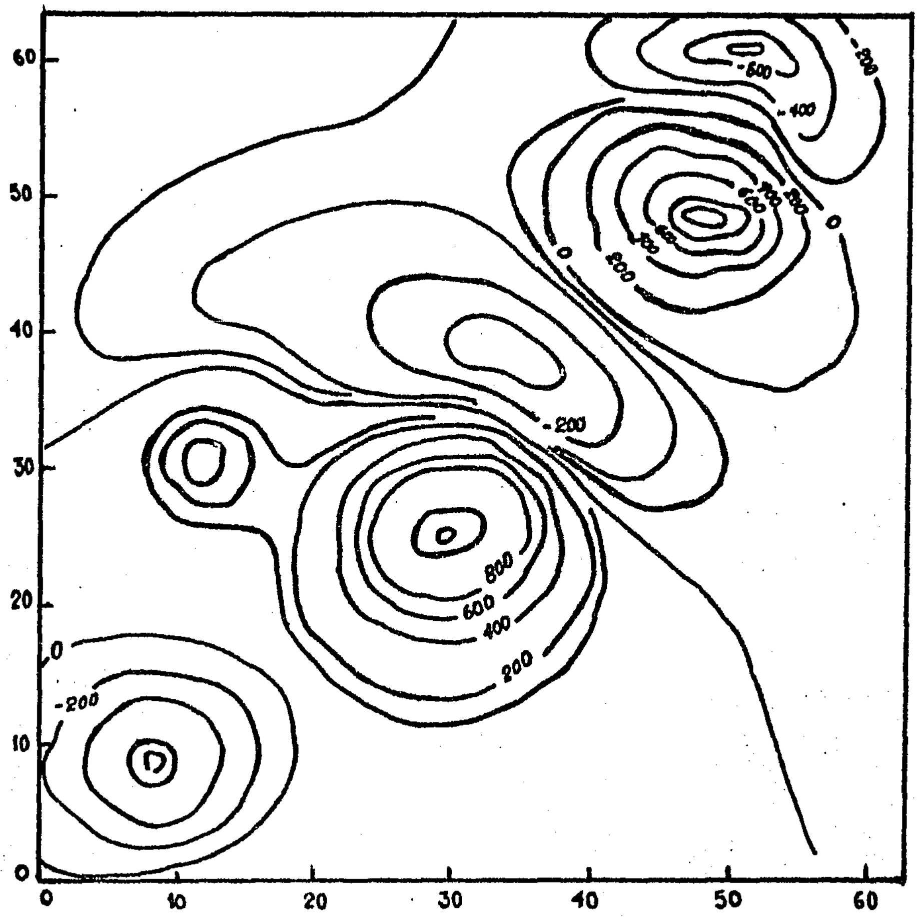
CUERPO	α_a	α_b	β_a	β_b	h_t	h_b	I_0	D_0	J
1	7	13	7	13	1.5	7.5	-60	-20	20
2	31	43	13	19	0	4.0	40	30	5
3	25	37	25	37	0	6.0	50	10	10
4	49	61	43	55	0.5	6.5	30	20	5

CALCULO DEL RUMBO

LAS SIGUIENTES DIRECCIONES DE RUMBOS SE SUPONEN PARA LOS 4 CUERPOS DE: $\theta_1 = 35°$, $\theta_2 = 47°$, $\theta_3 = 76°$ Y $\theta_4 = 82°$; DONDE LOS SUBINDICES 1, 2, 3 Y 4 SE REFIEREN AL NUMERO DEL CUERPO.

SERÁN ESTUDIADOS DOS CASOS AHORA. EL PRIMERO TRATA DE LA ANOMALÍA DE CAMPO TOTAL CAUSADA POR EL CUERPO 1 SOLO, SOBRE LA SUPERFICIE CUBIERTA SIN EFECTOS DE DISTORSIÓN DE OTRAS FUENTES. EL SEGUNDO CASO CONCERNIENTE AL CAMPO TOTAL ANOMALO CREADO POR LOS CUERPOS DE LA FIGURA ANTERIOR. LAS ANOMALIAS EN LA FIGURA SIGUIENTE NO ESTAN COMPLETAMENTE AISLADAS. LOS VALORES EN LOS EJES DE LAS ANOMALIAS SON LOS EFECTOS COMBINADOS DE LOS

CUERPOS MAGNETIZADOS CERCANOS:



EL ÁREA INICIAL DE OBSERVACIÓN ES SELECCIONADA EXACTAMENTE SOBRE EL CUERPO NÚMERO 1 Y CONTIENE LAS OBSERVACIONES SOBRE UNA REJILLA DE 7X7. EL ÁREA DE LA MASA DE ROCA RESPONSABLE DE LA ANOMALIA SE ASUME A SER 9 VECES EL ÁREA DEL CUERPO; ESTE ES DIVIDIDO ENTONCES ENTRE (3x3) BLOQUES, CADA UNO CON UNA ÁREA IGUAL AL ÁREA DE LA MASA DE ROCA. PARA INICIAR CON LA SITUACIÓN MÁS SIMPLE, SE SUPONE A UNO DE LOS BLOQUES COINCIDENTE CON LA MASA DE ROCA MAGNETIZADA. LA DIRECCIÓN DE RUMBO CALCULADA Y EL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN DE ESTE BLOQUE SE DEFINEN EXACTAMENTE EN AMBOS CASOS, TANTO PARA LAS ANOMALIAS AISLADAS COMO PARA LAS NO AISLADAS. LOS BLOQUES QUE RODEAN MUESTRAN UN VECTOR DE MAGNETIZACIÓN NULO. EN EL CASO DE LA ANOMALIA AISLADA, LA EXACTITUD DE LOS RESULTADOS DEL CÁLCULO PERMANECEN SIN CAMBIO -

SI EL ÁREA DE OBSERVACIÓN ES DESPLAZADA HORIZONTALMENTE POR UNA DISTANCIA PEQUEÑA DE LA UNIDAD DE REJILLA. PARA LA ANOMALIA NO AISLADA, SIN EMBARGO, EL RUMBO CALCULADO ES AUN PRECISO ENTRE UNO Y DOS GRADOS DEL VALOR CORRECTO, PERO LOS VECTORES DE MAGNETIZACIÓN LLEGAN A SER EXTREMADAMENTE ERRONEOS.

A CONTINUACIÓN, LOS BLOQUES EN EL MODELO SON CAMBIADOS HORIZONTALMENTE UNA O DOS UNIDADES DE REJILLA RELATIVAS AL CUERPO MAGNETIZADO. ENTONCES UN BLOQUE SIMPLE NO OCUPA COMPLETAMENTE EL VOLUMEN DEL CUERPO. TANTO PARA ANOMALIAS AISLADAS COMO PARA LAS NO AISLADAS, EL RUMBO CALCULADO CAE ENTRE 28° Y 42°; Y EL ERROR EN EL CÁLCULO DEPENDE, PARA ALGUNA EXTENSIÓN, DE LA LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE OBSERVACIÓN CON RESPECTO AL CUERPO MAGNETIZADO. AHORA, SÍ LAS PROFUNDIDADES DE LA CIMA DE LOS BLOQUES SON CAMBIADAS POR UNA O DOS UNIDADES DE REJILLA, LAS DIRECCIONES DE RUMBO VARIAN EN EL RANGO DE 24° A 44°. LAS PROFUNDIDADES AL FONDO DE LOS BLOQUES NO TIENEN EFECTO APRECIABLE SOBRE LA DIRECCIÓN DEL RUMBO CALCULADO. EN LOS CASOS EN LOS QUE EL CUERPO MAGNETIZADO NO ESTA COMPLETAMENTE CONTENIDO EN UN BLOQUE O EN UN MULTIPLO DE BLOQUES, EL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN SIEMPRE ES BURDO EN EXACTITUD. SIN EMBARGO, LA DIRECCIÓN DEL RUMBO CALCULADO, ESTÁ DEFINIDA EN LA MAYORIA DE LOS CASOS, PARA SER APROXIMADAMENTE CORRECTO. DEBE NOTARSE QUE GENERALMENTE EXISTE MÁS DE UNA DIRECCIÓN DE RUMBO PARA LA CUAL EL ERROR CUADRÁTICO MEDIO EN LA ECUACIÓN (11) ES UN MÍNIMO, Y EL MÍNIMO ABSOLUTO NO GARANTIZA LO CORRECTO DEL RUMBO CALCULADO. SIN EMBARGO, LA ORIENTACIÓN DE LA ANOMALÍA EN LA SUPERFICIE DE OBSERVACIÓN ES SIEMPRE ÚTIL EN LA SELECCIÓN DEL RUMBO CORRECTO.

LAS ANOMALIAS SOBRE LOS 3 CUERPOS PERMANENTES SON ANALIZADAS TAMBIEN, Y LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS MUESTRAN EL MISMO GRADO DE EXACTITUD QUE LA PRIMERA ANOMALIA. A PARTIR DE EXPERIMENTOS NUMÉRICOS DISCUTIDOS EN ESTA SECCIÓN, SE CONCLUYE QUE EL RUMBO CALCULADO DE LA MASA DE ROCA ASUMIDA ES UN TANTO INSENSIBLE PARA AJUSTES MODERADOS EN LAS DIMENSIONES DE LOS BLOQUES Y PARA LA SELECCIÓN DEL ÁREA DE OBSERVACIÓN.

CALCULO DE LAS PROFUNDIDADES DE LA CIMA Y LA BASE DE LOS BLOQUES

A PARTIR DE LA DISCUSIÓN SOBRE EL PROCEDIMIENTO PARA EL ANALISIS DE DATOS,

DOS FUENTES MÁS GRANDES POSIBLES DE ERROR EN LAS PROFUNDIDADES CALCULADAS - PARA LA CIMA Y LA BASE DE LOS BLOQUES SON EVIDENTES. LA PRIMERA FUENTE DE ERROR ES LA LOCALIZACIÓN HORIZONTAL DEL ÁREA DE OBSERVACIÓN RELATIVA AL CUERPO MAGNETIZADO. INTUITIVAMENTE, EL ERROR EN EL CÁLCULO SERÁ MÍNIMO CUANDO EL ÁREA DE OBSERVACIÓN ESTÁ EXACTAMENTE SOBRE EL CUERPO MAGNETIZADO. LA SEGUNDA FUENTE DE ERROR SON LA LOCALIZACIÓN Y DIMENSIONES INCORRECTAS DE LOS BLOQUES. EN TAL CASO, LOS BLOQUES EN CONJUNTO ENCUADRAN COMPLETAMENTE AL - CUERPO; PERO LOS BLOQUES INDIVIDUALES, SOLOS O EN COMBINACIÓN, NO OCUPAN EXACTAMENTE EL VOLUMEN DEL CUERPO.

PARA ESTUDIAR LOS EFECTOS DE LAS FUENTES DE ERROR, EL RUMBO DE LOS 4 CUERPOS EN LA SEXTA FIGURA SE ASUME PARA SER DE NORTE A SUR. LA LOCALIZACIÓN Y DIMENSIONES DE LOS BLOQUES Y LA DIRECCIÓN DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO REMANENTE NO CAMBIA. LOS CAMPOS ANOMALOS SOBRE SUPERFICIES CUBIERTAS SON ANALIZADOS. LA MASA DE ROCA RESPONSABLE DE LA ANOMALIA SELECCIONADA SE CONSIDERA IGUAL A 4 VECES EL TAMAÑO ACTUAL DEL CUERPO MAGNETIZADO. ENTONCES, LA MASA ES DIVIDIDA EN (4x4) BLOQUES HORIZONTALES Y UN BLOQUE VERTICAL.

LAS ANOMALIAS SOBRE LOS CUATRO CUERPOS SON CONSIDERADAS INDIVIDUALMENTE LA PROFUNDIDAD INICIAL DE LOS BLOQUES ES SELECCIONADA PARA DESVIAR DESDE LA PROFUNDIDAD VERDADERA UNA O DOS UNIDADES DE DISTANCIA. NINGUNO DE LOS BLOQUES PERMITEN OCUPAR TOTALMENTE EL VOLUMEN DEL CUERPO. LAS PROFUNDIDADES - DE LA CIMA Y LA BASE DE LOS BLOQUES, COMO SE CALCULARÓN POR EL PRESENTE MÉTODO YACEN DENTRO DE $\pm$ 0.2 DE LA PROFUNDIDAD VERDADERA. EL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN PUEDE SER DETERMINADO DENTRO DE UNA EXACTITUD DEL 10% SÍ EL ÁREA DE OBSERVACIÓN SE SELECCIONA, TAL QUE ALGUNO DE LOS BLOQUES YACE COMPLETAMENTE DENTRO DEL CUERPO MAGNETIZADO.

CONCLUSIONES

LAS ANOMALIAS MAGNÉTICAS SON GENERADAS POR UNA DISTRIBUCIÓN NO-HOMOGENEA DE LA MAGNETIZACIÓN EN UNA REGIÓN LIMITADA. ÉSTA REGIÓN ESTA LIMITADA POR UNA PARTE DE LA SUPERFICIE TERRESTRE EN LA CIMA Y POR LA SUPERFICIE ISOTERMAL DEL PUNTO CURIE EN LA BASE. YA QUE EL CAMPO CAUSADO POR UN CUERPO MAGNETIZADO DECAE RAPIDAMENTE CON LA DISTANCIA DESDE EL PUNTO DE OBSERVACIÓN, LA EXTENSIÓN HORIZONTAL DE LA REGIÓN ES TAMBIEN, PARA PROPÓSITOS PRÁCTICOS, LIMITADA.

LA REGIÓN MAGNETIZADA ES DIVIDIDA ENTRE UN NÚMERO DE ELEMENTOS DE BLOQUE, SIENDO CADA UNO MAGNETIZADO HOMOGENEAMENTE. LA DISTRIBUCIÓN DE MAGNETIZACIÓN EN ESOS BLOQUES, COMO LA CALCULADA POR EL PROCEDIMIENTO DISCUTIDO AQUI, DELINEAN LA FUENTE MAGNÉTICA EN LA REGIÓN GENERANDO LA ANOMALIA OBSERVADA. EN LA MAYORIA DE LOS CASOS, LA FUENTE NO COINCIDIRA EXACTAMENTE CON UN GRUPO O UN BLOQUE INDIVIDUAL. ENTONCES, SOLAMENTE UNA PARTE DE UN BLOQUE PARTICULAR PODRIA SER MAGNETIZADO Y EL RESTO SERÁ NO-MAGNÉTICO. LA MAGNETIZACIÓN CALCULADA PARA TAL BLOQUE SERÁ, POR LO TANTO, DEPENDIENTE DE LA PROPORCIÓN DEL ÁREA OCUPADA POR SU PARTE MAGNETIZADA. LA DISTRIBUCIÓN DE MAGNETIZACIÓN DEBERÍA, POR LO TANTO, MOSTRAR VALORES RELATIVOS Y NO ABSOLUTOS.

DEBERÍA SER DADA UNA CONSIDERACIÓN MÁS PARA LA SELECCIÓN DE LAS DIMENSIONES HORIZONTALES DE LOS BLOQUES SOBRE LAS BASES DE LA MÁS PEQUEÑA INHOMOGENEIDAD EN LA MAGNETIZACIÓN QUE PUEDE SER RESUELTA DE LOS DATOS MAGNÉTICOS. SI ESTO ES HECHO PROPIAMENTE, NO ES NECESARIO CAMBIAR LOS BLOQUES HORIZONTALMENTE Y AJUSTAR SUS DIMENSIONES HORIZONTALES.

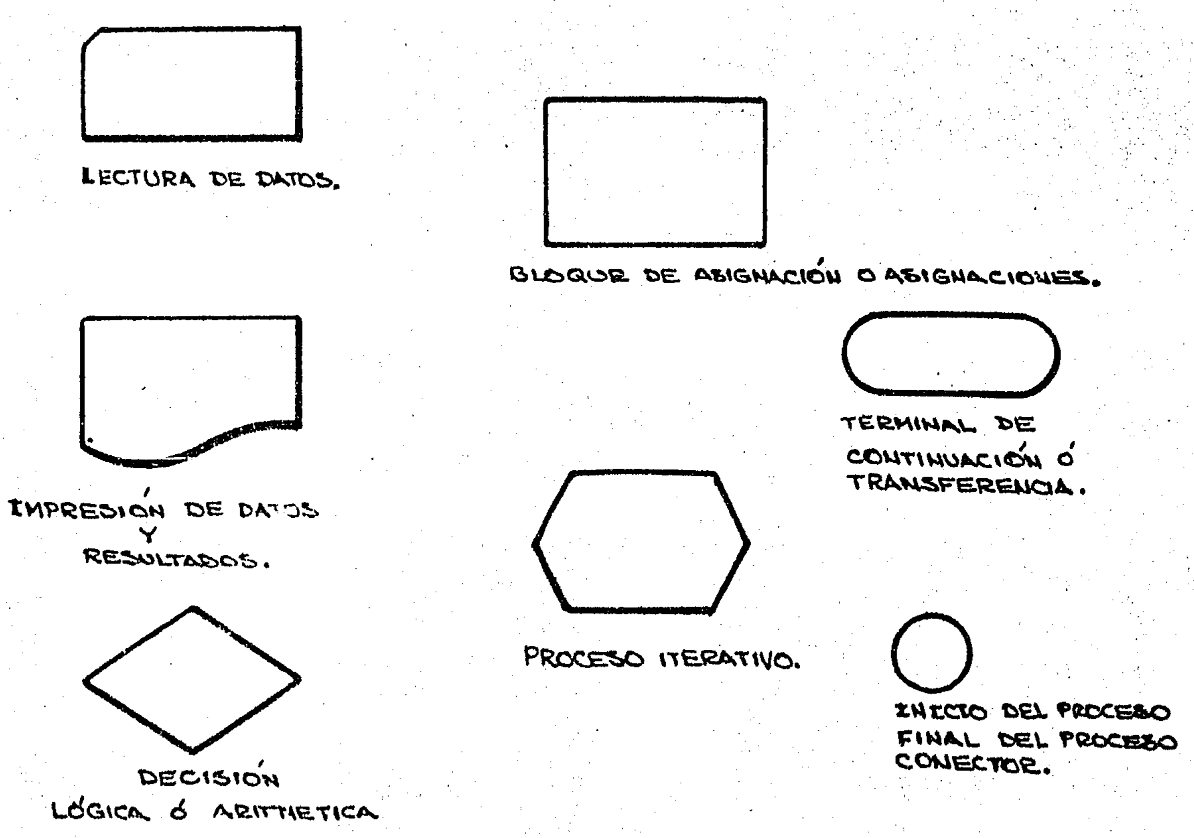
EL PROCESO ITERATIVO DISCUTIDO AQUI CONSISTE DE UN AJUSTE A BASE DE PRUEBA Y ERROR DE LA EXTENSIÓN VERTICAL DE CADA BLOQUE INDIVIDUAL. POR ESTA RAZÓN, ES POSIBLE CONSTRUIR SÍ ES NECESARIO, EL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN Y LA EXTENSIÓN VERTICAL DE BLOQUES INDIVIDUALES CON UN LÍMITE PREDETERMINADO EN UN CAMINO RECTO HACIA ARRIBA. NO HAY TAMPOCO UN PROBLEMA ESPECIAL EN EL TRATAMIENTO DE DATOS AEROMAGNÉTICOS CUBIERTOS. ENTONCES EL PROCEDIMIENTO PROPUESTO ES APLICABLE A VARIOS PROBLEMAS ASOCIADOS CON LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS MAGNÉTICOS. LAS DIFERENTES APROXIMACIONES ANALITICAS PARA HACER EL PROCEDIMIENTO RÁPIDO Y EFICIENTE HAN SIDO EXAMINADAS; SIN EMBARGO, UN MÉTODO COMPLETAMENTE SATISFACTORIO NO HA SIDO DESARROLLADO.

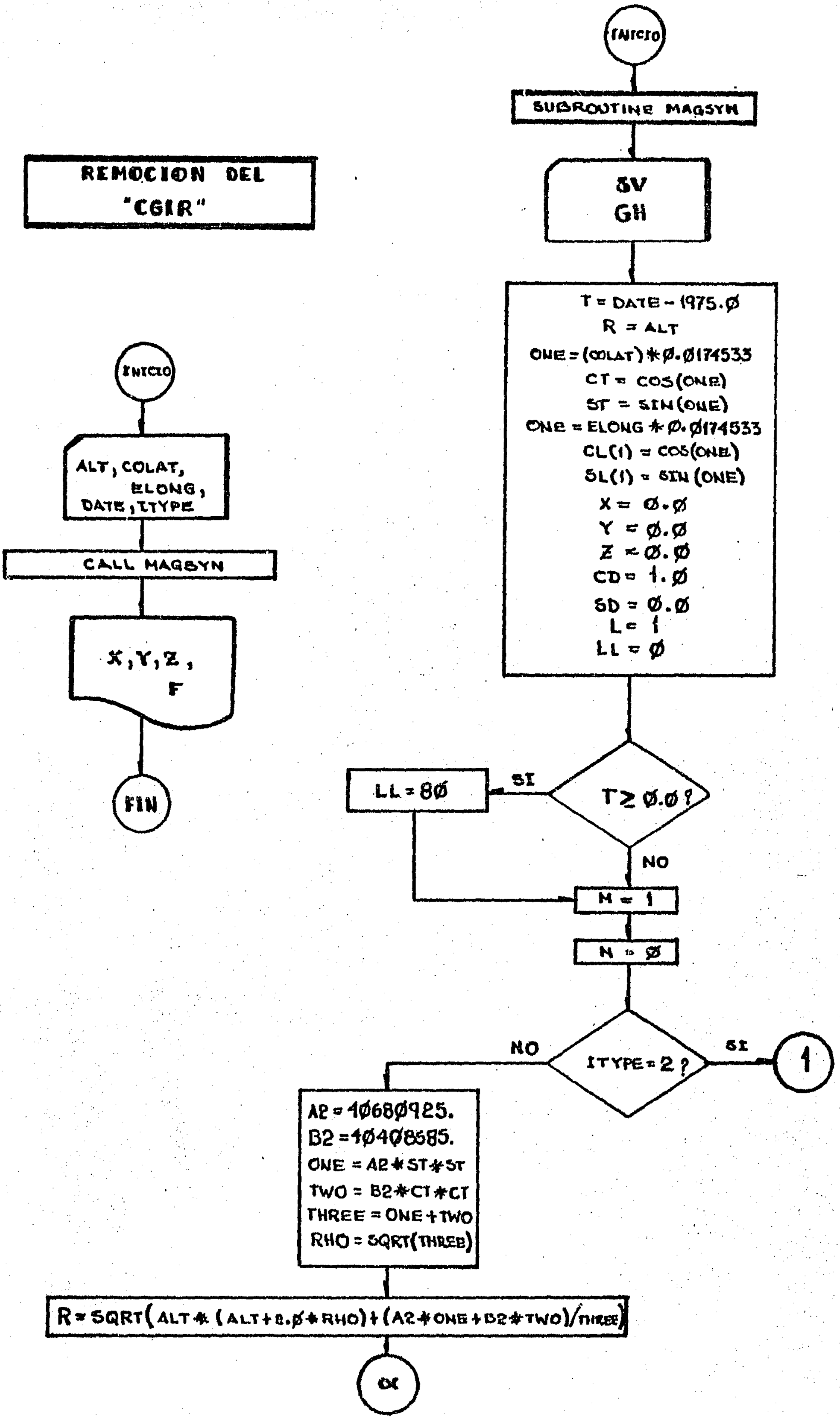
III. DIAGRAMAS DE FLUJO

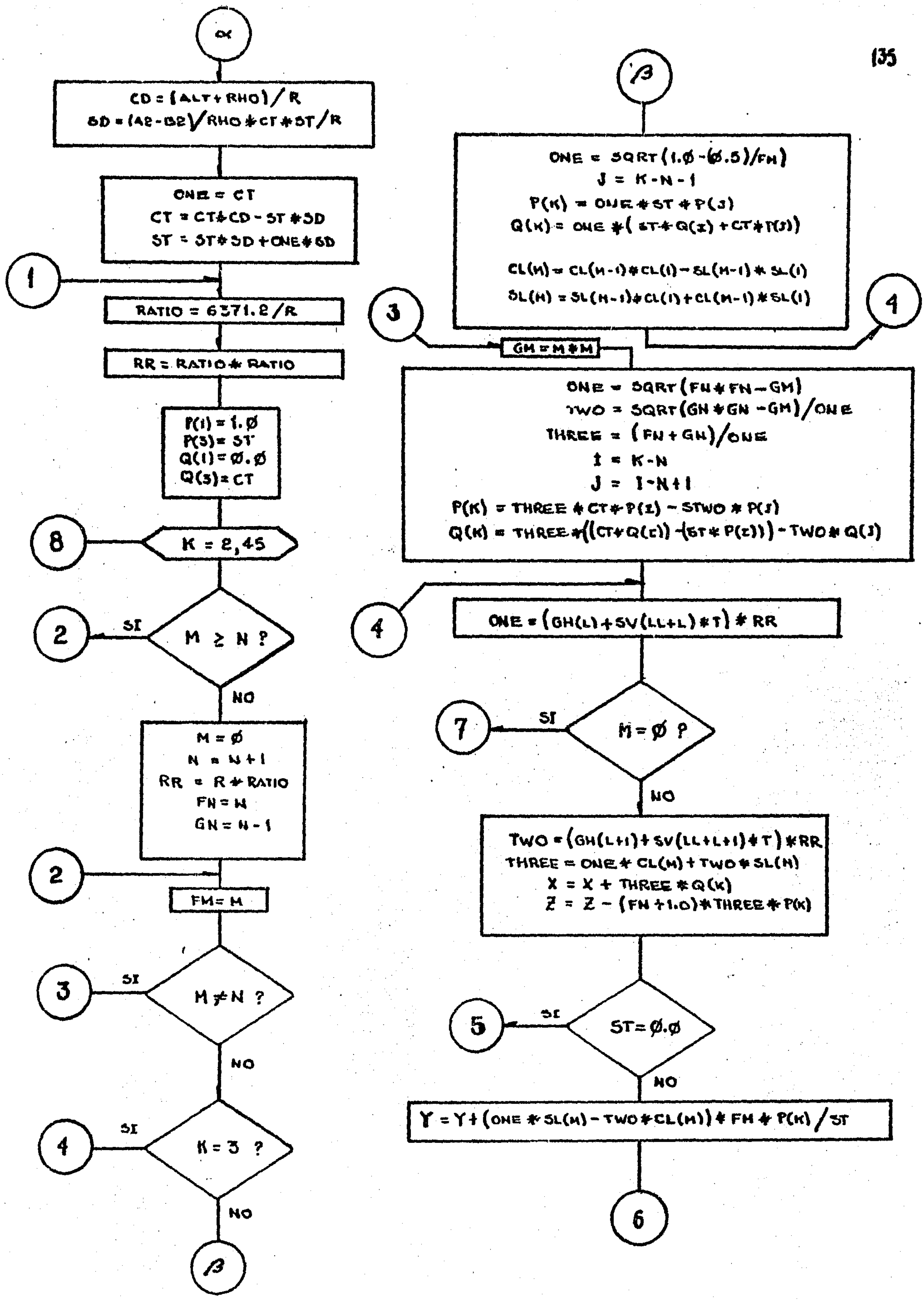
A. INTRODUCCION

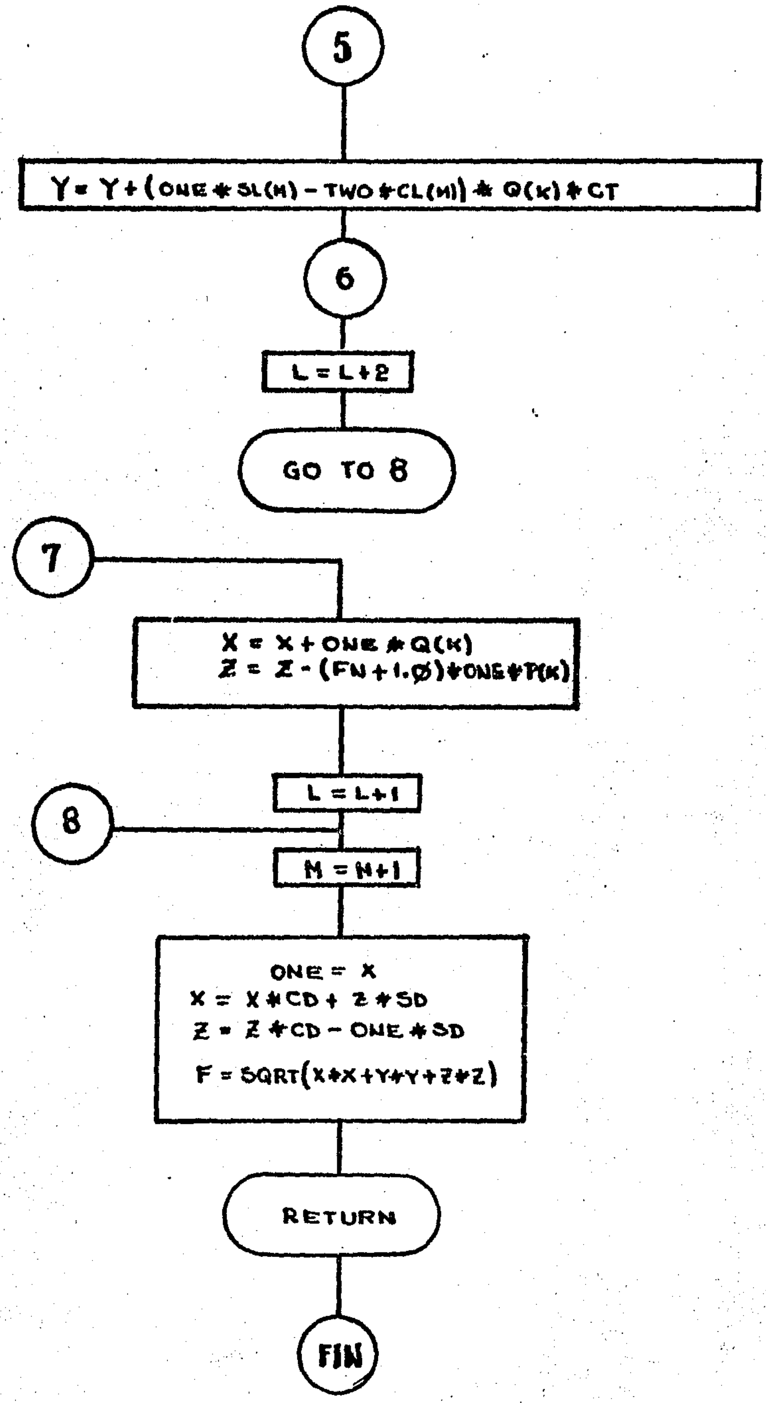
CUANDO PENSAMOS EN FORMAR UN PAQUETE DE PROGRAMAS POR COMPUTADORA NOS FUE NECESARIO RECURRIR A LOS PROFESIONALES DEDICADOS A LA COMPUTACIÓN, DE QUIENES RECIBIMOS CONCEPTOS DE GRAN UTILIDAD, COMO ES EL HECHO DE DOCUMENTAR UN PROGRAMA DE COMPUTADORA, LO QUE CONSISTE EN PRESENTAR CADA PROGRAMA CON LOS FUNDAMENTOS DEL ALGORITMO QUE UTILIZA, SU DIAGRAMA DE FLUJO Y UN LISTADO SIMBÓLICO EN EL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO (FORTRAN). DE AQUI SE DESPRENDE LA IDEA DE INCLUIR ESTE CAPÍTULO, CUYOS ELEMENTOS BÁSICOS SERAN LOS DIAGRAMAS DE FLUJO DE CADA PROGRAMA. ESTOS DIAGRAMAS FUERÓN ELABORADOS DE MANERA QUE SE MOSTRARA SU LÓGICA DE LA FORMA MÁS CLARA POSIBLE ASI COMO LAS ASIGNACIONES CORRESPONDIENTES Y LA SIMBOLOGÍA QUE SE ADOPTO.

SIMBOLOGIA.

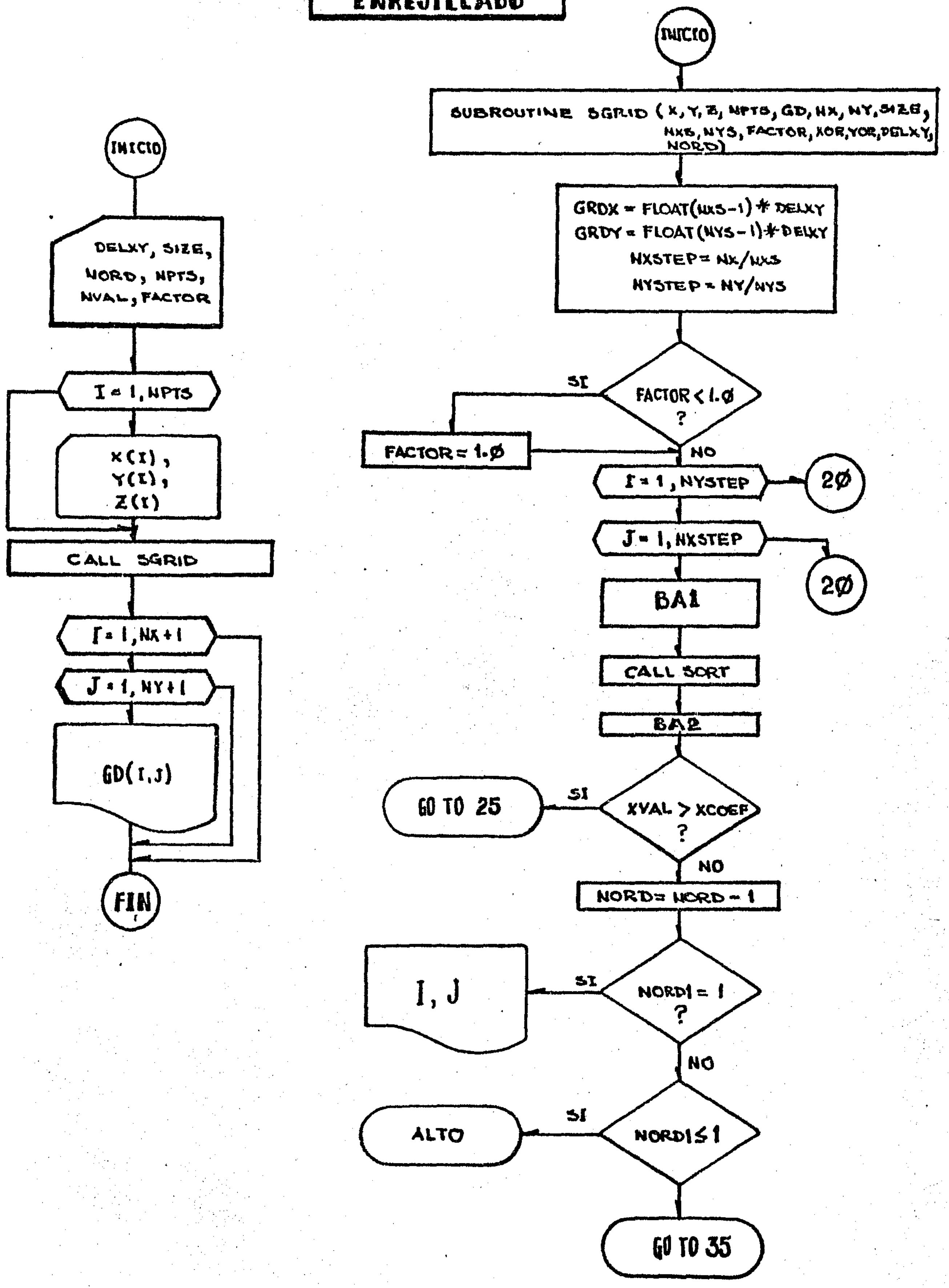


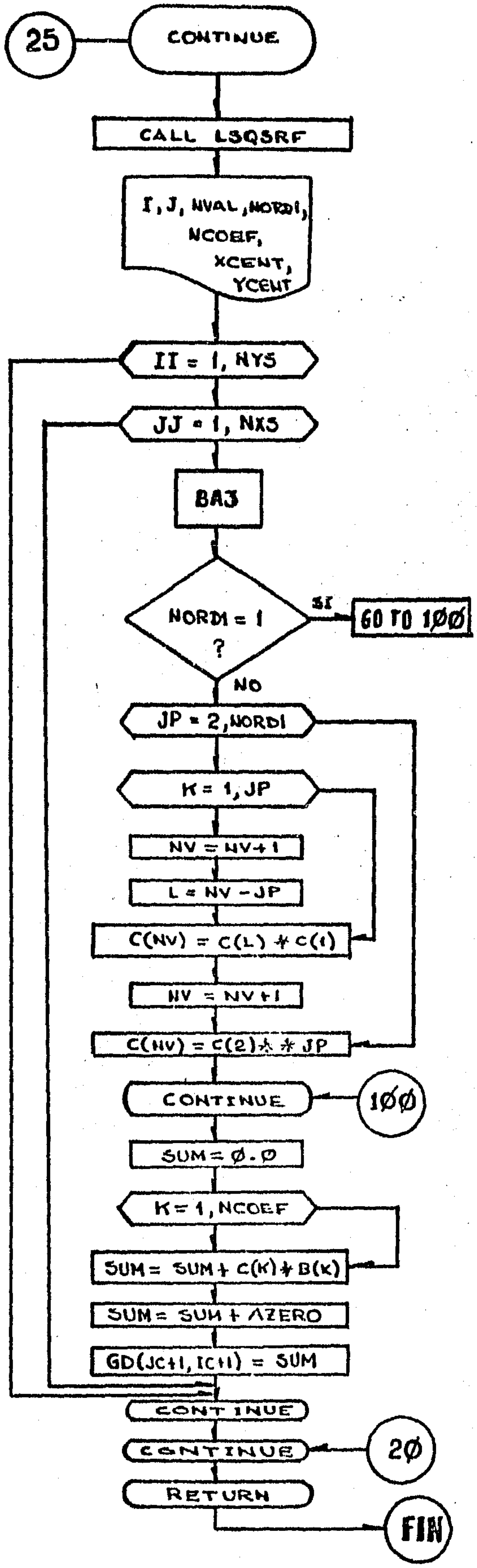

REMOCION DEL "CGIR"
INICIO
ALT, COLAT, ELONG, DATE, ITYPE
CALL MAGSYN
X, Y, Z, F
FIN
INICIO
SUBROUTINE MAGSYN
SV
GH
T = DATE - 1975.Ø
R = ALT
ONE = (COLAT)*Ø.Ø174533
CT = COS(ONE)
ST = SIN(ONE)
ONE = ELONG * Ø.Ø174533
CL(1) = COS(ONE)
SL(1) = SIN (ONE)
X = Ø.Ø
Y = Ø.Ø
Z = Ø.Ø
CD = 1.Ø
SD = Ø.Ø
L = 1
LL = Ø
T ≥ Ø.Ø ?
SI
LL = 8Ø
NO
M = 1
N = Ø
ITYPE = 2 ?
SI
1
NO
A2 = 4Ø68Ø925.
B2 = 4Ø4Ø8585.
ONE = A2 * ST * ST
TWO = B2 * CT * CT
THREE = ONE + TWO
RHO = SQRT(THREE)
R = SQRT(ALT * (ALT + 2.Ø * RHO) + (A2 * ONE + B2 * TWO)/THREE)
α

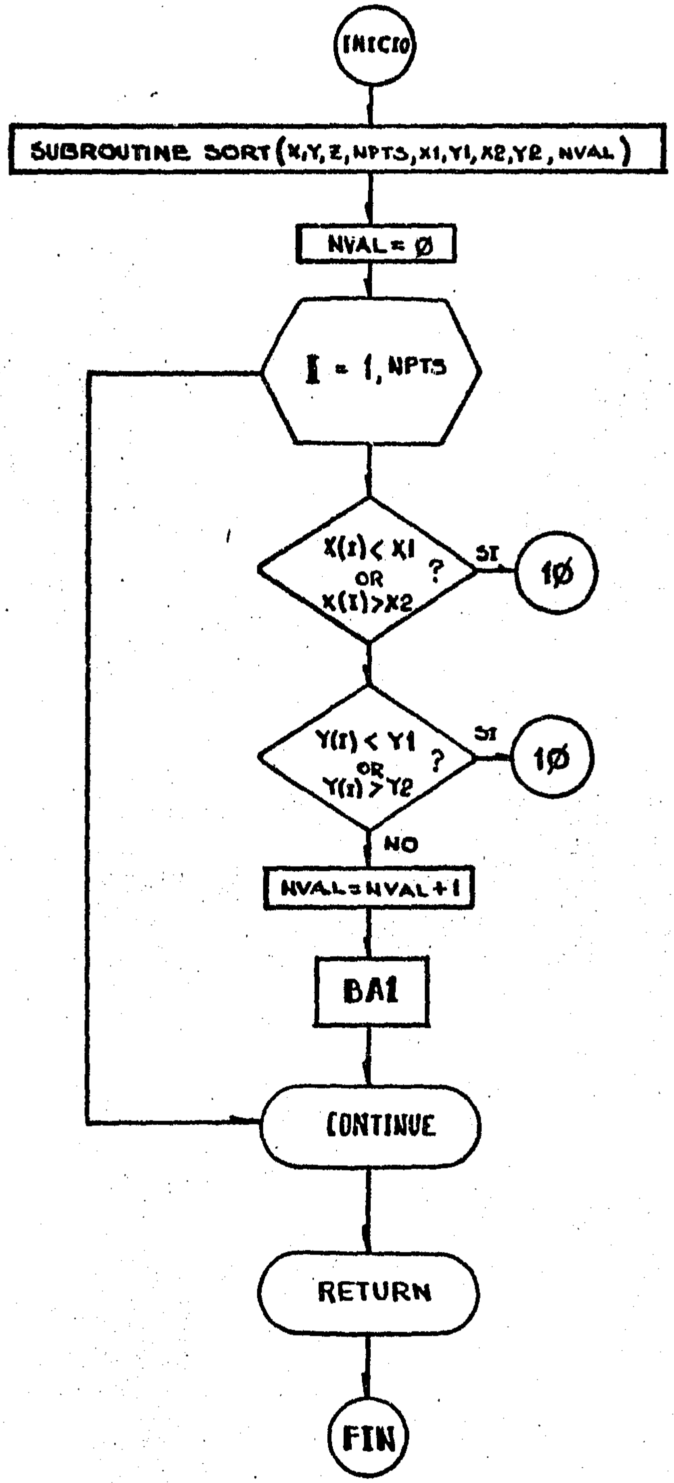

α
CD = (ALT + RHO)/R
SD = (A2-B2)/RHO * CT * ST/R
ONE = CT
CT = CT*CD - ST*SD
ST = ST*SD + ONE*SD
1
RATIO = 6371.2/R
RR = RATIO * RATIO
P(1) = 1.Ø
P(3) = ST
Q(1) = Ø.Ø
Q(3) = CT
8
K = 2,45
2
SI
M ≥ N ?
NO
M = Ø
N = N+1
RR = R * RATIO
FN = N
GN = N - 1
2
FM = M
3
SI
M ≠ N ?
NO
4
SI
K = 3 ?
NO
β
β
ONE = SQRT(1.Ø-(Ø.5)/FN)
J = K-N-1
P(K) = ONE * ST * P(J)
Q(K) = ONE * (ST * Q(J) + CT * P(J))
CL(M) = CL(M-1) * CL(1) - SL(M-1) * SL(1)
SL(M) = SL(M-1) * CL(1) + CL(M-1) * SL(1)
4
3
GM = M * M
ONE = SQRT(FN * FN - GM)
TWO = SQRT(GN * GN - GM)/ONE
THREE = (FN + GN)/ONE
I = K-N
J = I-N+1
P(K) = THREE * CT * P(I) - STWO * P(J)
Q(K) = THREE * ((CT * Q(I)) - (ST * P(I))) - TWO * Q(J)
4
ONE = (GH(L) + SV(LL+L) * T) * RR
7
SI
M = Ø ?
NO
TWO = (GH(L+1) + SV(LL+L+1) * T) * RR
THREE = ONE * CL(M) + TWO * SL(M)
X = X + THREE * Q(K)
Z = Z - (FN + 1.0) * THREE * P(K)
5
SI
ST = Ø.Ø
NO
Y = Y + (ONE * SL(M) - TWO * CL(M)) * FM * P(K)/ST
6

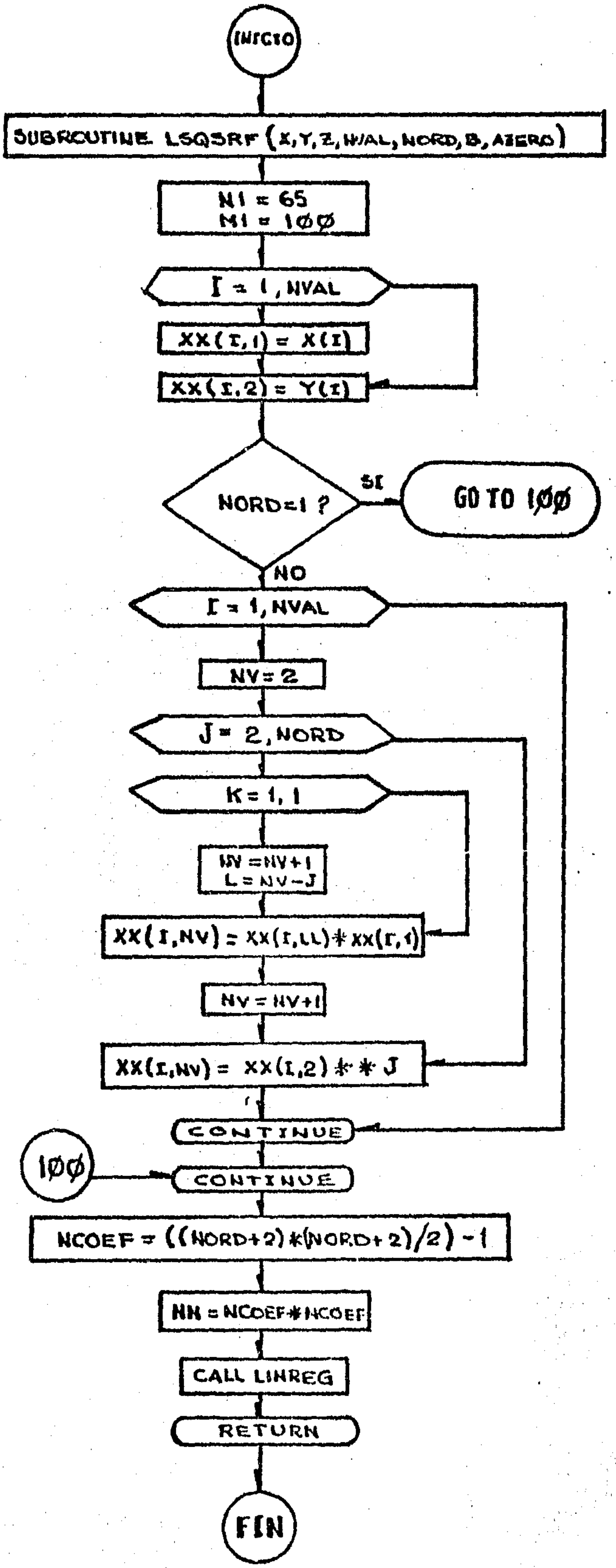

5
Y = Y + (ONE * SL(M) - TWO * CL(M)) * Q(K) * CT
6
L = L+2
GO TO 8
7
X = X + ONE * Q(K)
Z = Z - (FN + 1.Ø) * ONE * P(K)
L = L+1
8
M = M+1
ONE = X
X = X * CD + Z * SD
Z = Z * CD - ONE * SD
F = SQRT(X*X + Y*Y + Z*Z)
RETURN
FIN

ENREJILLADO

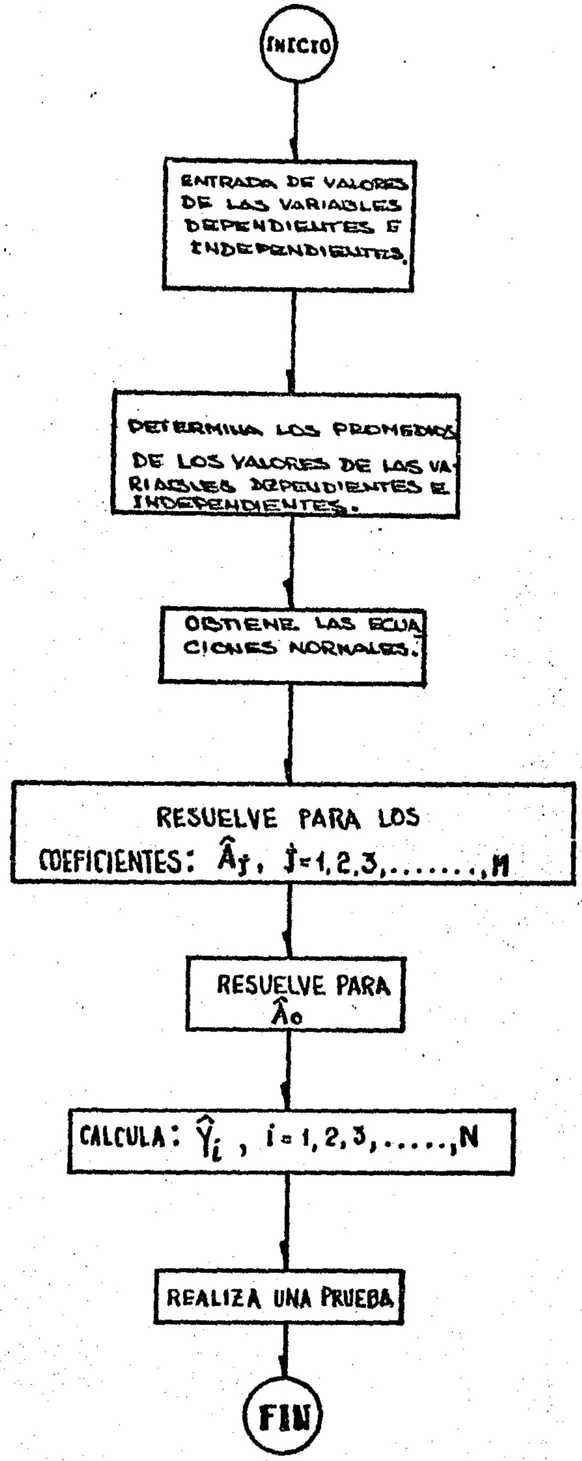



25
CONTINUE
CALL LSQSRF
I, J, NVAL, NORDI, NCOEF, XCENT, YCENT
II = 1, NYS
JJ = 1, NXS
BA3
NORDI = 1 ?
SI
GO TO 100
NO
JP = 2, NORDI
K = 1, JP
NV = NV+1
L = NV - JP
C(NV) = C(L) * C(1)
NV = NV+1
C(NV) = C(2) ** JP
CONTINUE
100
SUM = 0.0
K = 1, NCOEF
SUM = SUM + C(K) * B(K)
SUM = SUM + AZERO
GD(JC+1, IC+1) = SUM
CONTINUE
CONTINUE
20
RETURN
FIN

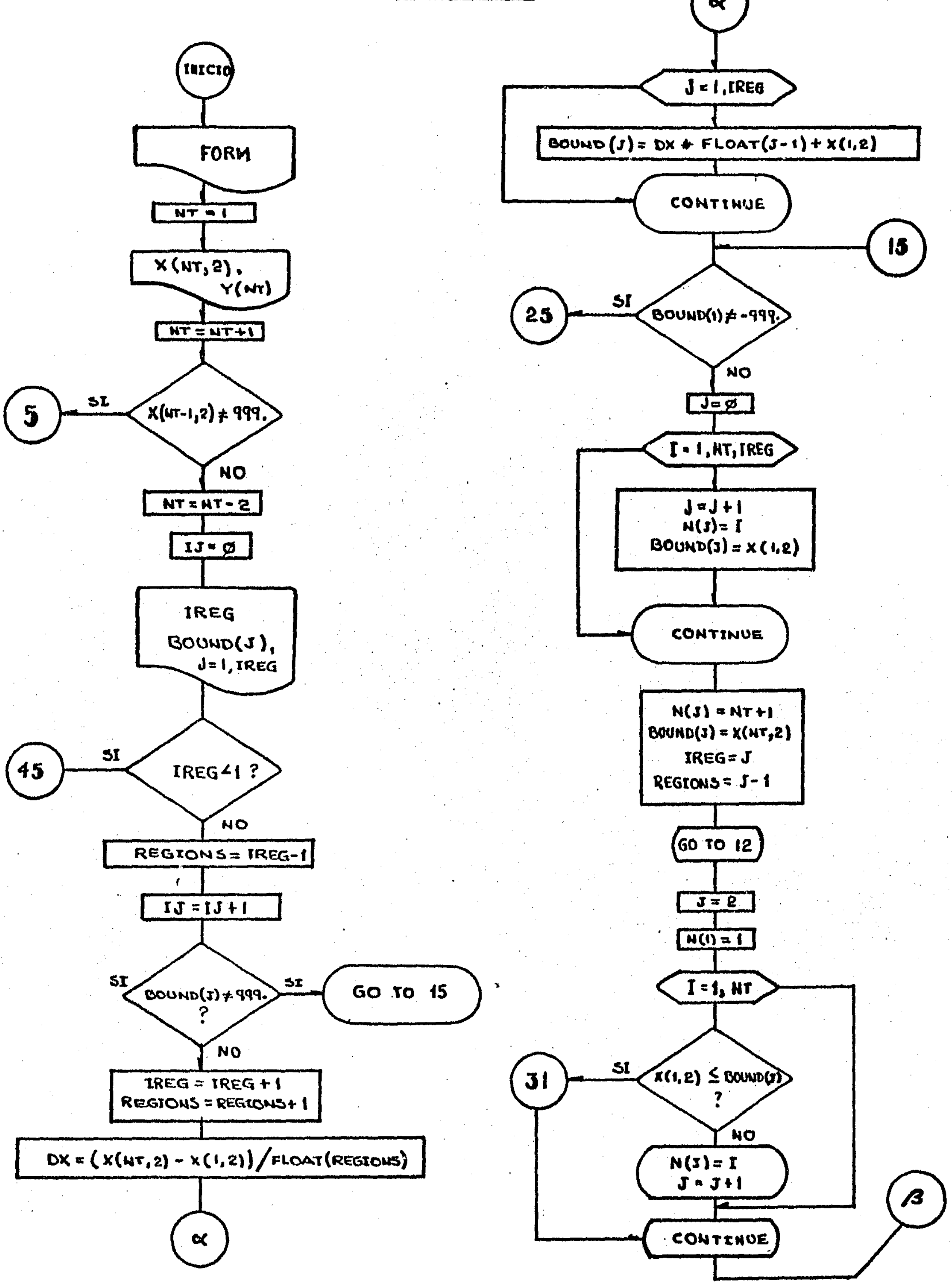

INICIO
SUBROUTINE SORT (X,Y,Z,NPTS,X1,Y1,X2,Y2,NVAL)
NVAL = 0
I = 1, NPTS
X(I) < X1 OR X(I) > X2 ?
SI
10
Y(I) < Y1 OR Y(I) > Y2 ?
SI
10
NO
NVAL = NVAL + 1
BA1
CONTINUE
RETURN
FIN

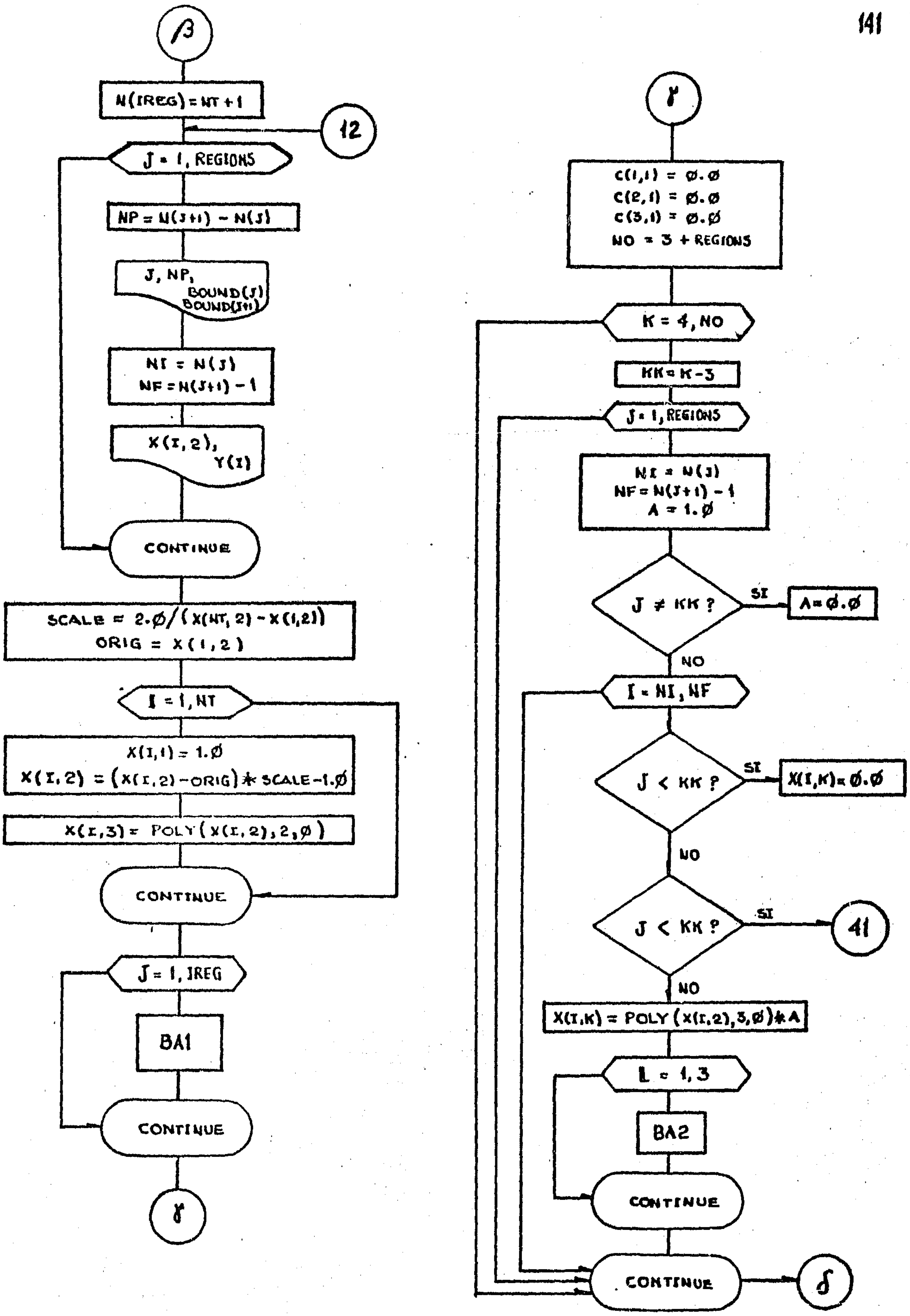


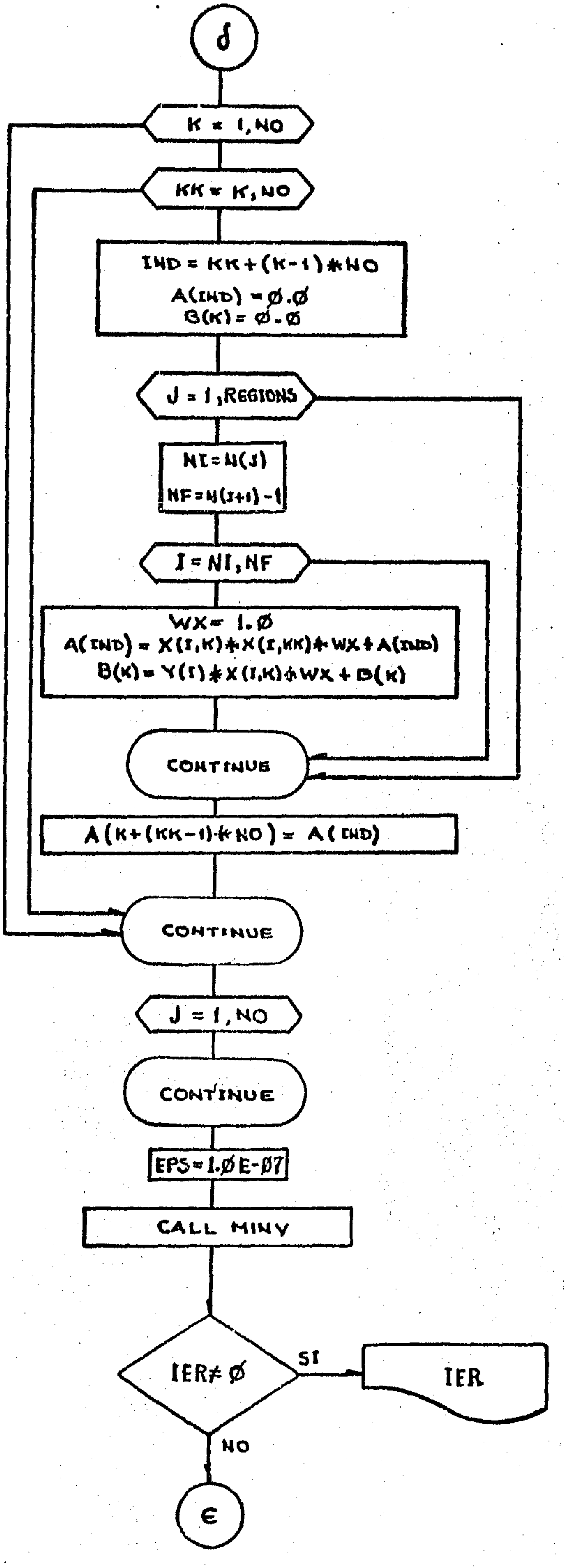
SUBRUTINA LINREG

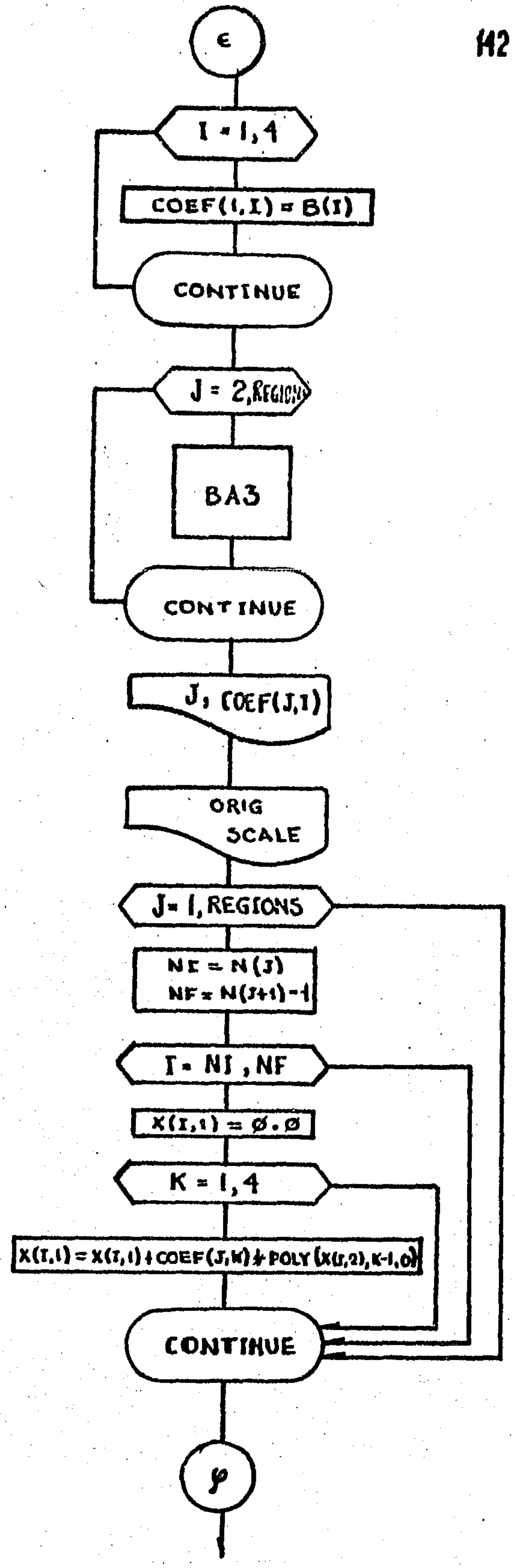


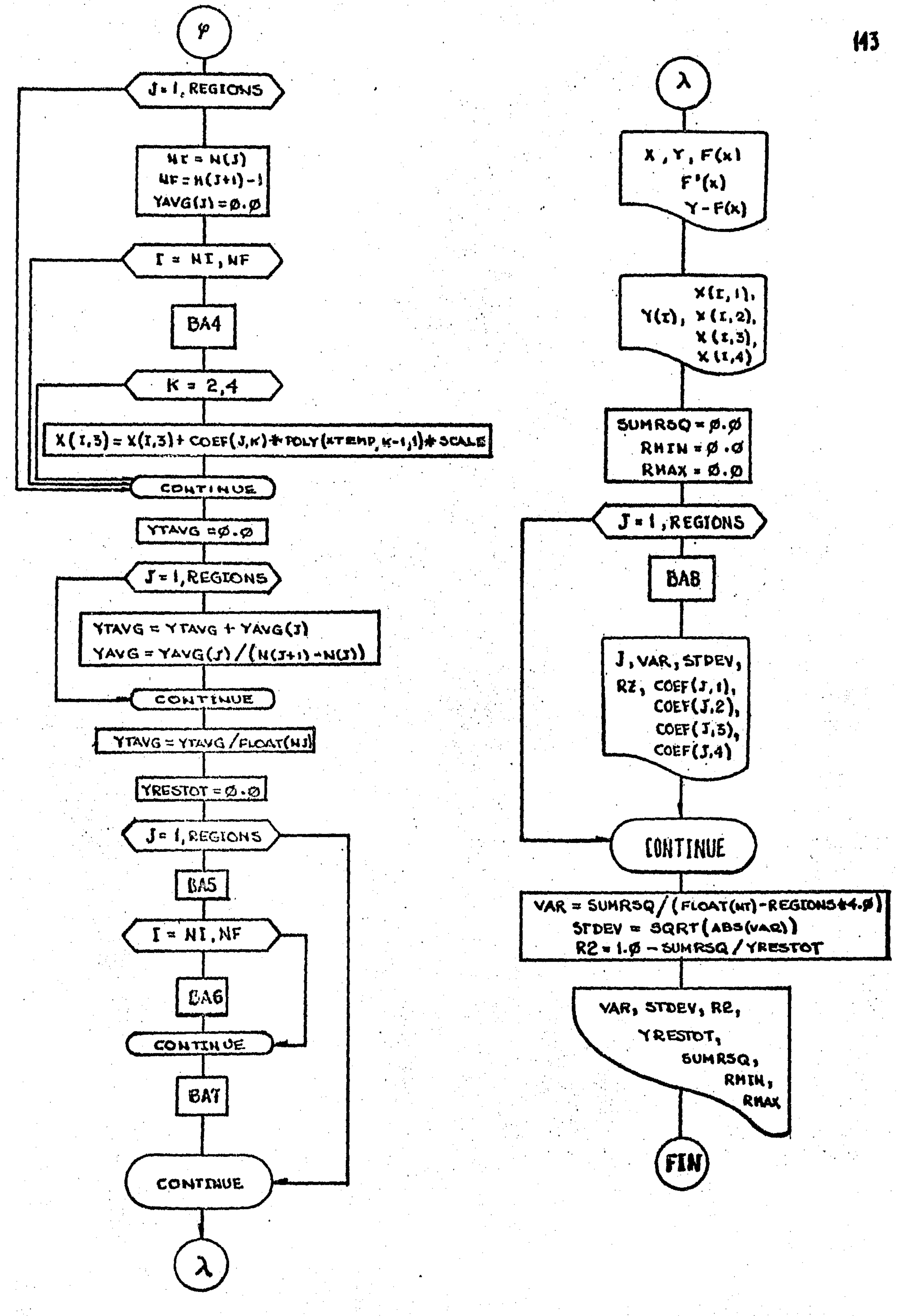
ACMC

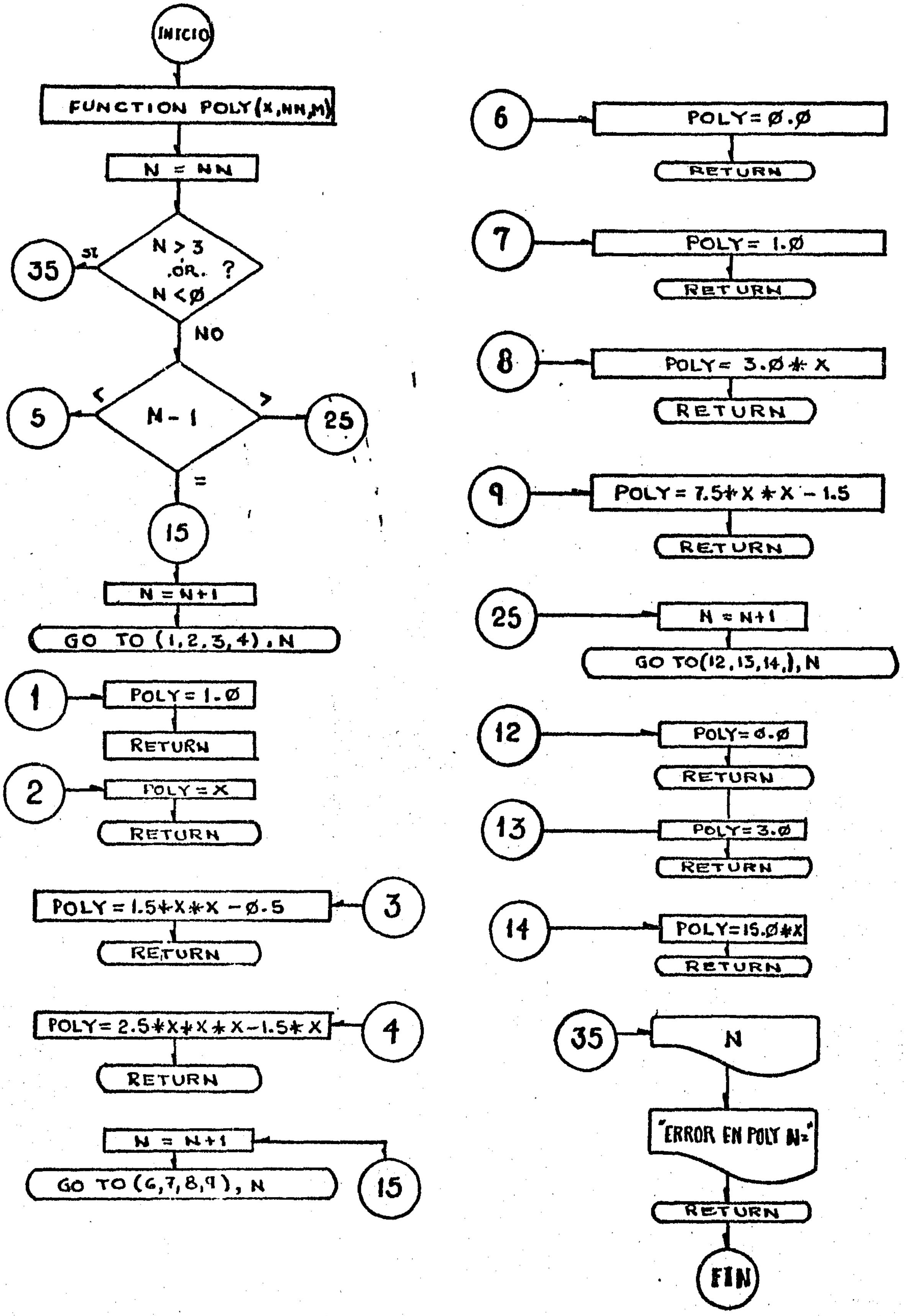

INICIO
FORM
NT = 1
X (NT, 2), Y(NT)
NT = NT+1
X(NT-1,2) ≠ 999.
SI
5
NO
NT = NT - 2
IJ = Ø
IREG
BOUND(J), J=1, IREG
IREG<1 ?
SI
45
NO
REGIONS = IREG-1
IJ = IJ+1
BOUND(J) ≠ 999. ?
SI
SI
GO TO 15
NO
IREG = IREG + 1
REGIONS = REGIONS + 1
DX = (X(NT,2) - X(1,2))/FLOAT(REGIONS)
α
α
J = 1, IREG
BOUND (J) = DX * FLOAT(J-1) + X(1,2)
CONTINUE
15
BOUND(1) ≠ -999.
SI
25
NO
J=Ø
I = 1, NT, IREG
J = J+1
N(J) = I
BOUND(J) = X(1,2)
CONTINUE
N(J) = NT+1
BOUND(J) = X(NT,2)
IREG = J
REGIONS = J-1
GO TO 12
J = 2
N(1) = 1
I = 1, NT
X(1,2) ≤ BOUND(J) ?
SI
31
NO
N(J) = I
J = J+1
β
CONTINUE


β
N(IREG) = NT + 1
12
J = 1, REGIONS
NP = N(J+1) - N(J)
J, NP, BOUND(J) BOUND(J+1)
NI = N(J)
NF = N(J+1) - 1
X(I, 2), Y(I)
CONTINUE
SCALE = 2.Ø/(X(NT, 2) - X(1,2))
ORIG = X(1,2)
I = 1, NT
X(I,1) = 1.Ø
X(I, 2) = (X(I,2) - ORIG) * SCALE - 1.Ø
X(I,3) = POLY(X(I,2),2,Ø)
CONTINUE
J = 1, IREG
BA1
CONTINUE
γ
γ
C(1,1) = Ø.Ø
C(2,1) = Ø.Ø
C(3,1) = Ø.Ø
NO = 3 + REGIONS
K = 4, NO
KK = K - 3
J = 1, REGIONS
NI = N(J)
NF = N(J+1) - 1
A = 1.Ø
J ≠ KK ?
SI
A = Ø.Ø
NO
I = NI, NF
J < KK ?
SI
X(I,K) = Ø.Ø
NO
J < KK ?
SI
41
NO
X(I,K) = POLY(X(I,2),3,Ø)*A
L = 1, 3
BA2
CONTINUE
CONTINUE
δ

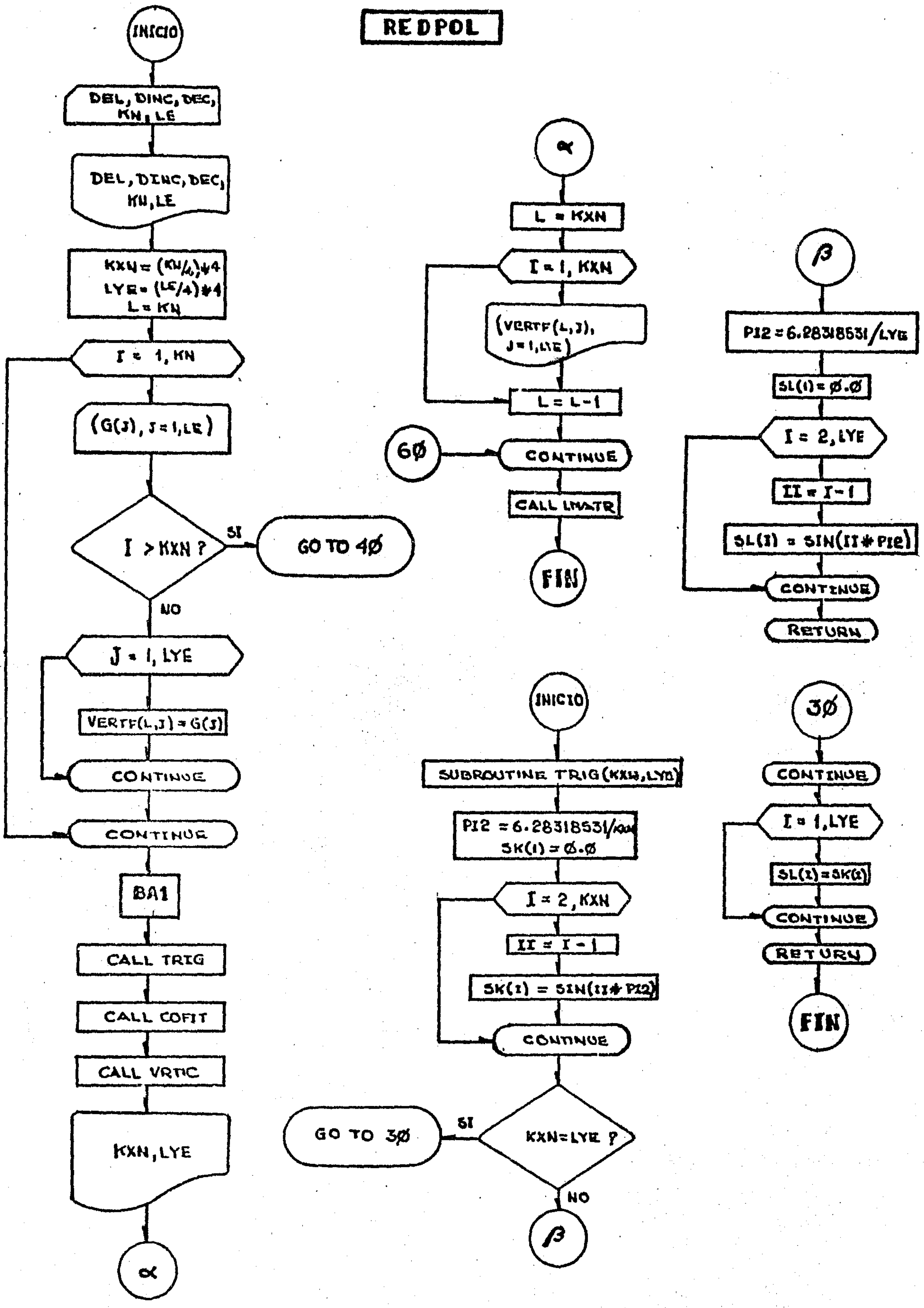

δ
K = 1,NO
KK = K,NO
IND = KK+(K-1)*NO
A(IND) = Ø.Ø
B(K) = Ø.Ø
J = 1,REGIONS
NI=N(J)
NF=N(J+1)-1
I = NI,NF
WX= 1.Ø
A(IND) = X(I,K)*X(I,KK)*WX+A(IND)
B(K) = Y(I)*X(I,K)*WX + B(K)
CONTINUE
A(K+(KK-1)*NO) = A(IND)
CONTINUE
J = 1,NO
CONTINUE
EPS=1.ØE-Ø7
CALL MINY
IER≠Ø
SI
IER
NO
ϵ

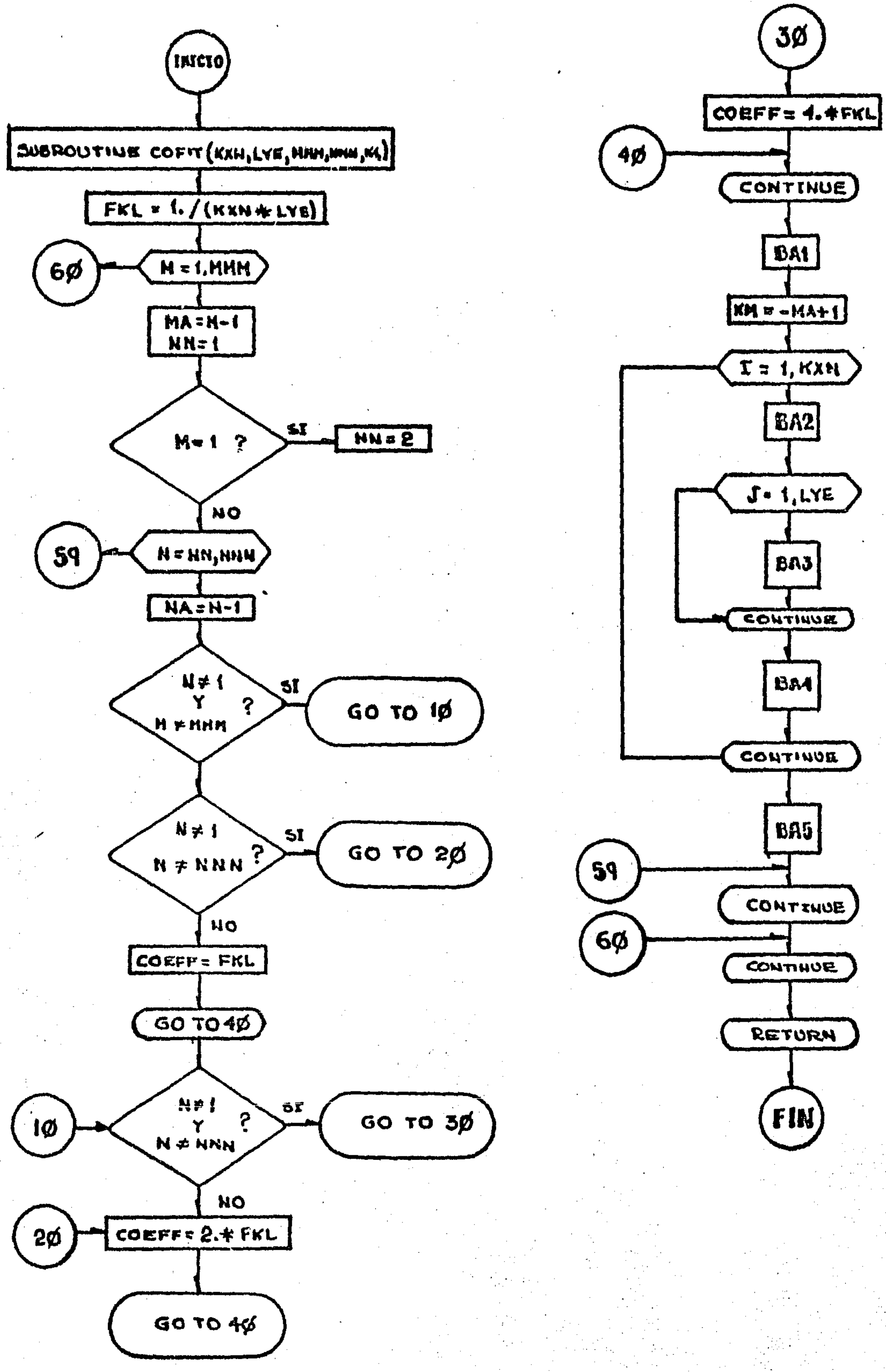

ϵ
I = 1,4
COEF(1,I) = B(I)
CONTINUE
J = 2,REGIONS
BA3
CONTINUE
J, COEF(J,I)
ORIG
SCALE
J= 1,REGIONS
NI = N(J)
NF = N(J+1)-1
I= NI,NF
X(I,1) = Ø.Ø
K = 1,4
X(I,1) = X(I,1)+COEF(J,K)*POLY(X(I,2),K-1,Ø)
CONTINUE
φ


φ
J = 1, REGIONS
NI = N(J)
NF = N(J+1) - 1
YAVG(J) = Ø.Ø
I = NI, NF
BA4
K = 2,4
X(I,3) = X(I,3) + COEF(J,K) * POLY(XTEMP, K-1,1) * SCALE
CONTINUE
YTAVG = Ø.Ø
J = 1, REGIONS
YTAVG = YTAVG + YAVG(J)
YAVG = YAVG(J) / (N(J+1) - N(J))
CONTINUE
YTAVG = YTAVG / FLOAT(NJ)
YRESTOT = Ø.Ø
J = 1, REGIONS
BA5
I = NI, NF
BA6
CONTINUE
BA7
CONTINUE
λ
λ
X, Y, F(x)
F'(x)
Y - F(x)
X(I,1),
Y(I), X(I,2),
X(I,3),
X(I,4)
SUMRSQ = Ø.Ø
RMIN = Ø.Ø
RMAX = Ø.Ø
J = 1, REGIONS
BA8
J, VAR, STDEV,
RZ, COEF(J,1),
COEF(J,2),
COEF(J,3),
COEF(J,4)
CONTINUE
VAR = SUMRSQ / (FLOAT(NT) - REGIONS*4.Ø)
STDEV = SQRT(ABS(VAR))
R2 = 1.Ø - SUMRSQ / YRESTOT
VAR, STDEV, R2,
YRESTOT,
SUMRSQ,
RMIN,
RMAX
FIN

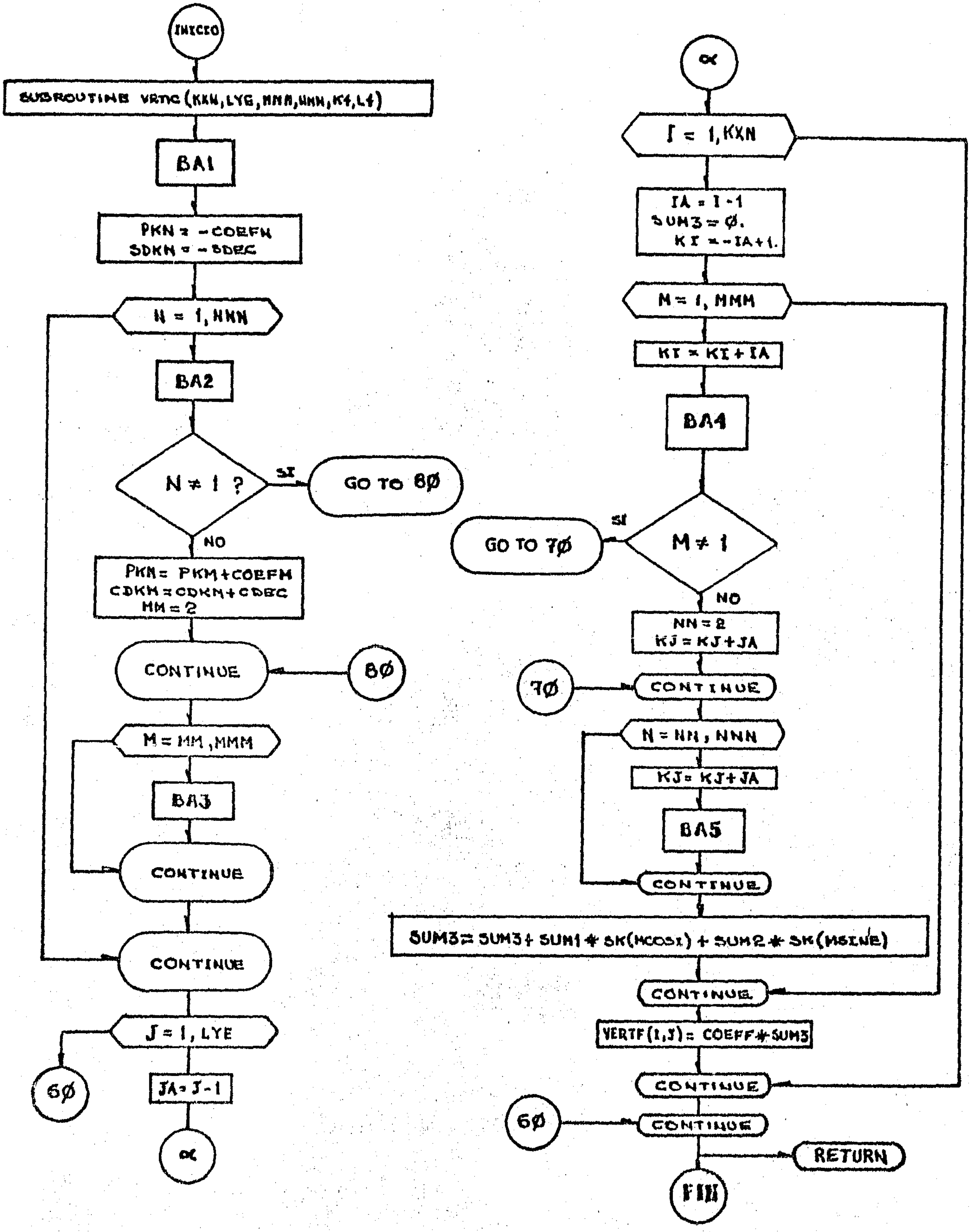

INICIO
FUNCTION POLY(X,NN,M)
N = NN
N > 3 .OR. N < Ø ?
SI
35
NO
N - 1
<
5
>
25
=
15
N = N+1
GO TO (1,2,3,4), N
1
POLY = 1.Ø
RETURN
2
POLY = X
RETURN
POLY = 1.5*X*X - Ø.5
3
RETURN
POLY = 2.5*X*X*X-1.5*X
4
RETURN
N = N+1
15
GO TO (6,7,8,9), N
6
POLY = Ø.Ø
RETURN
7
POLY = 1.Ø
RETURN
8
POLY = 3.Ø * X
RETURN
9
POLY = 7.5*X*X - 1.5
RETURN
25
N = N+1
GO TO(12,13,14,), N
12
POLY = Ø.Ø
RETURN
13
POLY = 3.Ø
RETURN
14
POLY = 15.Ø*X
RETURN
35
N
"ERROR EN POLY N="
RETURN
FIN

REDPOL

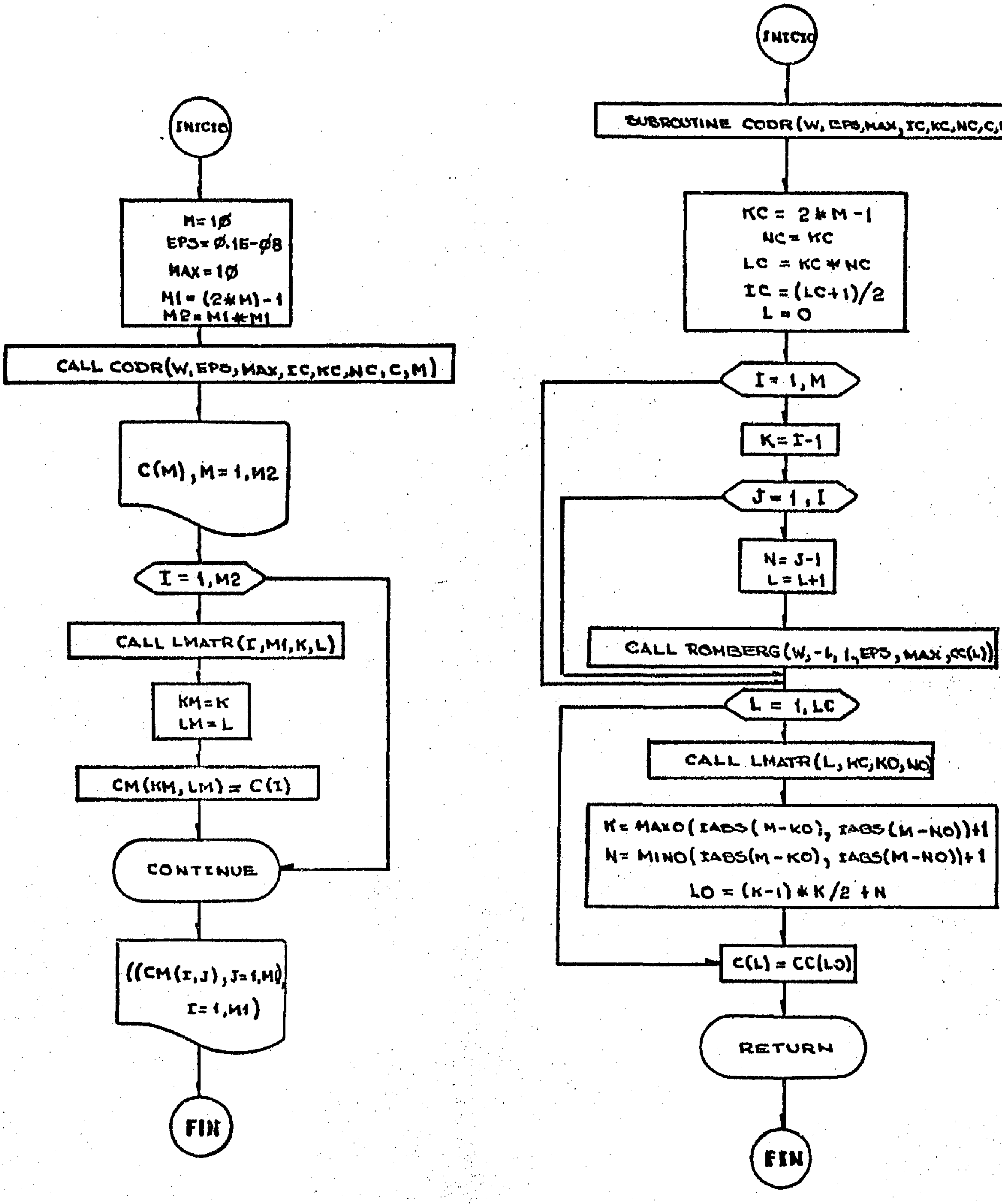

INICIO
DEL, DINC, DEC, KN, LE
DEL, DINC, DEC, KN, LE
KXN = (KN/4)*4
LYE = (LE/4)*4
L = KN
I = 1, KN
(G(J), J = 1, LE)
I > KXN ?
SI
GO TO 4Ø
NO
J = 1, LYE
VERTF(L,J) = G(J)
CONTINUE
CONTINUE
BA1
CALL TRIG
CALL COFIT
CALL VRTIC
KXN, LYE
α
α
L = KXN
I = 1, KXN
(VERTF(L,J), J = 1, LYE)
L = L-1
6Ø
CONTINUE
CALL LMATR
FIN
β
PI2 = 6.28318531/LYE
SL(1) = Ø.Ø
I = 2, LYE
II = I-1
SL(I) = SIN(II*PI2)
CONTINUE
RETURN
INICIO
SUBROUTINE TRIG(KXN,LYE)
PI2 = 6.28318531/KXN
SK(1) = Ø.Ø
I = 2, KXN
II = I-1
SK(I) = SIN(II*PI2)
CONTINUE
KXN=LYE ?
SI
GO TO 3Ø
NO
β
3Ø
CONTINUE
I = 1, LYE
SL(I) = SK(I)
CONTINUE
RETURN
FIN



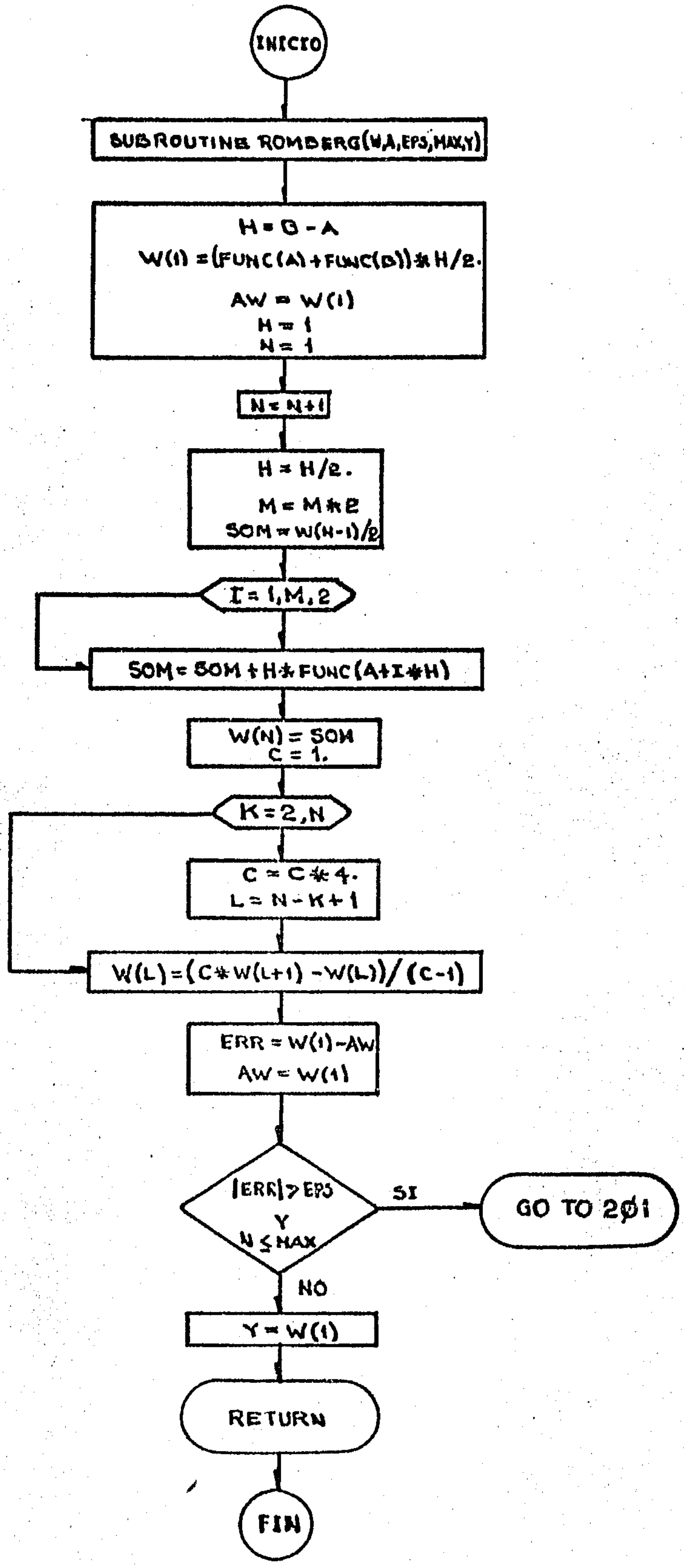
INICIO
SUBROUTINE COFIT (KXN, LYE, MMM, NNN, KL)
FKL = 1./(KXN * LYE)
6Ø
M = 1, MMM
MA = M-1
NN = 1
M = 1 ?
SI
NN = 2
NO
59
N = NN, NNN
NA = N-1
N ≠ 1 Y N ≠ MMM ?
SI
GO TO 1Ø
N ≠ 1 N ≠ NNN ?
SI
GO TO 2Ø
NO
COEFF = FKL
GO TO 4Ø
1Ø
N ≠ 1 Y N ≠ NNN ?
SI
GO TO 3Ø
NO
2Ø
COEFF = 2.* FKL
GO TO 4Ø
3Ø
COEFF = 4.*FKL
4Ø
CONTINUE
BA1
KM = -MA+1
I = 1, KXN
BA2
J = 1, LYE
BA3
CONTINUE
BA4
CONTINUE
BA5
59
CONTINUE
6Ø
CONTINUE
RETURN
FIN

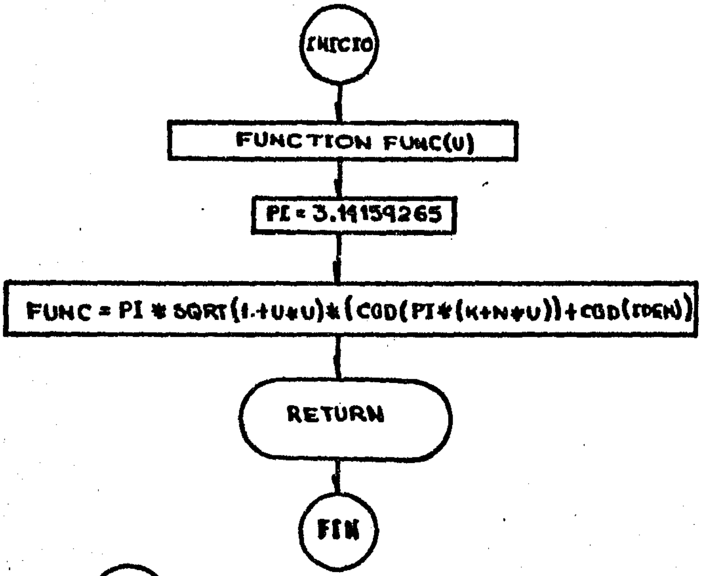

INICIO
SUBROUTINE VRTIC (KXN,LYE,MMM,NNN,K4,L4)
BA1
PKN = -COEFM
SDKN = -SDEC
N = 1, NNN
BA2
N ≠ 1 ?
SI
GO TO 80
NO
PKN= PKM+COEFM
CDKM=CDKM+CDEC
MM = 2
CONTINUE
80
M = MM ,MMM
BA3
CONTINUE
CONTINUE
J = 1, LYE
60
JA = J - 1
∝
∝
I = 1, KXN
IA = I - 1
SUM3 = 0.
KI = -IA+1.
M = 1, MMM
KI = KI + IA
BA4
SI
GO TO 70
M ≠ 1
NO
NN = 2
KJ = KJ+JA
70
CONTINUE
N = NN, NNN
KJ= KJ+JA
BA5
CONTINUE
SUM3= SUM3+ SUM1 * SK(MCOSI) + SUM2 * SK(MSINE)
CONTINUE
VERTF(I,J)= COEFF*SUM3
CONTINUE
60
CONTINUE
RETURN
FIN

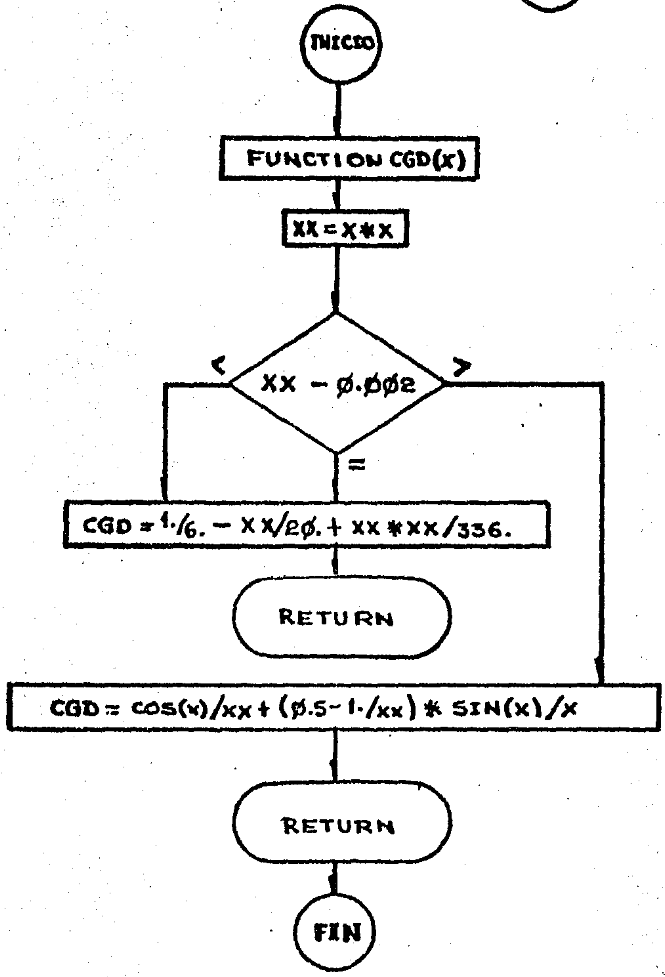
DERVER

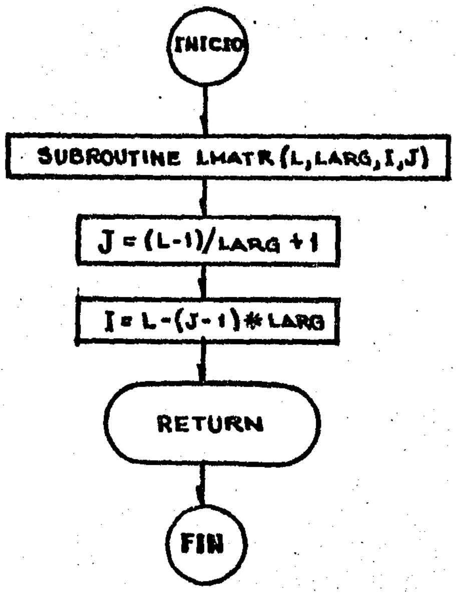

INICIO
M=1Ø
EPS=Ø.1E-Ø8
MAX=1Ø
M1=(2*M)-1
M2=M1*M1
CALL CODR(W,EPS,MAX,IC,KC,NC,C,M)
C(M), M=1,M2
I=1,M2
CALL LMATR(I,M1,K,L)
KM=K
LM=L
CM(KM,LM)=C(I)
CONTINUE
((CM(I,J),J=1,M1),
I=1,M1)
FIN
INICIO
SUBROUTINE CODR(W,EPS,MAX,IC,KC,NC,C,M)
KC= 2*M-1
NC=KC
LC = KC*NC
IC =(LC+1)/2
L=O
I=1,M
K=I-1
J=1,I
N=J-1
L=L+1
CALL ROMBERG(W,-1,1,EPS,MAX,CC(L))
L = 1,LC
CALL LMATR(L,KC,KO,NO)
K=MAXO(IABS(M-KO),IABS(M-NO))+1
N=MINO(IABS(M-KO),IABS(M-NO))+1
LO=(K-1)*K/2+N
C(L)=CC(LO)
RETURN
FIN

SUBRUTINA ROMBERG

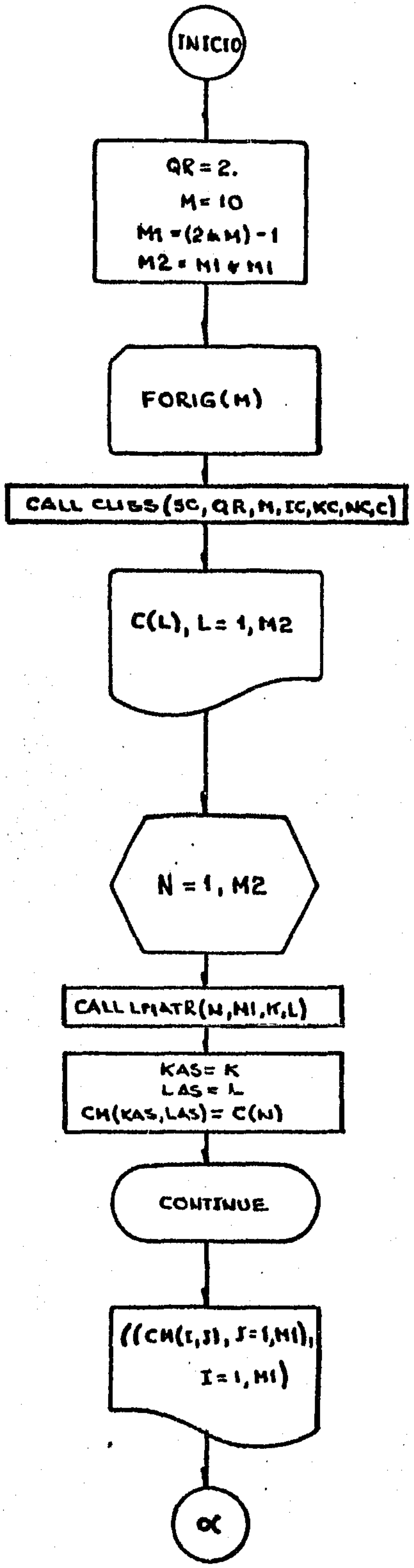


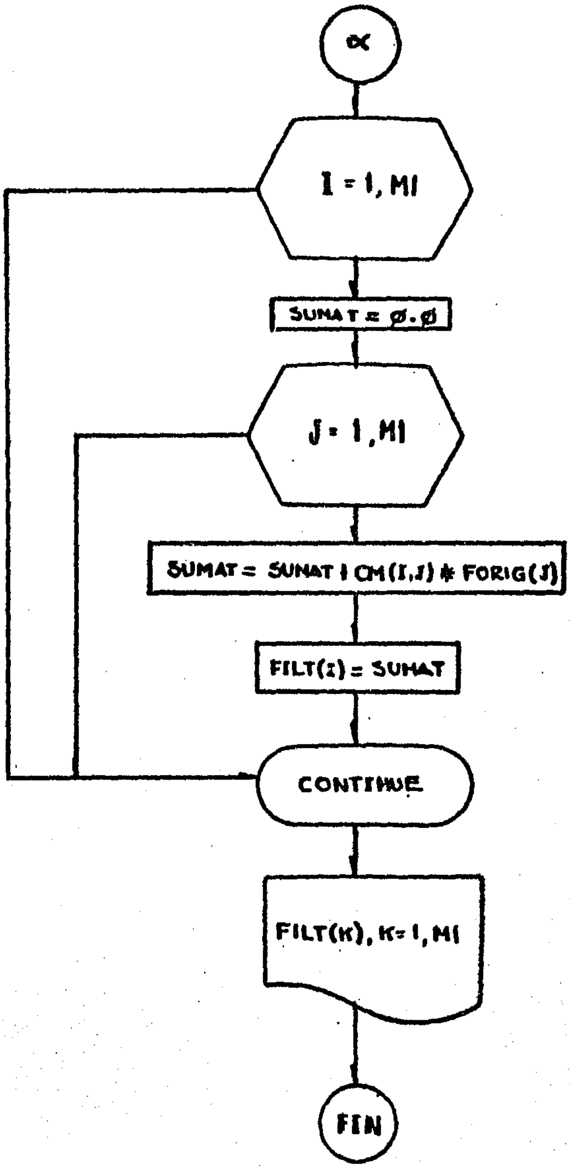

INICIO
FUNCTION FUNC(U)
PI = 3.14159265
FUNC = PI * SQRT(1.+U*U)*(CGD(PI*(K+N*U))+CGD(IDEN))
RETURN
FIN

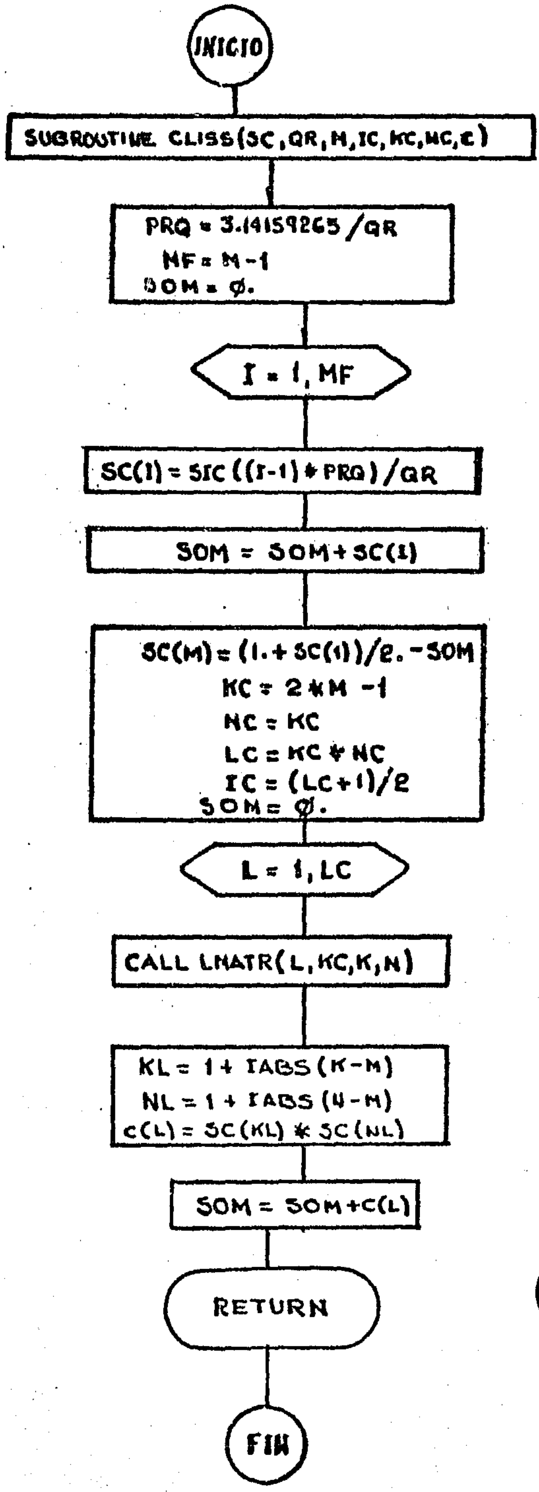

INICIO
FUNCTION CGD(X)
XX=X*X
XX - Ø.ØØ2
<
>
=
CGD = 1./6. - XX/2Ø. + XX*XX/336.
RETURN
CGD = COS(X)/XX + (Ø.5-1./XX) * SIN(X)/X
RETURN
FIN

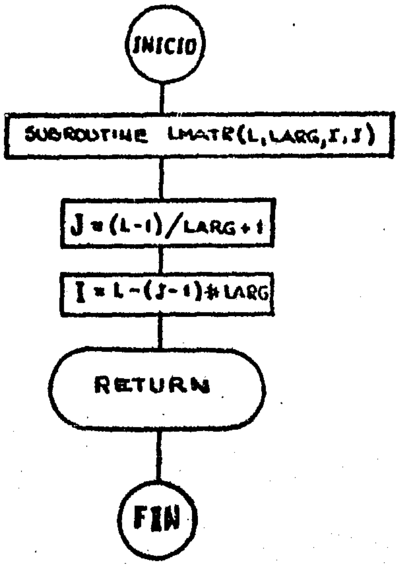

INICIO
SUBROUTINE LMATR(L,LARG,I,J)
J = (L-1)/LARG + 1
I = L-(J-1)*LARG
RETURN
FIN

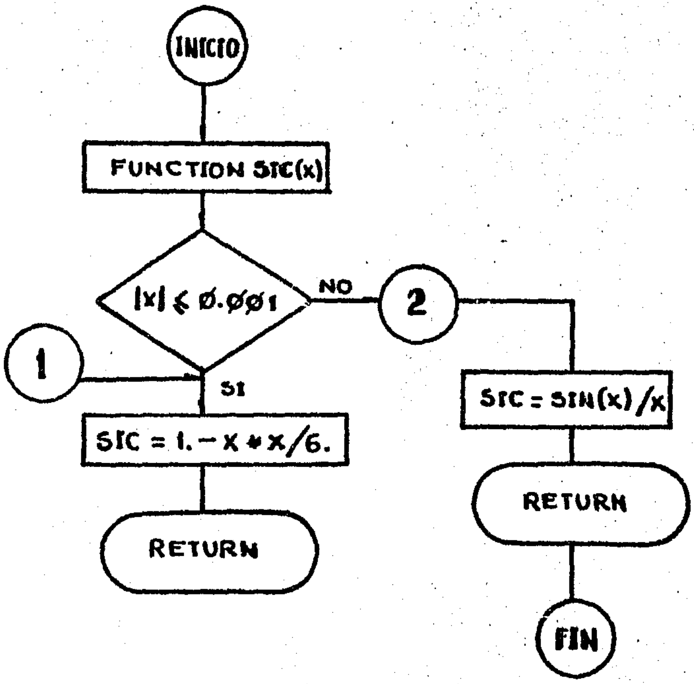
FILTRADO


INICIO
QR = 2.
M= 10
M1 =(2*M)-1
M2 = M1 * M1
FORIG(M)
CALL CLISS(SC, QR, M, IC, KC, NC, C)
C(L), L= 1, M2
N = 1, M2
CALL LMATR(N,M1,K,L)
KAS= K
LAS= L
CH(KAS,LAS)= C(N)
CONTINUE
((CH(I,J), J=1,M1),
I=1,M1)
α

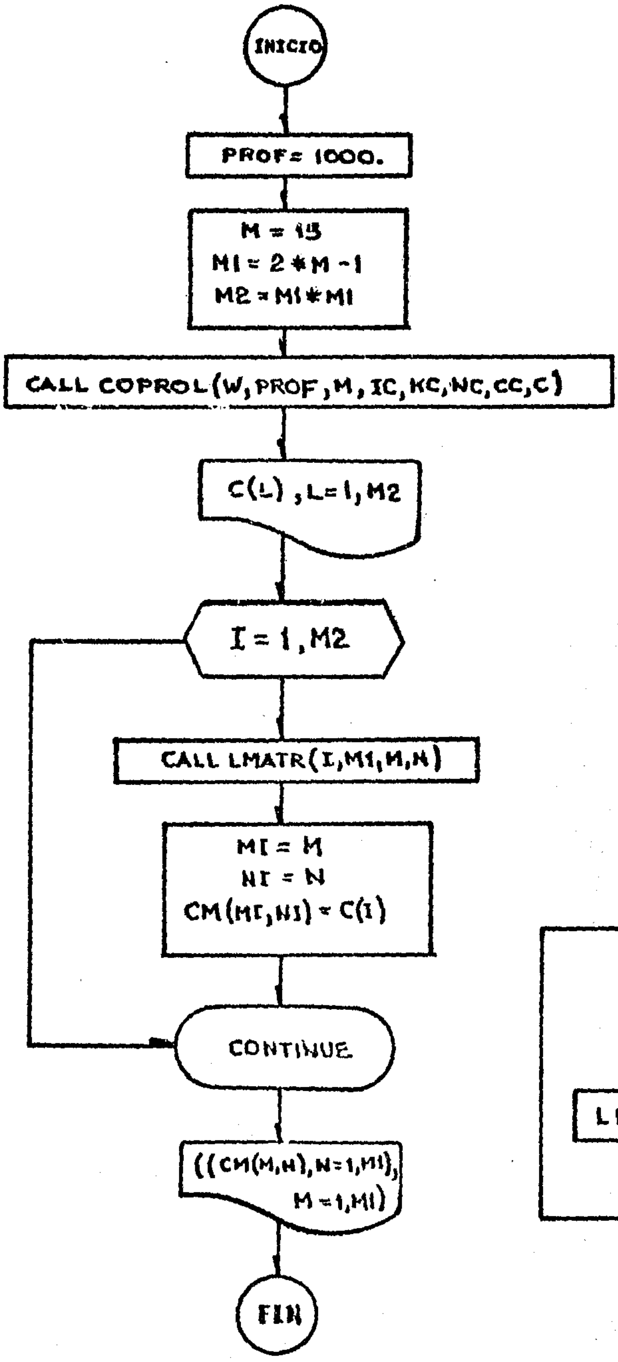

∝
I = 1, MI
SUMAT = Ø.Ø
J = 1, MI
SUMAT = SUMAT + CM(I,J) * FORIG(J)
FILT(I) = SUMAT
CONTINUE
FILT(K), K=1, MI
FIN

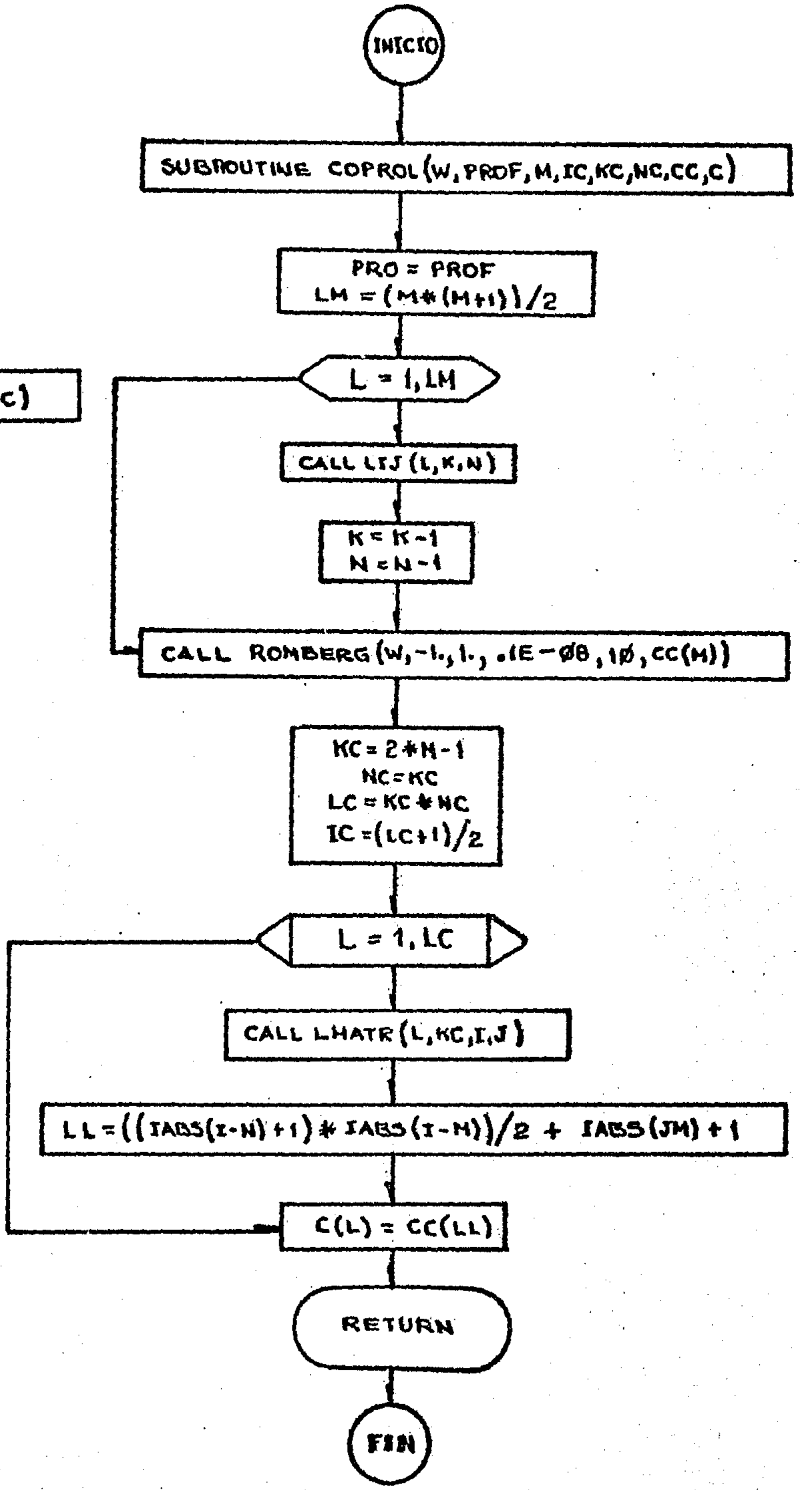

INICIO
SUBROUTINE CLISS(SC,QR,M,IC,KC,NC,C)
PRQ = 3.14159265/QR
MF = M-1
SOM = Ø.
I = 1, MF
SC(I) = SIC((I-1)*PRQ)/QR
SOM = SOM+SC(I)
SC(M) = (1.+SC(1))/2.-SOM
KC = 2*M -1
NC = KC
LC = KC*NC
IC = (LC+1)/2
SOM = Ø.
L = 1, LC
CALL LMATR(L,KC,K,N)
KL = 1+IABS(K-M)
NL = 1+IABS(N-M)
C(L) = SC(KL)*SC(NL)
SOM = SOM+C(L)
RETURN
FIN

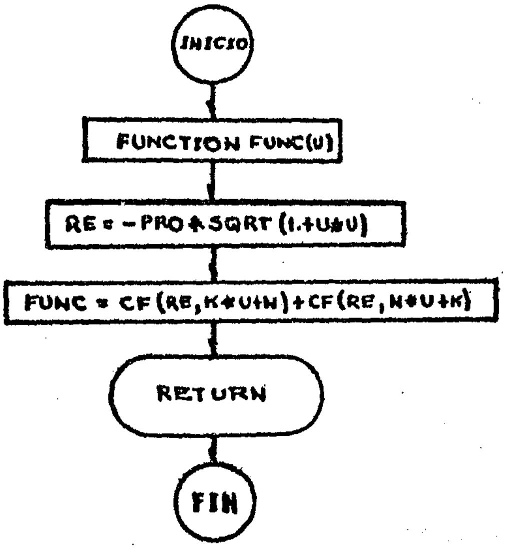

INICIO
SUBROUTINE LMATR(L,LARG,I,J)
J = (L-1)/LARG+1
I = L-(J-1)*LARG
RETURN
FIN

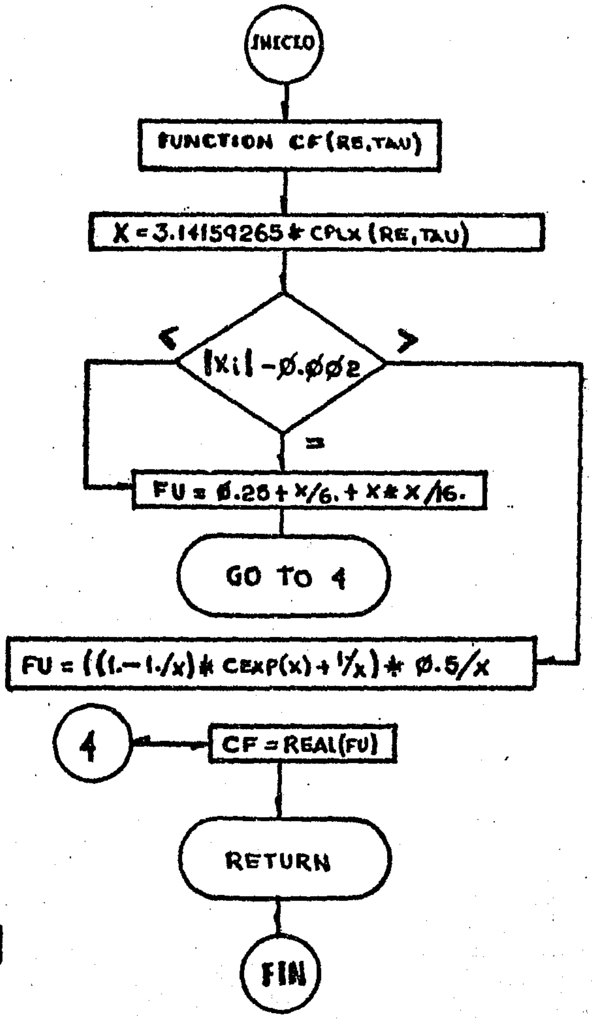

INICIO
FUNCTION SIC(X)
|X| ≤ Ø.ØØ1
NO
2
1
SI
SIC = 1.-X*X/6.
RETURN
SIC = SIN(X)/X
RETURN
FIN

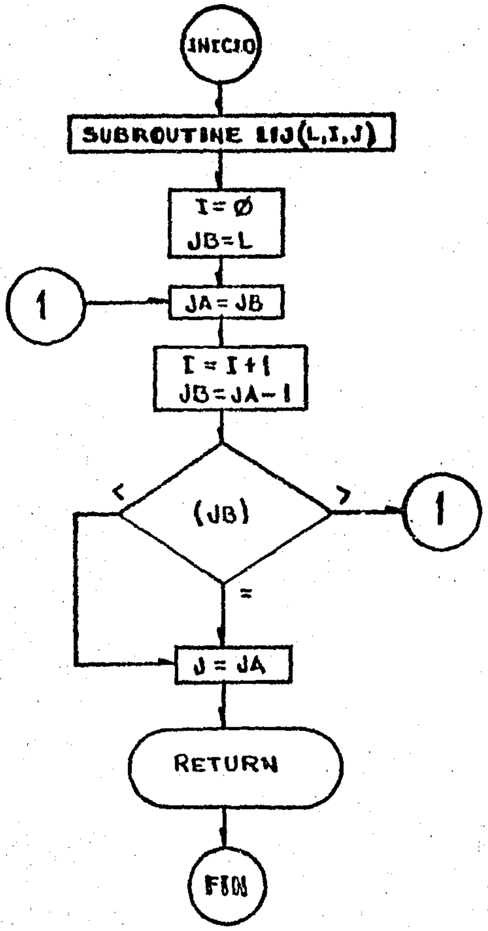
CONTINUACION



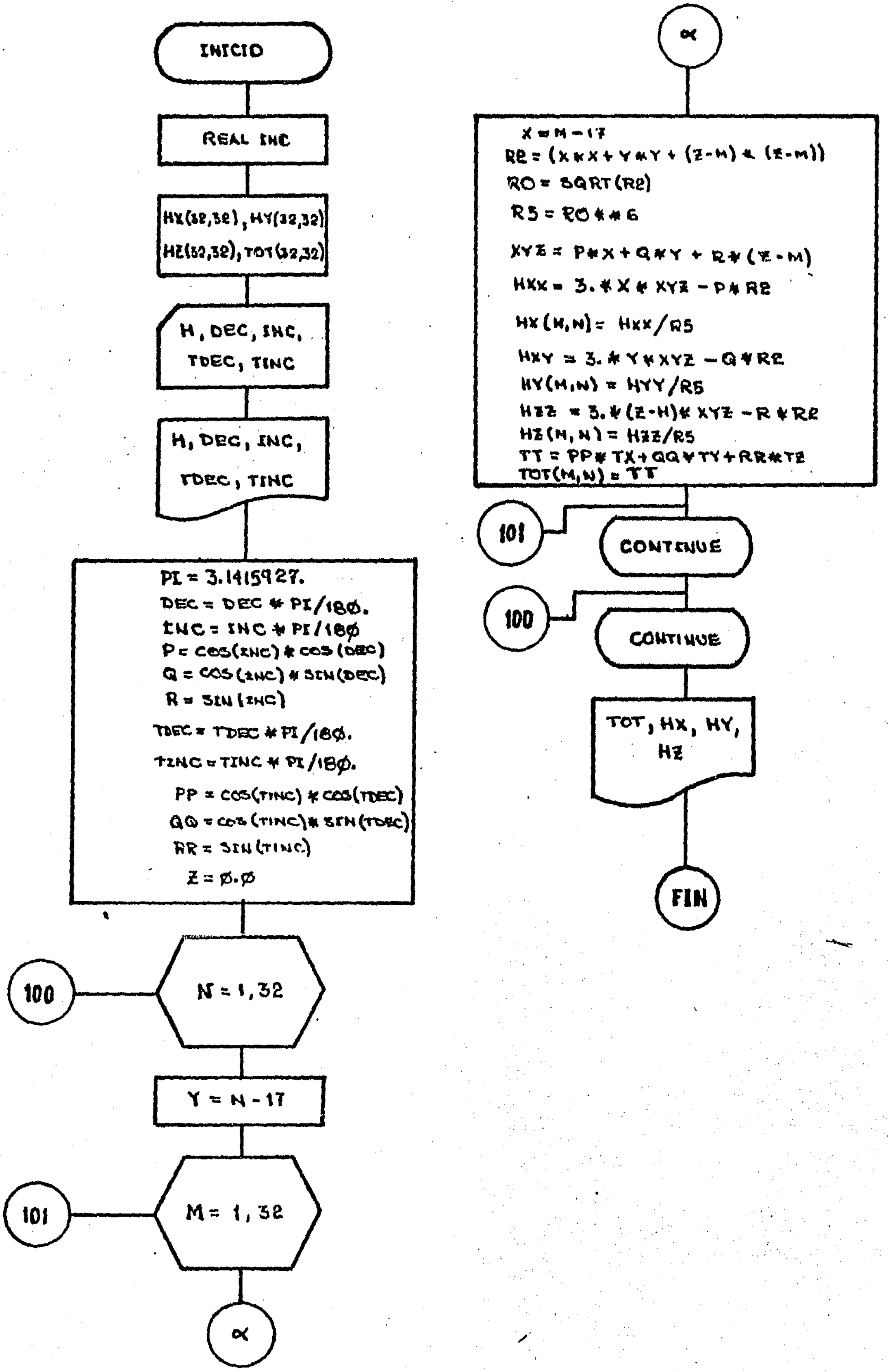



INICIO
FUNCTION FUNC(U)
RE = -PRO*SQRT(1.+U*U)
FUNC = CF(RE,K*U+N)+CF(RE,N*U+K)
RETURN
FIN

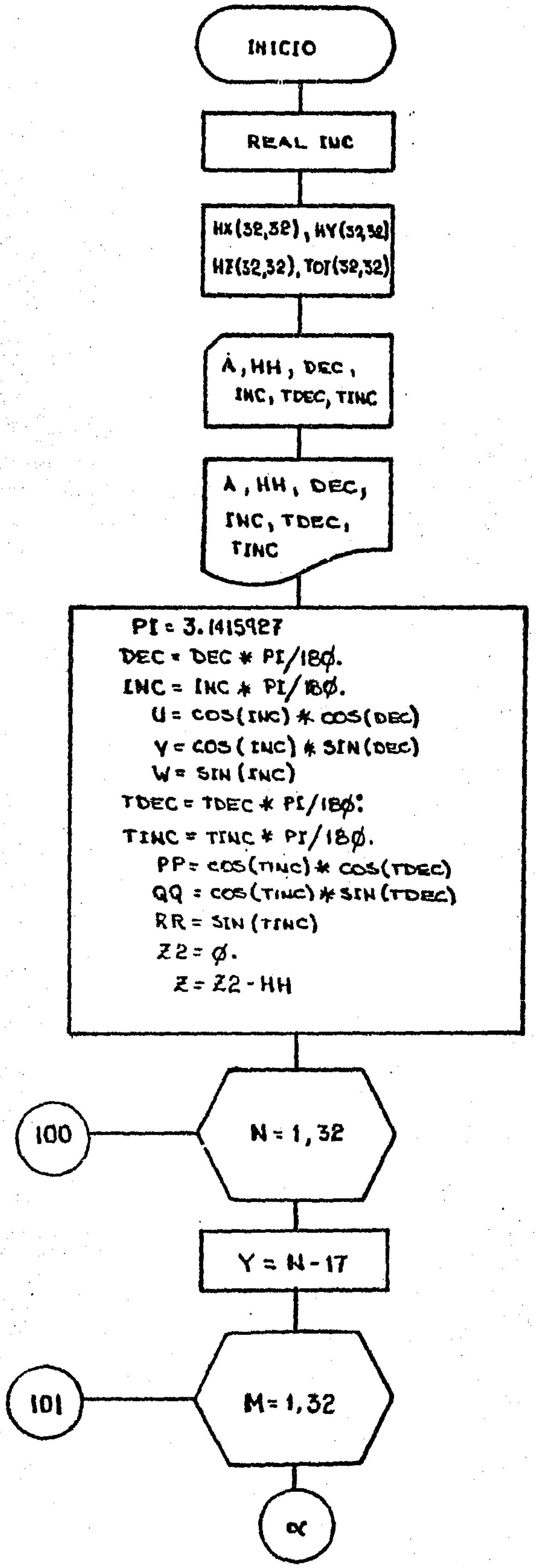

INICIO
FUNCTION CF(RE,TAU)
X = 3.14159265*CPLX(RE,TAU)
|X| - Ø.ØØ2
<
>
=
FU = Ø.25 + X/6. + X*X/16.
GO TO 4
FU = ((1.-1./X)*CEXP(X)+1/X)*Ø.5/X
4
CF = REAL(FU)
RETURN
FIN

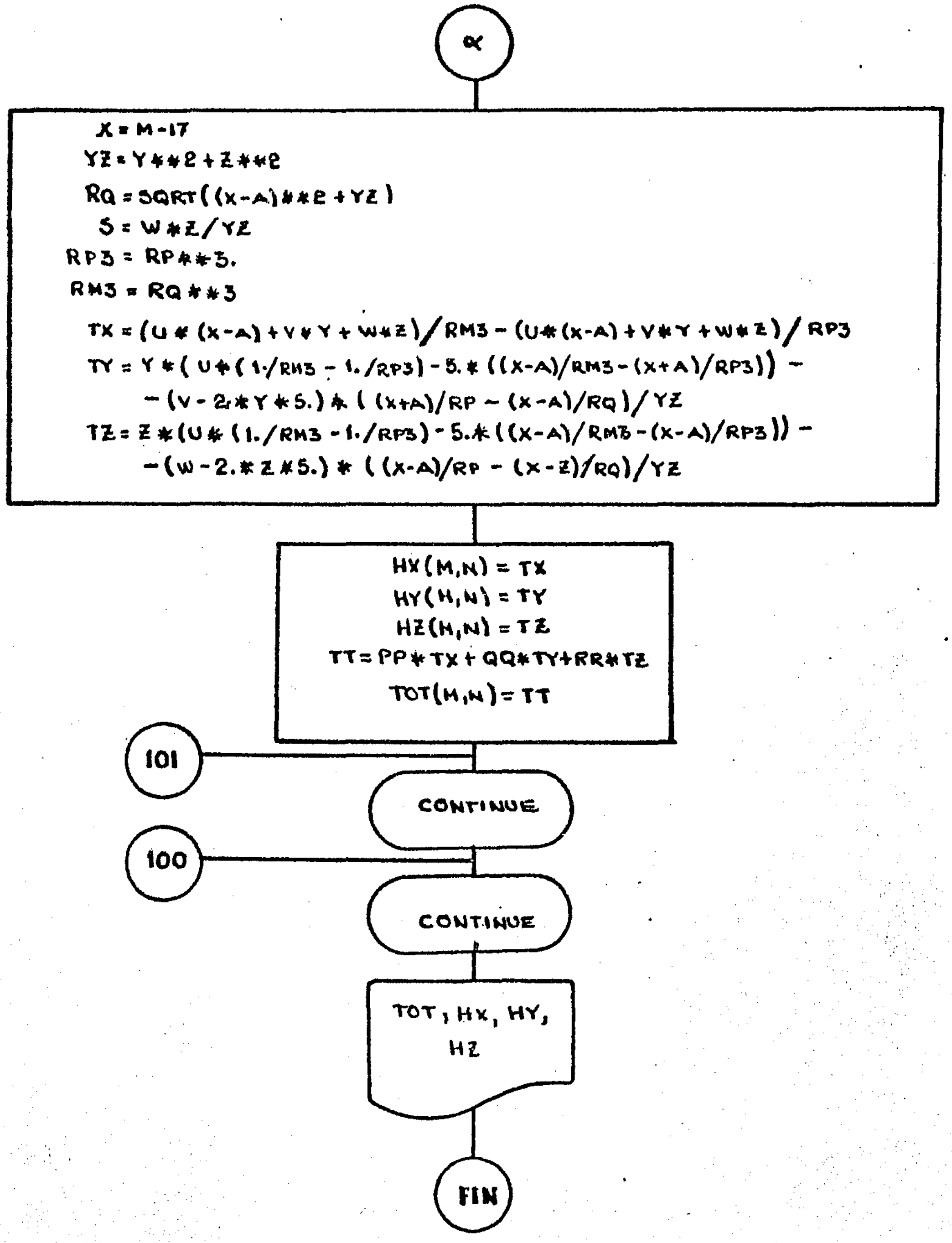

INICIO
SUBROUTINE LIJ(L,I,J)
I = Ø
JB = L
1
JA = JB
I = I+1
JB = JA-1
(JB)
<
>
1
=
J = JA
RETURN
FIN

DIPOLO

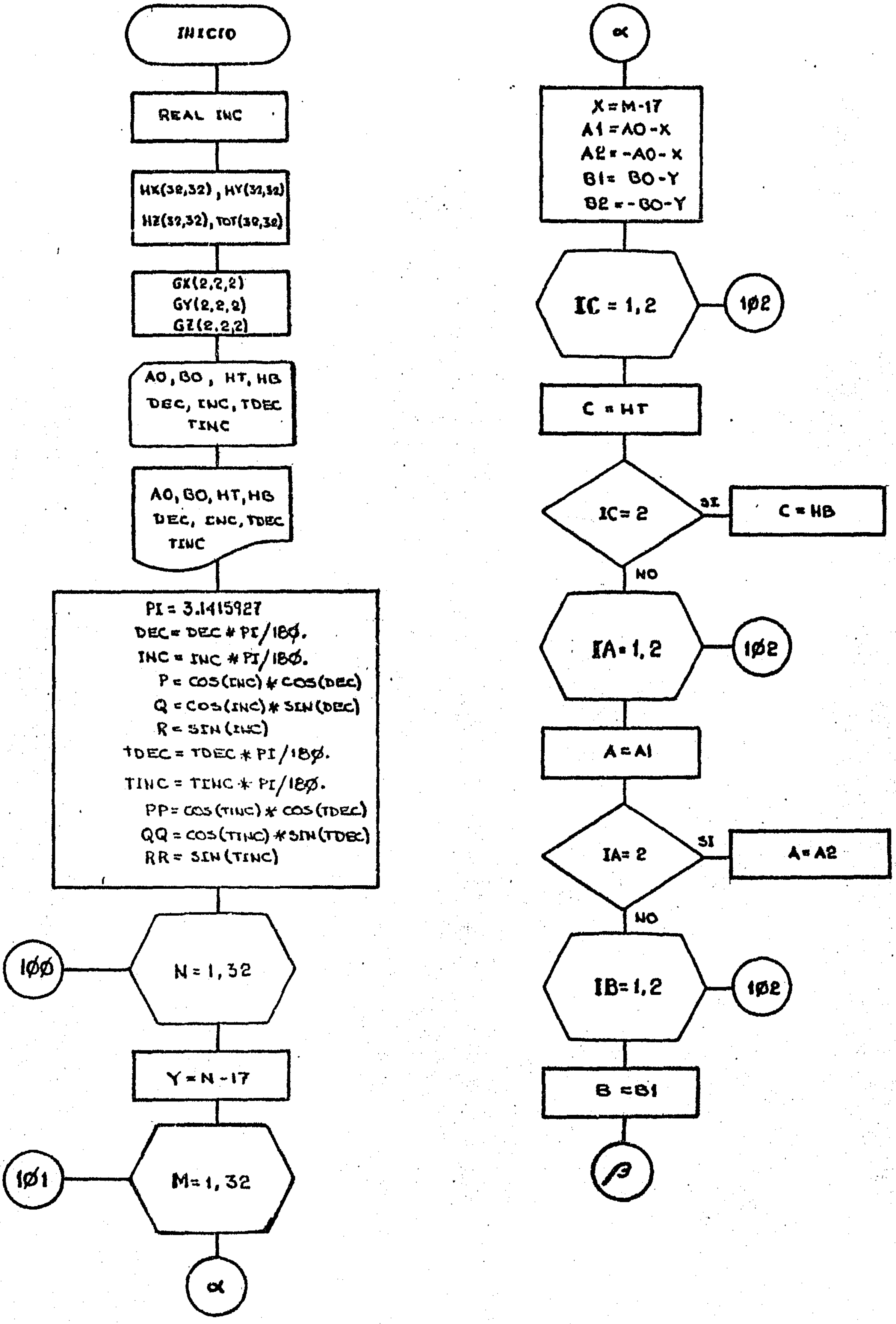

INICIO
REAL INC
HX(32,32), HY(32,32)
HZ(32,32), TOT(32,32)
H, DEC, INC, TDEC, TINC
H, DEC, INC, TDEC, TINC
PI = 3.1415927.
DEC = DEC * PI/180.
INC = INC * PI/180
P = COS(INC) * COS(DEC)
Q = COS(INC) * SIN(DEC)
R = SIN(INC)
TDEC = TDEC * PI/180.
TINC = TINC * PI/180.
PP = COS(TINC) * COS(TDEC)
QQ = COS(TINC) * SIN(TDEC)
RR = SIN(TINC)
Z = 0.0
100
N = 1,32
Y = N - 17
101
M = 1,32
∝
∝
X = M - 17
R2 = (X*X + Y*Y + (Z-H) * (Z-H))
RO = SQRT(R2)
R5 = RO**6
XYZ = P*X + Q*Y + R*(Z-H)
HXX = 3.*X*XYZ - P*R2
HX(M,N) = HXX/R5
HXY = 3.*Y*XYZ - Q*R2
HY(M,N) = HYY/R5
HZZ = 3.*(Z-H)*XYZ - R*R2
HZ(M,N) = HZZ/R5
TT = PP*TX + QQ*TY + RR*TZ
TOT(M,N) = TT
101
CONTINUE
100
CONTINUE
TOT, HX, HY, HZ
FIN

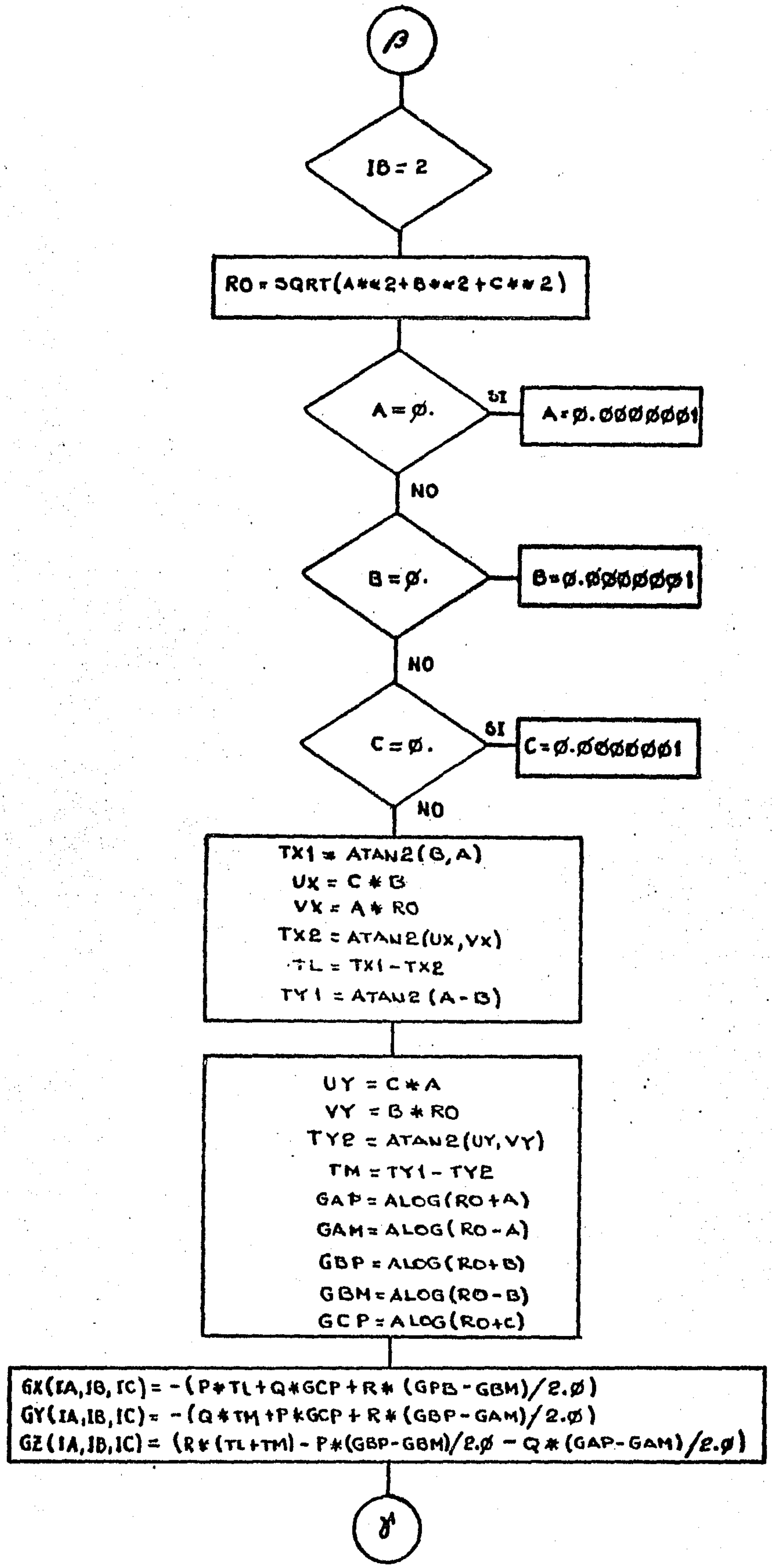
LINEA DE DIPOLOS

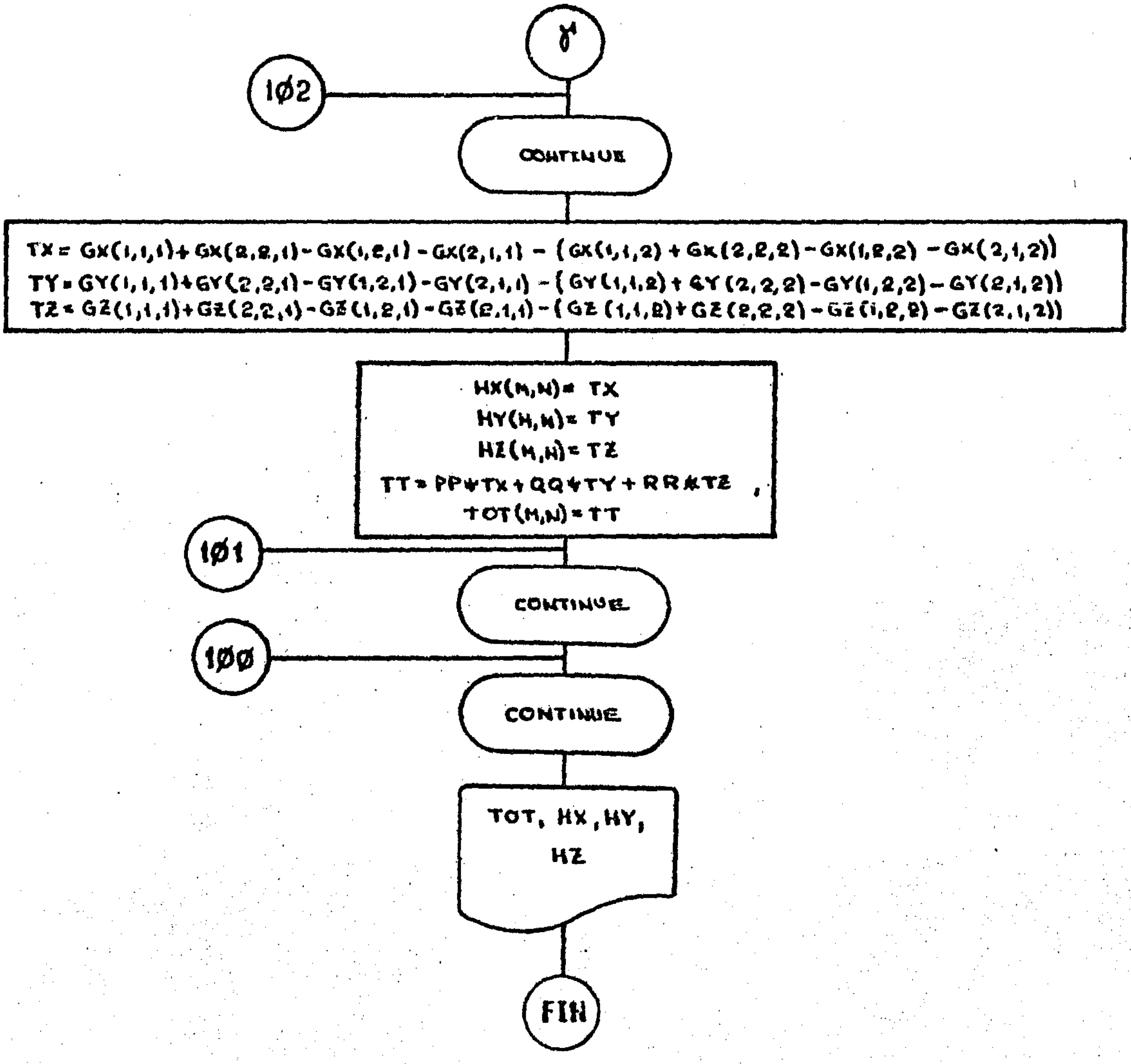



α
X = M-17
YZ = Y**2 + Z**2
RQ = SQRT((X-A)**2 + YZ)
S = W*Z/YZ
RP3 = RP**3.
RM3 = RQ**3
TX = (U*(X-A)+V*Y+W*Z)/RM3 - (U*(X-A)+V*Y+W*Z)/RP3
TY = Y*(U*(1./RM3 - 1./RP3) - 5.*((X-A)/RM3-(X+A)/RP3)) -
- (V-2.*Y*5.)*((X+A)/RP - (X-A)/RQ)/YZ
TZ = Z*(U*(1./RM3 - 1./RP3) - 5.*((X-A)/RM3-(X-A)/RP3)) -
- (W-2.*Z*5.)*((X-A)/RP - (X-Z)/RQ)/YZ
HX(M,N) = TX
HY(M,N) = TY
HZ(M,N) = TZ
TT = PP*TX + QQ*TY + RR*TZ
TOT(M,N) = TT
101
CONTINUE
100
CONTINUE
TOT, HX, HY,
HZ
FIN

PRISMA VERTICAL

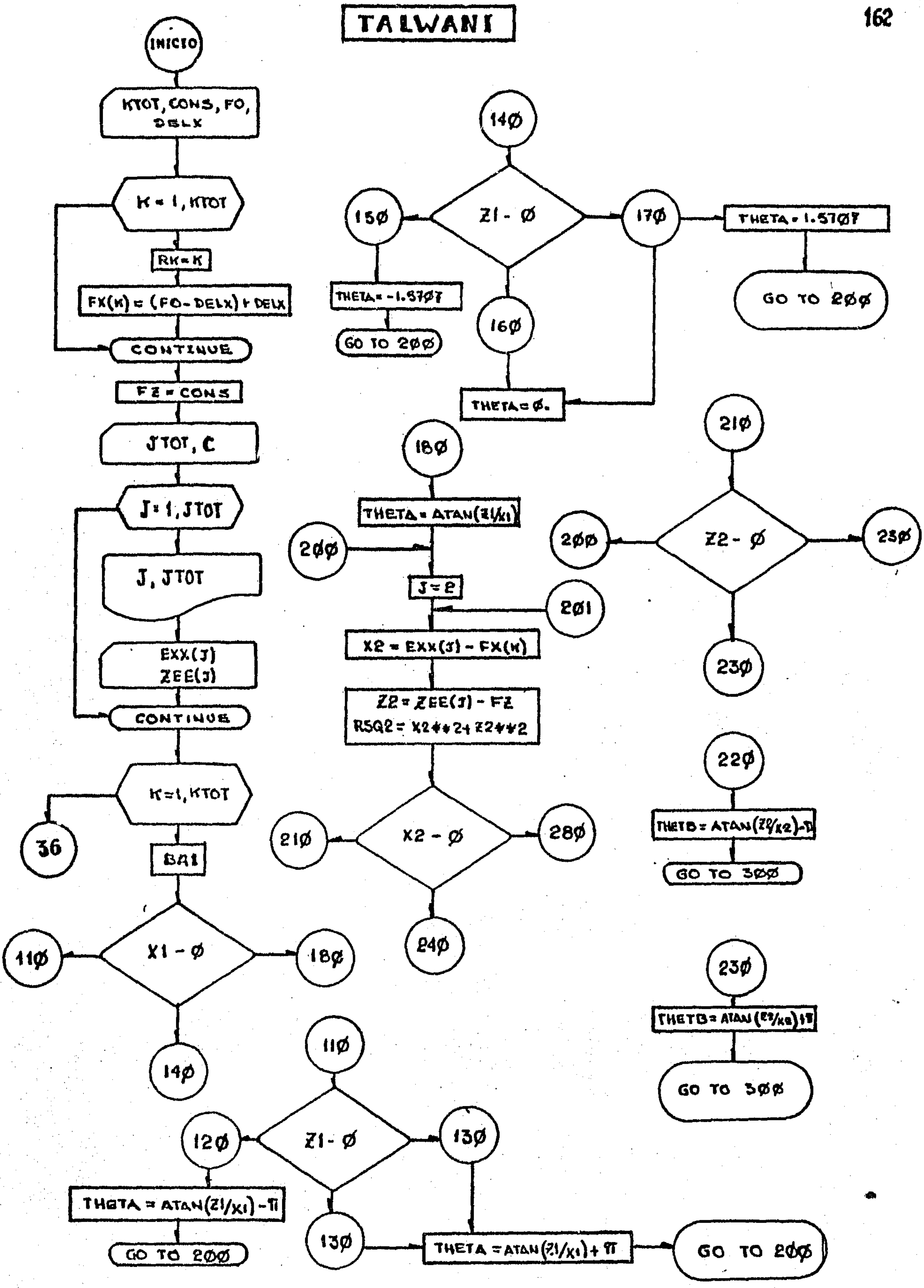


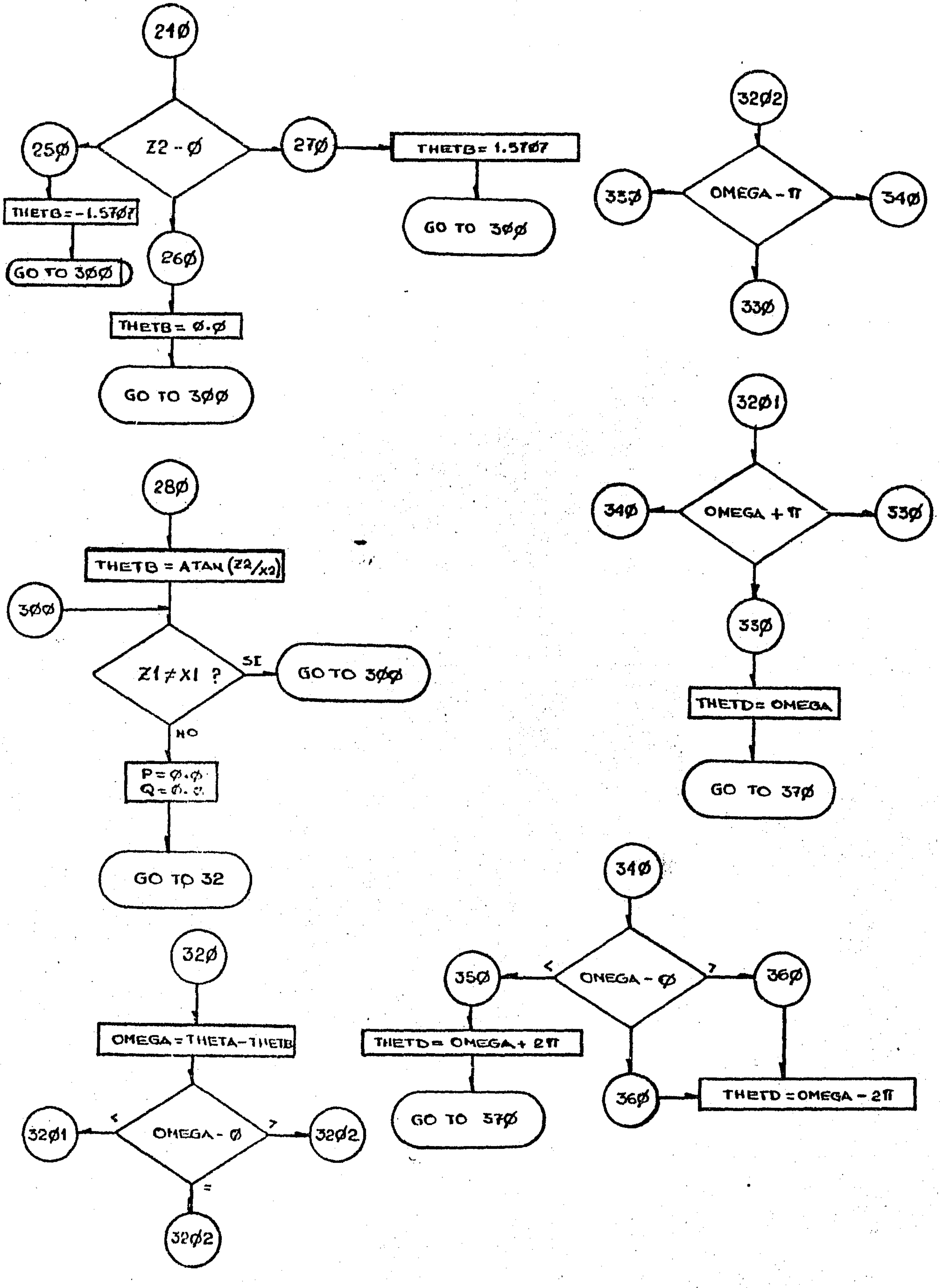

β
IB = 2
RO = SQRT(A**2+B**2+C**2)
A = Ø.
SI
A=Ø.ØØØØØØ1
NO
B = Ø.
B=Ø.ØØØØØØ1
NO
C = Ø.
SI
C=Ø.ØØØØØØ1
NO
TX1 = ATAN2(B,A)
UX = C * B
VX = A * RO
TX2 = ATAN2(UX,VX)
TL = TX1 - TX2
TY1 = ATAN2 (A-B)
UY = C * A
VY = B * RO
TY2 = ATAN2(UY,VY)
TM = TY1 - TY2
GAP = ALOG(RO+A)
GAM = ALOG(RO-A)
GBP = ALOG(RO+B)
GBM = ALOG(RO-B)
GCP = ALOG(RO+C)
GX(IA,IB,IC) = -(P*TL+Q*GCP+R*(GPB-GBM)/2.Ø)
GY(IA,IB,IC) = -(Q*TM+P*GCP+R*(GBP-GAM)/2.Ø)
GZ(IA,IB,IC) = (R*(TL+TM)-P*(GBP-GBM)/2.Ø - Q*(GAP-GAM)/2.Ø)
γ



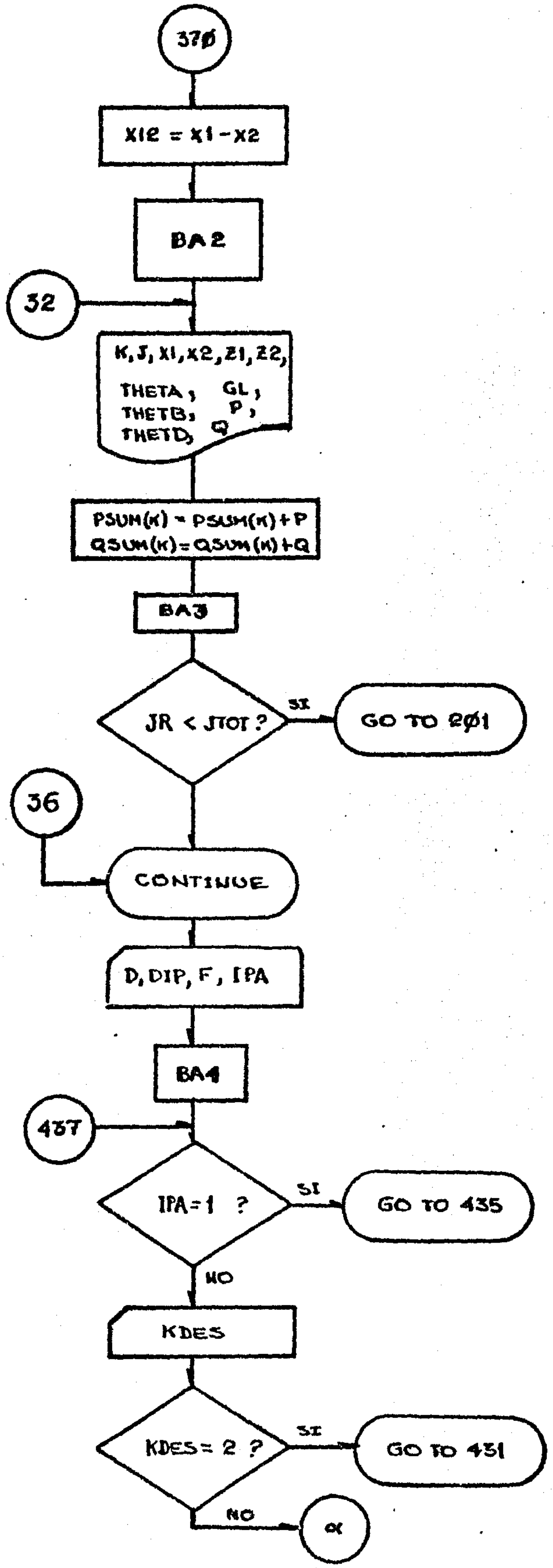
γ
1Ø2
CONTINUE
TX = GX(1,1,1)+GX(2,2,1)-GX(1,2,1)-GX(2,1,1) - (GX(1,1,2)+GX(2,2,2)-GX(1,2,2)-GX(2,1,2))
TY = GY(1,1,1)+GY(2,2,1)-GY(1,2,1)-GY(2,1,1) - (GY(1,1,2)+GY(2,2,2)-GY(1,2,2)-GY(2,1,2))
TZ = GZ(1,1,1)+GZ(2,2,1)-GZ(1,2,1)-GZ(2,1,1) - (GZ(1,1,2)+GZ(2,2,2)-GZ(1,2,2)-GZ(2,1,2))
HX(M,N)= TX
HY(M,N)= TY
HZ(M,N)= TZ
TT = PP*TX + QQ*TY + RR*TZ
TOT(M,N) = TT
1Ø1
CONTINUE
1ØØ
CONTINUE
TOT, HX, HY,
HZ
FIN

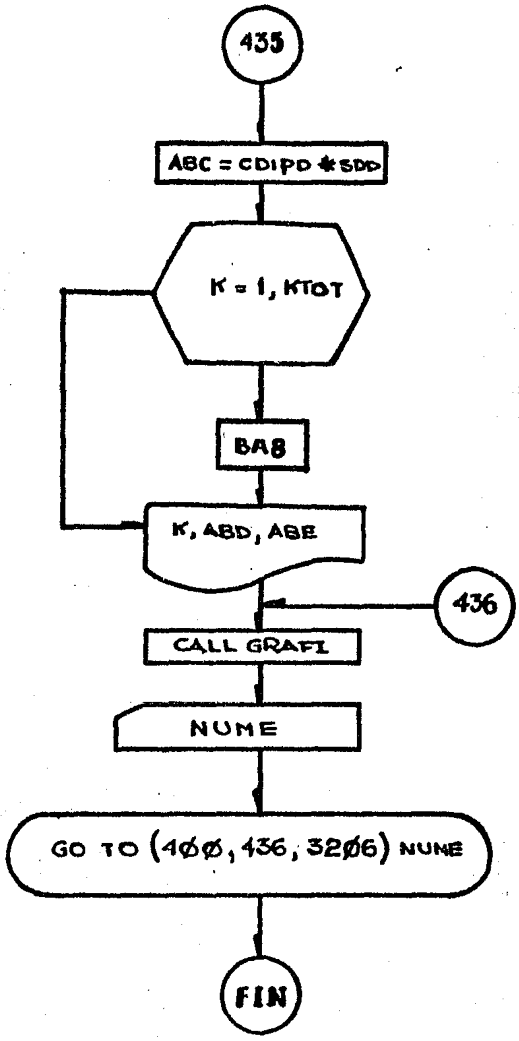
TALWANI


INICIO
KTOT, CONS, FO, DELX
K = 1, KTOT
RK = K
FX(K) = (FO - DELX) + DELX
CONTINUE
FZ = CONS
JTOT, C
J = 1, JTOT
J, JTOT
EXX(J)
ZEE(J)
CONTINUE
K = 1, KTOT
36
BA1
X1 - Ø
11Ø
18Ø
14Ø
14Ø
Z1 - Ø
15Ø
17Ø
16Ø
THETA = -1.57Ø7
GO TO 2ØØ
THETA = 1.57Ø7
GO TO 2ØØ
THETA = Ø.
18Ø
THETA = ATAN(Z1/X1)
2ØØ
J = 2
2Ø1
X2 = EXX(J) - FX(K)
Z2 = ZEE(J) - FZ
RSQ2 = X2**2 + Z2**2
X2 - Ø
21Ø
28Ø
24Ø
21Ø
Z2 - Ø
2ØØ
23Ø
23Ø
22Ø
THETB = ATAN(Z2/X2) - π
GO TO 3ØØ
23Ø
THETB = ATAN(Z2/X2) + π
GO TO 3ØØ
11Ø
Z1 - Ø
12Ø
13Ø
13Ø
THETA = ATAN(Z1/X1) - π
GO TO 2ØØ
THETA = ATAN(Z1/X1) + π
GO TO 2ØØ

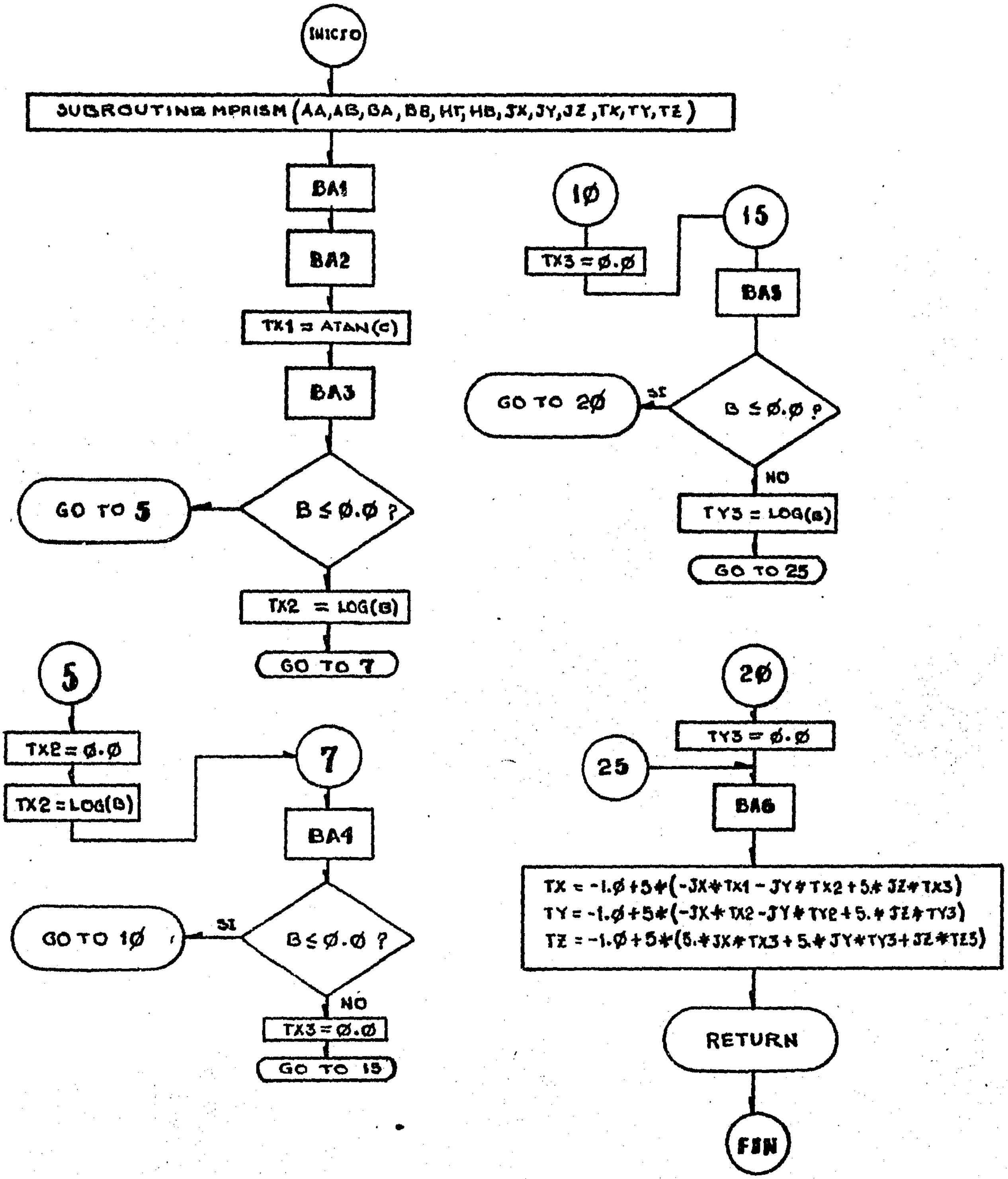


24Ø
Z2 - Ø
25Ø
27Ø
26Ø
THETB= -1.57Ø7
GO TO 3ØØ
THETB= Ø.Ø
GO TO 3ØØ
THETB= 1.57Ø7
GO TO 3ØØ
32Ø2
OMEGA - π
35Ø
34Ø
33Ø
32Ø1
OMEGA + π
34Ø
35Ø
33Ø
THETD= OMEGA
GO TO 37Ø
28Ø
THETB = ATAN (Z2/X2)
3ØØ
Z1 ≠ X1 ?
SI
GO TO 3ØØ
NO
P = Ø.Ø
Q = Ø.Ø
GO TO 32
34Ø
ONEGA - Ø
<
>
35Ø
36Ø
THETD= OMEGA + 2π
GO TO 37Ø
36Ø
THETD = OMEGA - 2π
32Ø
OMEGA = THETA - THETB
OMEGA - Ø
<
>
=
32Ø1
32Ø2
32Ø2


370
X12 = X1-X2
BA2
32
K, J, X1, X2, Z1, Z2, THETA, THETB, THETD, GL, P, Q
PSUM(K) = PSUM(K)+P
QSUM(K)=QSUM(K)+Q
BA3
JR < JTOT ?
SI
GO TO 201
36
CONTINUE
D, DIP, F, IPA
BA4
437
IPA=1 ?
SI
GO TO 435
NO
KDES
KDES= 2 ?
SI
GO TO 431
NO
α
α
430
SUS
SUS, F, D, DIP
BA5
GO TO 432
431
AM, B, A
AM, B, A
BA6
432
K= 1, KTOT
BA7
K, FX(K), H, V, T(K)
CONTINUE
GO TO 436


435
ABC = CDIPD * SDD
K = 1, KTOT
BAB
K, ABD, ABE
436
CALL GRAFI
NUME
GO TO (4ØØ, 436, 32Ø6) NUNE
FIN

BHATTACHARYYA



CAPITULO
IV

LISTADO DE PROGRAMAS
Y
EXPLICACION DE SU
FUNCIONAMIENTO

1. PROGRAMA **MAGSYN.**

ESTE PROGRAMA CONSISTE DE UN PROGRAMA PRINCIPAL SIMPLE Y UNA SUBRUTINA, DE TAL FORMA QUE EL PROGRAMA PRINCIPAL LEE E IMPRIME RESULTADOS.

LAS VARIABLES DE ENTRADA SON:

DATE = FECHA = 1979 (EN EL EJEMPLO)

ITYPE = DEFINE EL USO DE COORDENADAS

SÍ ITYPE = 1 USA GEODESICAS

SÍ ITYPE = 2 USA GEOCENTRICAS.

ALT = ALTITUD SOBRE EL NIVEL MEDIO DEL MAR (Km)

COLAT = COLATITUD EN GRADOS (0° – 180°)

ELONG = LONGITUD ESTE EN GRADOS (0° – 360°)

LOS DATOS DE SALIDA SON:

X = COMPONENTE MAGNÉTICA EN LA DIRECCIÓN NORTE.

Y = COMPONENTE MAGNÉTICA EN LA DIRECCIÓN ESTE.

Z = COMPONENTE MAGNÉTICA VERTICAL (POSITIVA HACIA ABAJO).

F = COMPONENTE MAGNETICA TOTAL.

2. PROGRAMA **ACMC.**

ESTE PROGRAMA CONSISTE DE UN PROGRAMA PRINCIPAL, UN SUBPROGRAMA DE FUNCIÓN Y OTRO DE SUBRUTINA.

LOS DATOS DE ENTRADA PARA LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA SON:

X, Y = PUNTOS DATO.

BOUND(J) = VALOR DE LAS REGIONES E INDICE DE ESTAS.

EL PROGRAMA ESTA HECHO PARA MANEJAR 300 PUNTOS DATO LOS QUE PUEDEN SER DIVIDIDOS EN UN MÁXIMO DE 10 REGIONES.

LOS DATOS DE SALIDA SON:

COEF = COEFICIENTES DEL AJUSTE CÚBICO POR MÍNIMOS CUADRADOS.

F(x) = VALORES DE LA FUNCIÓN RESIDUAL

F'(x) = VALORES DE LA FUNCIÓN DERIVADA.

VAR = VARIANZA

STDEV = DESVIACIÓN ESTANDARD

YREST = CORRELACIÓN MULTIPLE

R2 = COEFICIENTE PARA CADA REGIÓN AL CUADRADO.

RMAX = RESIDUO MÁXIMO

RMIN = RESIDUO MÍNIMO

3.

PROGRAMA REDPOL.

LOS DATOS DE ENTRADA DEL PROGRAMA CONSISTEN DE UNO Ó MAS TARJETAS Ó REGISTROS PARA LOS PARAMETROS Y 2 Ó MAS REGISTROS PARA LOS PUNTOS DE LA REJILLA QUE COMPONEN LOS VALORES DEL CAMPO MAGNÉTICO OBSERVADO, COMO SE MUESTRA A CONTINUACIÓN:

DEL = ESPACIAMIENTO DE LA REJILLA EN METROS.

DINC = INCLINACIÓN DEL CAMPO TERRESTRE EN GRADOS.

DEC = DECLINACIÓN DEL CAMPO TERRESTRE EN GRADOS.

KXN = COLUMNAS DE LA REJILLA.

LYE = RENGLONES DE LA REJILLA.

ENTREGA COMO RESULTADOS:

VERTF = VALORES DE REJILLA REDUCIDOS AL POLO.

4. PROGRAMA ENREJILLADO.

DESCRIPCIÓN DE LOS PARAMETROS DE ENTRADA:

NXS = LONGITUD DE UN RECTANGULO INDIVIDUAL DE ENREJILLADO EN LA DIRECCIÓN X.

NYS = LONGITUD DE UN RECTANGULO INDIVIDUAL DE ENREJILLADO EN LA DIRECCIÓN Y.

SIZE = LONGITUD DE UNO DE LOS LADOS DEL CUADRADO QUE RODEA EL ÁREA DE ENREJILLADO.

NORD = EL ORDEN MÁXIMO DE LA SUPERFICIE POLINOMIAL DE AJUSTE.

FACTOR = FACTOR PARA EL AJUSTE DE UNA SUPERFICIE POLINOMIAL PARA CADA CUADRADO DE LA SUPERFICIE DE AJUSTE.

NVAL = NÚMERO DE VALORES.

NPTS = NÚMERO DE PUNTOS A ENREJILLARSE.

X (NPTS) = COORDENADA "X" DE CADA PUNTO.

Y (NPTS) = COORDENADA "Y" DE CADA PUNTO.

Z (NPTS) = COORDENADA "Z" Ó VALOR ASOCIADO DE CADA PUNTO.

NX = NÚMERO DE PUNTOS DE LA REJILLA; DIRECCIÓN **X**.

NY = NUMERO DE PUNTOS DE LA REJILLA; DIRECCIÓN **Y**.

(XOR, YOR) = COORDENADAS DEL ORIGEN DE LA REJILLA.

RESULTADOS O DATOS DE SALIDA:

GD(NX,NY) = VALORES AJUSTADOS EN CADA UNO DE LOS PUNTOS DE LA REJILLA.

5. PROGRAMA **FILTRADO.**

ESTE PROGRAMA CONSISTE DE UN PROGRAMA PRINCIPAL, DOS SUBPROGRAMAS DE SUBRUTINA Y UNO DE FUNCIÓN.

LOS DATOS DE ENTRADA SON:

M1 = NÚMERO DE MUESTRAS DE LA SEÑAL.

FORIG = MUESTRAS DE LA SEÑAL ORIGINAL.

LOS DATOS DE SALIDA SON:

C(M1) = COEFICIENTES DEL FILTRO.

FILT(M1) = SEÑAL FILTRADA.

6. PROGRAMA **DERVER.**

ESTE PROGRAMA CONSISTE DE UN PROGRAMA PRINCIPAL, TRES SUBPROGRAMAS DE SUBRUTINA Y DOS SUBPROGRAMAS DE FUNCIÓN.

LOS DATOS DE ENTRADA SON:

M1 = NÚMERO DE MUESTRAS DE LA SEÑAL.

LOS DATOS DE SALIDA SON:

C(M1) = SEÑAL DERIVADA.

7. PROGRAMA CONTINUACION.

ESTE PROGRAMA CONSISTE DE UN PROGRAMA PRINCIPAL, CUATRO SUBPROGRAMAS DE SUBRUTINA, DOS SUBPROGRAMAS DE FUNCIÓN.

LOS DATOS DE ENTRADA SON:

LM = NÚMERO DE MUESTRAS DE LA SEÑAL.

CIC(LM) = SEÑAL A SER CONTINUADA.

LOS DATOS DE SALIDA SON:

C(LM) = COEFICIENTES DE LA CONTINUACIÓN.

8. PROGRAMA DIPOLO.

LAS VARIABLES DE ENTRADA SON:

H = PROFUNDIDAD DEL DIPOLO PUNTUAL.

DEC = DECLINACIÓN DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN.

INC = INCLINACIÓN DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN.

TDEC = DECLINACIÓN DEL CAMIO TERRESTRE.

TINC = INCLINACIÓN DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO.

(ESTOS 4 PARAMETROS SE DAN EN GRADOS).

LOS DATOS DE SALIDA SON:

4 MATRICES CUADRADAS QUE CONTIENEN:

HX(32,32) = COMPONENTE HORIZONTAL EN LA DIRECCIÓN NORTE

HY(32,32) = COMPONENTE HORIZONTAL EN LA DIRECCIÓN ESTE

HZ(32,32) = COMPONENTE VERTICAL.

TOT(32,32) = COMPONENTE MAGNÉTICA TOTAL.

9. PROGRAMA LINEDP

LAS VARIABLES DE ENTRADA SON:

A =

HH =

DEC = DECLINACIÓN DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN.

INC = INCLINACIÓN DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN.

TDEC = DECLINACIÓN DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO

TINC = INCLINACIÓN DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO.

LOS DATOS DE SALIDA SON:

4 MATRICES CUADRADAS QUE CONTIENEN:

HX(32,32) ≡ COMPONENTE HORIZONTAL EN LA DIRECCIÓN NORTE.

HY(32,32) ≡ COMPONENTE HORIZONTAL EN LA DIRECCIÓN ESTE.

HZ(32,32) ≡ COMPONENTE VERTICAL.

TOT(32,32) ≡ COMPONENTE MAGNÉTICA TOTAL.

10. PROGRAMA PRISMV.

LAS VARIABLES DE ENTRADA SON:

AO =

BO ≡

HT ≡

HB ≡

DEC ≡ DECLINACIÓN DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN.

INC ≡ INCLINACIÓN DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN.

TDEC ≡ DECLINACIÓN DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO.

TINC ≡ INCLINACIÓN DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO.

LOS DATOS DE SALIDA SON:

4 MATRICES CUADRADAS QUE CONTIENEN:

HX(32,32) ≡ COMPONENTE HORIZONTAL EN LA DIRECCIÓN NORTE.

HY(32,32) ≡ COMPONENTE HORIZONTAL EN LA DIRECCIÓN ESTE.

HZ(32,32) ≡ COMPONENTE VERTICAL.

TOT(32,32) ≡ COMPONENTE MAGNÉTICA TOTAL.

11. PROGRAMA TALWANI.

ESTE PROGRAMA CONSISTE DE UN PROGRAMA PRINCIPAL Y UN SUBPROGRAMA DE SUBRUTINA, Y ESTA COMPLETAMENTE IDENTIFICADO EN CUANTO A LAS VARIABLES DE ENTRADA-SALIDA EN EL LISTADO SIMBÓLICO EN LA PARTE DE LOS COMENTARIOS. POR LO QUE EN ESTA BREVE DESCRIPCIÓN DIREMOS QUE EL PROGRAMA EN UNO DE SUS ALTERNATIVAS, CALCULA LAS COMPONENTES MAGNÉTICAS HORIZONTAL (H), VERTICAL (V) Y TOTAL (T) PRODUCIDAS POR UN POLIGONO CUYAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS SON, SUS COORDENADAS X Y Z, LA SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA, LA INCLINACIÓN DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO.

12. PROGRAMA MPRISM.

ESTE PROGRAMA CONSISTE DE UN PROGRAMA PRINCIPAL.

LAS VARIABLES DE ENTRADA SON:

AA = DISTANCIA DESDE EL LÍMITE INFERIOR DEL PRISMA AL ORIGEN EN LA DIRECCIÓN X(N).

AB = DISTANCIA DESDE EL LÍMITE SUPERIOR DEL PRISMA AL ORIGEN EN LA DIRECCIÓN X(N).

BA = DISTANCIA DESDE EL LÍMITE INFERIOR DEL PRISMA AL ORIGEN EN LA DIRECCIÓN Y(N).

BB = DISTANCIA DESDE EL LÍMITE SUPERIOR DEL PRISMA AL ORIGEN EN LA DIRECCIÓN Y(N).

HT = PROFUNDIDAD MEDIDA DESDE EL PLANO DE OBSERVACION ES A LA CIMA DEL PRISMA.

HB = PROFUNDIDAD MEDIDA DESDE EL PLANO DE OBSERVACIONES A LA BASE DEL PRISMA.

JX = COMPONENTE DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN (X)

JY = COMPONENTE DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN (Y)

JZ = COMPONENTE DEL VECTOR DE MAGNETIZACIÓN (Z).

LAS VARIABLES DE SALIDA SON:

TX = COMPONENTE MAGNÉTICA EN LA DIRECCIÓN X.

TY = COMPONENTE MAGNÉTICA EN LA DIRECCIÓN Y.

TZ = COMPONENTE MAGNÉTICA EN LA DIRECCIÓN Z.

```
C*                    IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*                    I                                 I
C*                    I            U.N.A.M              I
C*                    I                                 I
C*                    I     FACULTAD DE INGENIERIA      I
C*                    I                                 I
C*                    I  DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA I
C*                    I                                 I
C*                    I        SECCION GEOFISICA        I
C*                    I                                 I
C*                    I       TESIS  PROFESIONAL        I
C*                    I                                 I
C*                    I   PRESENTADA POR EL ALUMNO:     I
C*                    I                                 I
C*                    I     ROGELIO RAMOS CARRANZA      I
C*                    I                                 I
C*                    I      NOMBRE DEL PROGRAMA:       I
C*                    I                                 I
C*                    I             MAGSYN              I
C*                    I                                 I
C*                    IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*
      DIMENSION GH(80),SV(80),P(45),Q(45),CL(8),SL(8)
      DATA DATE,ITYPE,ALT,COLAT,CLONG/1979.2,1,0.0,40.0,5.0/
      CALL MAGSYN(1979.2,1,0.0,40.0,5.0,X,Y,Z,F)
      PRINT 10
   10 FORMAT(/////,10X,"IMPRIME RESULTADOS PARA  X,Y,Z,F")
      PRINT 20,X,Y,Z,F
   20 FORMAT(///,20X,"X= ",E15.5,///,20X,"Y= ",E15.5,///,20X,"Z= ",E15.5
     1///,20X,"F= ",E15.5)
      CALL EXIT
      END
      SUBROUTINE MAGSYN(DATE,ITYPE,ALT,COLAT,CLONG,X,Y,Z,F)
C*    ESTA SUBRUTINA CALCULA LOS VALORES DE "X,Y,Z"  Y  "F"  PARA UNA
C*    SERIE DE DATOS  Y  POSICION DADAS A PARTIR DE LOS COEFICIENTES
C*    ARMONICOS ESFERICOS DEL CAMPO GEOMAGNETICO INTERNACIONAL DE RE-
C*    FERENCIA.
C*    LOS DATOS DE ENTRADA DEL PROGRAMA SE DEFINEN COMO SIGUE:
C*
C*         DATE=FECHA REQUERIDA EN UNIDADES Y DECIMAS DE AGNOS (A.C).
C*        ITYPE=1 SI SE USAN COORDENADAS GEODESICAS.
C*        ITYPE=2 SI SE USAN COORDENADAS GEOCENTRICAS.
C*          ALT=ALTURA SOBRE EL NIVEL MEDIO DEL MAR EN KM. (ITYPE=1).
C*          LAT=DISTANCIA RADIAL DESDE EL CENTRO DE LA TIERRA EN KM.
C*              (ITYPE=2)
C*        COLAT=COLATITUD EN GRADOS (0.0 HASTA 180.0).
C*        CLONG=LONGITUD ESTE EN GRADOS (0.0 HASTA 360.0)
C*     LOS DATOS DE SALIDA DEL PROGRAMA SE DEFINEN COMO SIGUE:
C*
C*
C*
C*       X  =  COMPONENTE MAGNETICA EN LA DIRECCION NORTE.(NEWTONS)
C*       Y  =  COMPONENTE MAGNETICA EN LA DIRECCION ESTE.(NEWTONS)
C*       Z  =  COMPONENTE MAGNETICA VERTICAL (POSITIVA HACIA ABAJO)
C*       F  =  COMPONENTE MAGNETICA TOTAL.(NEWTONS)
C*
C*
C*    NOTA:  EL SISTEMA DE COORDENADAS PARA "X,Y,Z" ES EL MISMO QUE
C*           EL ESPECIFICADO POR "ITYPE".
C*
C*    LOS COEFICIENTES "GH" SON SUSTITUIDOS POR LA INSTRUCCION DE
C*    BLOQUE DATA.(AUNQUE LOS COEFICIENTES PUEDEN SER LEIDOS DEN-
C*    TRO DEL PROGRAMA PRINCIPAL Y HACER POSIBLE LA EJECUCION DE
C*    LA SUBRUTINA POR MEDIO DE UN "COMMON".)
C*
C*    INICIO DE LA SUBRUTINA
C*
      DIMENSION GH(80),SV(160),P(45),Q(45),CL(8),SL(8)
      DATA GH/      -30186.,-2036.,5735.,-1898.,2997.,-2124.,1551.,-37.,
     $        1299.,-2144.,-361.,1296.,249.,805.,-253.,951.,807.,
```

```
     $          148.,462.,-264.,-393.,37.,235.,-307.,-204.,368.,
     $          39.,275.,142.,-20.,-147.,-151.,-99.,-38.,74.,
     $          46.,57.,-23.,15.,102.,-210.,88.,-1.,-43.,
     $          -3.,-9.,-114.,-4.,66.,-57.,-6.,-7.,-24.,
     $          7.,-4.,-22.,11.,-5.,27.,11.,-17.,-5.,
     $          -14.,11.,13.,4.,3.,-15.,-12.,2.,-4.,
     $          -19.,6.,1.,-2.,13.,9.,-6.,1.,-15./
      DATA SV/   15.3,
     $           4.2, 0.7, 0.7,-3.3,-24.4, 0.3,-11.3,-1.6,-16.7, 0.2,-10.8,
     $          -0.1, 3.5, 0.1,-4.5,-7.7,-0.7, 0.2,-0.1,-3.0,1.6,
     $          -2.4, 1.0, 0.3, 1.3,-0.3, -1.1, 2.3, 2.9, 1.7,0.6,
     $           1.9, 2.0,-0.4,-1.1,-0.4, 0.1,-0.3,-0.9, 1.1,-0.4,
     $          -1.1,-0.5, 0.5,-0.5, 0.4,-0.2,0.3, 0.2, 0.0, 0.4,
     $           0.2,-0.8, 0.3, 0.1, 0.4, 0.1, 0.6,-0.2, 0.0,-0.3,
     $           0.0,-0.3,-0.1,-0.3, 0.3,-0.4,-0.3,-0.3,-0.5,-0.3,
     $          25.6,10.0,-10.2,-24.6, 0.7,-5.0, 4.3,-13.6,-3.3,-10.4,
     $           6.9,-4.1, 2.5,-4.2,-5.0,-0.2,-2.0, 5.0,-3.9,0.8,
     $          -3.1, 1.5,-5.1,-1.0, 0.3,-0.7, 1.2, 1.1, 2.3,-1.6,
     $          -2.0, 1.5, 1.5, 1.0, 1.1, 0.2, 0.5,-0.5, 2.0,-0.1,
     $           2.3,-0.5, 0.0,-1.3, 0.5, 0.7,-0.1, 1.7, 0.0, 0.0,
     $          -1.4, 0.3,-0.1, 0.6, 0.3, 0.9, 0.3, 0.3,-0.7, 0.3,
     $           0.1,-0.2, 0.3, 0.2, 0.3,-0.2, 0.0,-0.4, 0.2,-0.2,
     $          -0.4,-0.5,-0.3, 0.4, 0.6,-0.3,-0.3,-0.6,-0.1, 0.3/
C*
C*    COLOCA LOS VALORES INICIALES.
C*
      T      =DATE-1975.0
      R      =ALT
      ONE    =COLAT*0.0174533
      CT     =COS(ONE)
      ST     =SIN(ONE)
      ONE    =ELONG*0.0174533
      CL(1)  =COS(ONE)
      SL(1)  =SIN(ONE)
      X      =0.0
      Y      =0.0
      Z      =0.0
      CD     =1.0
      SD     =0.0
      L      =1
      LL     =0
      IF(T.GE.0.0) LL=30
      M      =1
      N      =0
      IF(ITYPE.EQ.2) GO TO 1
C*
C*    CONVERSION DE COORDENADAS GEODESICAS A GEOCENTRICAS.
C*
      A2     =40680925.
      B2     =40408585.
      ONE    =A2*ST*ST
      TWO    =B2*CT*CT
      THREE  =ONE + TWO
      RHO    =SQRT(THREE)
      R      =SQRT(ALT*(ALT+2.0*RHO) + (A2*ONE+B2*TWO)/THREE)
      CD     =(ALT+RHO)/R
      SD     =(A2-B2)/RHO*CT*ST/R
      ONE    =CT
      CT     =CT*CD - ST*SD
      ST     =ST*CD + ONE*SD
    1 RATIO=6371.2/R
      RR     =RATIO*RATIO
C*
C*    CALCULO DE LOS COEFICIENTES CUASI-NORMALIZADOS DE SCHMIDT
C*                                  " P  ,  X(=Q) "
      P(1)   =1.0
      P(3)   =ST
      Q(1)   =0.0
      Q(3)   =CT
      DO 3 K=2,45
      IF(N.GE.M) GO TO 2
      M      =0
```

```
      N        =N+1
      RR       =(R*RATIO
      FN       =N
      GN       =N-1
    2 FM       =M
      IF(M.NE.N) GO TO 3
      IF(K.EQ.3) GO TO 4
      ONE      =SQRT(1.0-0.5/FM)
      J        =K-N-1
      P(K)     =ONE*ST*P(J)
      Q(K)     =ONE*(ST*Q(J)+CT*P(J))
      CL(M)    =CL(M-1)*CL(1)-SL(M-1)*SL(1)
      SL(M)    =SL(M-1)*CL(1)+CL(M-1)*SL(1)
      GO TO 4
    3 GM       =M*M
      ONE      = SQRT(FN*FN-GM)
      TWO      = SQRT(GN*GN-GM)/ONE
      THREE    = (FN+GN)/ONE
      I        =K-N
      J        = I-N+1
      P(K)     =THREE*CT*P(I)-TWO*P(J)
      Q(K)     =THREE*(CT*Q(I)-ST*P(I))-TWO*Q(J)
C*
C*    SINTESIS DE LAS COMPONENTES "X,Y,Z" EN
C*    COORDENADAS GEOCENTRICAS.
C*
    4 ONE      =(GH(L)+SV(LL+L)*T)*RR
      IF(M.EQ.0) GO TO 7
      TWO      =(GH(L+1)+SV(LL+L+1)*T)*RR
      THREE    =ONE*CL(M)+TWO*SL(M)
      X        =X+THREE*Q(K)
      Z        =Z-(FN+1.0)*THREE*P(K)
      IF(ST.EQ.0.0) GO TO 5
      Y        =Y+(ONE*SL(M)-TWO*CL(M))*FM*P(K)/ST
      GO TO 6
    5 Y        =Y+(ONE*SL(M)-TWO*CL(M))*Q(K)*CT
    6 L        = L+2
      GO TO 8
    7 X        = X+ONE*Q(K)
      Z        = Z-(FN+1.0)*ONE*P(K)
      L        =L+1
    8 M        =M+1
C*    CONVERSION AL SISTEMA COORDENADOS ESPECIFICADO
C*    POR " ITYPE ".
      ONE      =X
      X        =X*CD+Z*SD
      Z        = Z*CD-ONE*SD
      F        =SQRT(X*X+Y*Y+Z*Z)
      RETURN
      END
```

```
      PROGRAMA PRINCIPAL PARA EL PROCESO DE ENREJILLADO.

      DESCRIPCION DE LOS PARAMETROS DE ENTRADA:

      NXS , NYS .- LONGITUD DE UN RECTANGULO INDIVIDUAL DE ENREJILLADO
                   (SELECCIONADO ENTRE 4 Y 8 UNIDADES DE REJILLA)
      SIZE      .- ES LA LONGITUD DE UNO DE LOS LADOS DEL CUADRADO
                   QUE RODEA EL AREA DE ENREJILLADO (SELECCIONADO ENTRE
                   2 O 3 VECES NXS O NYS O BIEN NXS O NYS VECES DELXY)
      NORD      .- EL MAXIMO ORDEN DE LA SUPERFICIE POLINOMIAL DE AJUSTE
                   (SELECCIONADO ENTRE 3-6).
      FACTOR    .- PARA EL AJUSTE DE UNA SUPERFICIE POLINOMIAL PARA CADA
                   CUADRADO DE LA SUPERFICIE DE AJUSTE.(MAYOR O IGUAL QUE 1.)

      DIMENSION X(160),Y(160),Z(160),GD(20,20),B(160),C(10)

      EL PARAMETRO "NO" CONTROLA EL CANAL DE IMPRESION PARA UN SISTEMA
      DE COMPUTADORA EN PARTICULAR.

      NO=10

      PARAMETROS QUE CONTROLAN LAS DIMENSIONES DE LA REJILLA:
      NVAL=160
      NPTS=160
      NX=8
      NY=8
      NXS=4
      NYS=4
      SIZE=8.0
      FACTOR=1.0
      XOR=1.0
      YOR=1.0
      DELXY=2.0
      NORD=3
      LECTURA DE LAS COORDENADAS "X","Y",Y SU VALOR ASOCIADO "Z".
      READ(11,25) (X(I),Y(I),Z(I),I=1,NPTS)
      FORMAT(3F10.3)
      CALL SGRID(X,Y,Z,NPTS,GD,NX,NY,SIZE,NXS,NYS,FACTOR,XOR,YOR,DELXY,NORD,
     1 NO)
      DO 7 I=1,NX
      DO 7 J=1,NY
      WRITE(NO,13) GD(I,J)
      FORMAT(F10.3)
      STOP
      END
```

```
INICIO DE LA SUBRUTINA SGRID.
ESTA SUBRUTINA REALIZA UNA INTERPOLACION PARA EL ENREJILLADO
DE DATOS DISTRIBUIDOS ALEATORIAMENTE Y ENTREGA COMO RE-
SULTADO LA REJILLA DE DATOS ESPACIADOS UNIOFORMEMENTE.

      SUBROUTINE SGRID(X,Y,Z,NPTS,GD,NX,NY,SIZE,NXS,NYS,FACTOR,XOR,YOR,DELXY,
     * NORD,NO)
      DIMENSION X(160),Y(160),Z(160),GD(20,20),B(160),C(10)
      GRDX=FLOAT(NXS-1)*DELXY
      GRDY=FLOAT(NYS-1)*DELXY
      NXSTEP=NX/NXS
      NYSTEP=NY/NYS
      IF(FACTOR.LT.1.0) FACTOR=1.0
      DO 20 I=1,NYSTEP
      DO 20 J=1,NXSTEP
      XCENT=FLOAT(J*NXS-1)*DELXY+XOR-GRDX/2.
      YCENT=FLOAT(I*NYS-1)*DELXY+YOR-GRDY/2.
      SIZE2=SIZE/2.
      X1=XCENT-SIZE2
      X2=XCENT+SIZE2
      Y1=YCENT-SIZE2
      Y2=YCENT+SIZE2
      CALL SORT(X,Y,Z,NPTS,X1,X2,Y1,Y2,NVAL)
      NORD1=NORD
      NCOEF=((NORD1+1)*(NORD1+2)/2)-1
      XVAL=NVAL
      XCOEF=FACTOR*FLOAT(NCOEF)
      IF(XVAL.GT.XCOEF) GO TO 25
      NORD1=NORD1-1
      IF(NORD1.EQ.1) WRITE(10,901) I,J
      IF(NORD1.LE.1)CALL RESET
      IF(NORD1.LE.1) STOP
```

```
GO TO 35
CONTINUE
CALL LSQSRF(X,Y,Z,NVAL,NORD1,B,AZERO,NO)
WRITE(NO,900) I,J,NVAL,NORD1,NCOEF,XCENT,YCENT
DO 80 II=1,NYS
DO 80 JJ=1,NXS
JC=JJ-1+(J-1)*NXS
XC=FLOAT(JC)*DELXY+XOR
IC=II-1+(I-1)*NYS
YC=FLOAT(IC)*DELXY+YOR
C(1)=XC
C(2)=YC
IF(NORD1.EQ.1) GO TO 100
NV=2
DO 130 JP=2,NORD1
DO 140 K=1,JP
NV=NV+1
L=NV-JP
C(NV)=C(L)*C(1)
NV=NV+1
C(NV)=C(2)**JP
CONTINUE
SUM=0.0
DO 110 K=1,NCOEF
SUM=SUM+C(K)*B(K)
SUM=SUM+AZERO
GD(JC+1,IC+1)=SUM
CONTINUE
CONTINUE
FORMAT(5I5,2F10.3)
FORMAT("NUMERO INSUFICIENTE DE PUNTOS EN EL RECTANGULO DE AJUSTE",2I5)
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE SORT(X,Y,Z,NPTS,X1,X2,Y1,Y2,NVAL)
DIMENSION X(160),Y(160),Z(160)
NVAL=0
DO 10 I=1,NPTS
IF(X(I).LT.X1.OR.X(I).GT.X2) GO TO 10
IF(Y(I).LT.Y1.OR.Y(I).GT.Y2) GO TO 10
NVAL=NVAL+1
XTEMP=X(NVAL)
YTEMP=Y(NVAL)
ZTEMP=Z(NVAL)
X(NVAL)=X(I)
Y(NVAL)=Y(I)
Z(NVAL)=Z(I)
X(I)=XTEMP
Y(I)=YTEMP
Z(I)=ZTEMP
CONTINUE
RETURN
END
```

INICIO DE LA SUBRUTINA LSQSRF.

```
SUBROUTINE LSQSRF(X,Y,Z,NVAL,NORD,B,AZERO,NO)
DIMENSION X(160),Y(160),Z(160),XX(160,9),AA(50,50),XBAR(100),B(160)
DIMENSION YHAT(100),A(100)
N1=65
M1=100
DO 10 I=1,NVAL
XX(I,1)=X(I)
XX(I,2)=Y(I)
IF(NORD.EQ.1) GO TO 100
DO 20 I=1,NVAL
NV=2
DO 30 J=2,NORD
DO 40 K=1,J
NV=NV+1
L=NV-J
XX(I,NV)=XX(I,L)*XX(I,1)
NV=NV+1
XX(I,NV)=XX(I,2)**J
CONTINUE
CONTINUE
NCOEF=((NORD+1)*(NORD+2)/2)-1
NN=NCOEF*NCOEF
CALL LINREG(XX,Z,NCOEF,NVAL,A,B,XBAR,YHAT,AA,NN,NO,AZERO,M1,N1)
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE LINREG(X,Y,N,M,A,B,XBAR,YHAT,AA,N2,NO,AZERO,M1,N1)
DIMENSION X(160,9),Y(160),A(100),B(81),XBAR(100),YHAT(100),AA(50,50)
WRITE(NO,001)
FORMAT(1H1,10X,38HALGORITMO DE REGRESION LINEAL MULTIPLE)
DO 200 I=1,N
SUMX=0.0
DO 100 J=1,M
SUMX=SUMX+X(J,I)
XBAR(I)=SUMX/FLOAT(M)
SUMY=0.0
DO 300 K=1,M
SUMY=SUMY+Y(K)
YBAR=SUMY/FLOAT(M)
WRITE(NO,002)
FORMAT(//,2X,28HVALORES PROMEDIO DE VARIABLE   )
WRITE(NO,003)  ((II,XBAR(II)),II=1,N)
FORMAT(/,3(2X,5HXBAR(,I2,4H) = ,1PE14.7 ))
WRITE(NO,004) YBAR
FORMAT(/,2X,7HYBAR = ,1PE14.7 )
KK=1
DO 500 I=1,N
DO 500 J=1,N
SUMA=0.0
SUMB=0.0
DO 400 K=1,M
SUMA=SUMA+(X(K,I)-XBAR(I))*(X(K,J)-XBAR(J))
SUMB=SUMB+(Y(K)-YBAR)*(X(K,I)-XBAR(I))
AA(I,J)=SUMA
A(KK)=SUMA
KK=KK+1
B(I)=SUMB
WRITE(NO,005)
FORMAT(//,10X,8HMATRIZ A)
DO 550 II=1,N
WRITE(NO,006)(AA(II,JJ),JJ=1,N)
FORMAT(/,4(2X,E16.8),/,4(2X,E16.8))
WRITE(NO,007)
FORMAT(//,10X,8HMATRIZ B)
WRITE(NO,006) (B(KK),KK=1,N)
CALL SIMQ(A,B,N,KS,N2)
SUMX=0.0
DO 600 I=1,N
```

```
 SUMX=SUMX+B(I)*XBAR(I)
 AZERO=YBAR-SUMX
 WRITE(NO,008)
 FORMAT(1H1,10X,38HVALOR DE LOS COEFICIENTES DE REGRESION )
 WRITE(NO,009) ((JJ,B(JJ)),JJ=1,N)
 FORMAT(/,2(2X,5HAHAT(,I2,4H) = ,1PE16.8,8X))
 WRITE(NO,010) AZERO
 FORMAT(/,2X,8HAZERO = ,1PE16.8)
 STEST=0.0
 DO 800 J=1,M
 SUMS1=0.0
 DO 700 K=1,N
 SUMS1=SUMS1+B(K)*X(J,K)
 YHAT(J)=AZERO+SUMS1
 DIFF=(Y(J)-YHAT(J))**2
 STEST=0.0
 DO 900 I=1,M
 SUMST=SUMST+(Y(I)-YBAR)**2
 SUMSR=SUMST-STEST
 RTEST=SUMSR/SUMST
 WRITE(NO,011)
 FORMAT(////,5X,22HVALORES EXPERIMENTALES,18X,20HVALORES DE REGRESION)
 DO 1000 KK=1,M
 WRITE(NO,013) SUMST,STEST,RTEST
 WRITE(NO,012) KK,Y(KK),KK,YHAT(KK)
 FORMAT(/,2X,2HY(,I3,4H) = ,1PE16.8,10X,5HYHAT(,I3,4H) = ,1PE16.8)
 FORMAT(///,2X,6HSUMST=,1PE16.8,/,2X,2HS=,1PE16.8,10X,5HR**2=,1PE16.8)
 RETURN
 END
```

```
SUBROUTINE SIMQ(A,B,N,KS,NS)
INTEGER NS,N
DIMENSION A(100),B(81)
SOLUCION PRELIMINAR
TOL=0.0
KS=0
JJ=-N
DO 65 J=1,N
JY=J+1
JJ=JJ+N+1
BIGA=0
IT=JJ-J
DO 30 I=J,N
BUSQUEDA DEL COEFICIENTE MAXIMO EN LA COLUMNA
IJ=IT+I
IF(ABS(BIGA)-ABS(A(IJ))) 20,30,30
BIGA=A(IJ)
IMAX=I
CONTINUE
PRUEBA PARA EL PIVOTE MENOR QUE LA TOLERANCIA (MATRIZ SINGULAR)
IF(ABS(BIGA)-TOL)35,35,40
KS=1
RETURN
INTERCAMBIA RENGLONES SI ES NECESARIO
I1=J+N*(J-2)
IT=IMAX-J
DO 50 K=J,N
I1=I1+N
I2=I1+IT
SAVE=A(I1)
A(I1)=A(I2)
A(I2)=SAVE
DIVIDE LA ECUACION POR EL COEFICIENTE PRINCIPAL
A(I1)=A(I1)/BIGA
SAVE=B(IMAX)
B(IMAX)=B(J)
B(J)=SAVE/BIGA
ELIMINA LA SIGUIENTE VARIABLE
IF(J-N) 55,70,55
IQS=N*(J-1)
DO 65 IX=JY,N
IXJ=IQS+IX
IT=J-IX
DO 60 JX=JY,N
IXJX=N*(JX-1)+IX
JJX=IXJX+IT
A(IXJX)=A(IXJX)-(A(IXJ)*A(JJX))
B(IX)=B(IX)-(B(J)*A(IXJ))
SOLUCION DE REGRESO
NY=N-1
IT=N*N
DO 80 J=1,NY
IA=IT-J
IB=N-J
IC=N
DO 80 K=1,J
B(IB)=B(IB)-A(IA)*B(IC)
IA=IA-N
IC=IC-1
RETURN
END
```

```
C*                        IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*                        I                                 I
C*                        I             U.N.A.M             I
C*                        I                                 I
C*                        I     FACULTAD DE INGENIERIA      I
C*                        I                                 I
C*                        I  DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA I
C*                        I                                 I
C*                        I       SECCION  GEOFISICA        I
C*                        I                                 I
C*                        I       TESIS  PROFESIONAL        I
C*                        I                                 I
C*                        I    PRESENTADA POR EL ALUMNO:    I
C*                        I                                 I
C*                        I     ROGELIO RAMOS CARRANZA      I
C*                        I                                 I
C*                        I      NOMBRE DEL PROGRAMA:       I
C*                        I                                 I
C*                        I            "REDPOL"             I
C*                        I                                 I
C*                        IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*
C*
C*     PROGRAMA REDPOL:
C*                         ESTE PROGRAMA REALIZA LA REDUCCION AL POLO
C*                         DE LOS VALORES DE INTENSIDAD MAGNETICA TO-
C*                         TAL.
C*    EL PROGRAMA FUE MODIFICADO DEL ORIGINAL DE LA PUBLICACION
C*    DE ERVIN,C.P.(1976).
C*    LA REDUCCION AL POLO SE CALCULA UTILIZANDO EL ALGORITMO  DE
C*    LA SERIE RAPIDA DE FOURIER,COMPUTERS Y GEOSCIENCES VOL.2,PP-
C*    211-217.
C*
C*
C*    LOS DATOS SE DEFINEN DE LA MANERA SIGUIENTE:
C*
C*
C*                    DEL  = ESPACIAMIENTO DE LA REJILLA EN METROS.
C*                    DINC = INCLINACION DEL CAMPO TERRESTRE EN GRADOS.
C*                    DEC  = DECLINACION DEL CAMPO TERRESTRE EN GRADOS.
C*                    KXN  = NUMERO DE COLUMNAS DE LA REJILLA DE DATOS -
C*                           INCREMENTANDOSE DE OESTE A ESTE.
C*                    LYE  = NUMERO DE RENGLONES DE LA REJILLA DE DATOS
C*                           INCREMENTANDOSE DE NORTE A SUR.
C*
C*
C*                    LAS VARIABLES A DIMENSIONAR SON:
C*
C*
C*                                       SK(KKK)
C*                                       SL(LLL)
C*                                       VERTF(KKK,LLL)
C*                                       A(KH,LH)
C*                                       B(KH,LH)
C*                                       C(KH,LH)
C*                                       D(KH,LH)
C*
C*
      COMMON SK(108),SL(33),VERTF(108,33),A(55,45),B(55,45),C(55,45)
     1 ,D(55,45),DELTA,THETA ,TAU
      DIMENSION G(256)
      READ(5,/) DEL,DINC,DEC
      WRITE(6,101) DEL,DINC,DEC
      WRITE(6,109)
  109 FORMAT(2X,"DAME LOS VALORES DE KN Y LE EN FORMATO 2I5")
      READ(5,102)KN,LE
      WRITE(6,110)KN,LE
  102 FORMAT(2I5)
      KXN=(KN/4)*4
      LYE=(LE/4)*4
      PRINT*//,KXN,LYE
      L=KN
```

```
      DO 40 I=1,KXN
      READ(5,103)(G(J),J=1,LYE)
      PRINT 111,(G(J),J=1,LYE)
  111 FORMAT(////,20X,"G(J)=",F10.2)
      IF(I.GT.KXN) GO TO 41
      DO 39 J=1,LYE
      VERTF(L,J)=G(J)
   39 CONTINUE
      L=L-1
   40 CONTINUE
C*
C*    CONVERSION DE UNIDADES DE LONGITUD A SISTEMA METRICO.
C*
      DELT=DELT*1000
      PI=3.1415927
      THETA=(PI/180.)*DINC
      TAU=(PI/180.)*DEC
      K4=KXN/4
      L4=LYE/4
      MMM=KXN/2+1
      NNN=LYE/2+1
C*-----LA SIGUIENTE SUBRUTINA EJECUTA LAS TABLAS DE MAPEO  PARA LOS
C*-----           TERMINOS TRIGONOMETRICOS.
      CALL TRIG(KXN,LYE)
C*-----LA SIGUIENTE SUBRUTINA EJECUTA LA SUPERFICIE DE FOURIER.
      CALL COEFT(KXN,LYE,MMM,NNN,K4,L4)
C*-----LA SIGUIENTE SUBRUTINA EJECUTA LA REDUCCION AL POLO.
      CALL VERTIC(KXN,LYE,NNN,MMM,K4,L4)
      WRITE(6,105)KXN,LYE
      WRITE(6,102)KXN,LYE
      L=KXN
      DO 50 I=1,KXN
      WRITE(6,103)(VERTF(L,J),J=1,LYE)
   50 L=L-1
   60 CONTINUE
C*-----LA SIGUIENTE SUBRUTINA IMPRIME LOS VALORES REDUCIDOS AL POLO
      CALL PRINTM(VERTF,KXN,LYE,108,83)
      WRITE(6,104)
  100 FORMAT(3F5.0)
  101 FORMAT(1H1,2X,"DEL= ",F10.0,2X,"DINC= ",F10.1,2X,"DEC= ",F11.1)
  110 FORMAT(1H1,10X,"KX= ",I5,10X,"LE= ",I5)
  103 FORMAT(F10.2)
  104 FORMAT(1H0,2X,"FIN DEL PROGRAMA RCPOL")
  105 FORMAT(1H0,2X,"KXN= ",I5,2X,"LYE= ",I5)
      CALL EXIT
      END
C*-----LA SIGUIENTE SUBRUTINA CALCULA LAS TABLAS DE MAPEO PARA
C*-----        LAS FUNCIONES TRIGONOMETRICAS
      SUBROUTINE TRIG(KXN,LYE)
      COMMON SK(108),SL(83),VERTF(108,83),A(55,45),B(55,45),C(55,45)
     1,D(55,45),DELT,THETA,TAU
      PI2=6.2831853/KXN
      SK(1)=0.0
      DO 10 I=2,KXN
      II=I-1
      SK(I)=SIN(II*PI2)
   10 CONTINUE
      IF(KXN.EQ.LYE)GO TO 30
      PI2=6.2831853/LYE
      SL(1)=0.0
      DO 20 I=2,LYE
      II=I-1
      SL(I)=SIN(II*PI2)
   20 CONTINUE
      RETURN
   30 CONTINUE
C*-----SI LAS DIMENSIONES DE LOS ARREGLOS SON LAS MISMAS KXN=LYE,
C*-----       LAS TABLAS SON IDENTICAS.
      DO 40 I=1,LYE
      SL(I)=SK(I)
   40 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
C****** INICIO DE LA SUBRUTINA COFIT.
      SUBROUTINE COFIT(KXN,LYE,MMM,NNN,K4,L4)
C****** ESTA SUBRUTINA CALCULA LOS COEFICIENTES DE LA SERIE DE FOURIER
C****** EN DOS DIMENSIONES A LA SUPERFICIE DE LA INTENSIDAD TOTAL  DE
C****** CAMPO PARA LA " REDUCCION AL POLO ".
      COMMON SK(100),SL(100),VERTF(100,88),A(55,45),B(55,45),C(55,45)
     1,D(55,45),KXN,LYE,MA,NA)
C****** LOS INDICES DE LAS ARMONICAS.
      FKL=1./(KXN*LYE)
      DO 60 M=1,MMM
      MA=M-1
      NN=1
      IF(M.EQ.1) NN=2
      DO 59 N=NN,NNN
      NA=N-1
C****** EL COEFICIENTE ES UN FACTOR DE PESO PARA UNA ARMONICA PARTICULAR.
      IF(M.NE.1.AND.M.NE.MMM) GO TO 10
      IF(N.NE.1.AND.N.NE.NNN) GO TO 20
      COEFF=FKL
      GO TO 40
   10 IF(N.NE.1.AND.N.NE.NNN) GO TO 30
   20 COEFF=2.*FKL
      GO TO 40
   30 COEFF=4.*FKL
   40 CONTINUE
      ALPH1=0.
      BETA1=0.
      GAMA1=0.
      DELT1=0.
C******                  COMENTARIOS
C****** LA COMBINACION DE KM=-MA+1  Y  KM=KM+MA ES EQUIVALENTE A :
C*      KM=(I-1)*MA+1.SIMILARMENTE PARA KN.
      KM=-MA+1
      DO 50 I=1,KXN
      KM=KM+MA
      MSINE=ABS(KM-((KM-1)/KXN)*KXN)
      KC=KM+K4
      MCOSI=ABS(KC-((KC-1)/KXN)*KXN)
      KN=-NA+1
      AL=0.
      GA=0.
      DO 49 J=1,LYE
      KN=KN+NA
      NSINE=ABS(KN-((KN-1)/LYE)*LYE)
      KC=KN+L4
      RVERT=VERTF(I,J)
      AL=AL+RVERT*SL(NCOSI)
      NCOSI=ABS(KC-((KC-1)/LYE)*LYE)
      GA=GA+RVERT*SL(NSINE)
   49 CONTINUE
      ALPH1=ALPH1+SK(MCOSI)*AL
      BETA1=BETA1+SK(MSINE)*AL
      GAMA1=GAMA1+SK(MCOSI)*GA
      DELT1=DELT1+SK(MSINE)*GA
   50 CONTINUE
C******                  COMENTARIOS
C****** LAS SUMAS Y DIFERENCIAS DE LOS COEFICIENTES SON TOMADAS
C****** COMO LAS CANTIDADES USADA EN LA RUTINA DE REDUCCION.
      PRINT*//,COEFF
      A(M,N)=COEFF*(ALPH1+DELT1)
      B(M,N)=COEFF*(BETA1+GAMA1)
      C(M,N)=COEFF*(ALPH1-DELT1)
      D(M,N)=COEFF*(BETA1-GAMA1)
   59 CONTINUE
   60 CONTINUE
      RETURN
      END
C******                    N    I    C    I    O.
C****** INICIO DE LA SUBRUTINA  "VETIC".
C****** ESTA SUBRUTINA EJECUTA LA REDUCCION AL POLO DE ACUERDO CON
C****** BHATTACHARYYA,GEOPHYSICS,VOL.30,N.5,1965,P.829.
C****** LA POLARIZACION SE ASUME EN LA DIRECCION DEL CAMPO INDUCIDO
C****** EL CAMPO VERTICAL ES COMPUTADO SOBRE EL MISMO PLANO,TAL COMO
```

```
C******EL CAMPO OBSERVADO.
C******EL CAMPO INDUCIDO NO PUEDE SER HORIZONTAL.
C******
C******
      SUBROUTINE VRTIC(KXN,LYE,MMM,NNN,K4,L4)
C******
      COMMON XK(103),YL(13),VERTF(103,35),A(55,45),B(55,45),C(55,45),
     1D(55,45),DELTA,TI,TD,TI,TD
C******A CONTINUACION SE CALCULAN LOS PARAMETROS CONSTANTES.
      CONP=3.1415927/180.
      SCONP=1./SIN(CONP)
      COTAN=COS(CONP)*SCONP
      COEFF=0.5*(SCONP*SCONP)
      COEFM=6.2831853/(KXN*DELTA)
      COEFN=6.2831853/(LYE*DELTA)
      SDEC=SIN(TD)*COEFM*COTAN
      CDEC=COS(TD)*COEFN*COTAN
      PKN=-COEFN
      SDKN=-SDEC
      DO 20 N=1,NNN
      PKN=PKN+COEFN
      SDKN=SDKN+SDEC
      PKNSQ=PKN*PKN
      PKM=-COEFM
      CDKM=-CDEC
      MM=1
      IF(N.NE.1) GO TO 30
      PKM=PKM+COEFM
      CDKM=CDKM+CDEC
      MM=2
   30 CONTINUE
      DO 19 M=MM,MMM
      PKM=PKM+COEFM
      CDKM=CDKM+CDEC
      PSI3=CDKM+SDKN
      PSI4=CDKM-SDKN
      PMNSQ=PKM*PKM+PKNSQ
      PMN2=SQRT(PMNSQ)
      PMN2=PMN2+PMN2
      PS3SQ=PSI3*PSI3
      PS4SQ=PSI4*PSI4
      PDN3=PMNSQ+PS3SQ
      PDN3=PMNSQ/(PDN3*PDN3)
      PNM3=PDN3*(PMNSQ-PS3SQ)
      PDN4=PMNSQ+PS4SQ
      PDN4=PMNSQ/(PDN4*PDN4)
      SI3P=PMN2*PSI3*PDN3
      SI4P=PMN2*PSI4*PDN4
      ADPLS=A(M,N)
      ADMI=C(M,N)
      BCPLS=B(M,N)
      BCMI=D(M,N)
      A(M,N)=PNM3*ADMI+SI3P*BCPLS
      B(M,N)=-SI3P*ADMI+PNM3*BCPLS
      C(M,N)=PNM4*ADPLS+SI4P*BCMI
      D(M,N)=-SI4P*ADPLS+PNM4*BCMI
   19 CONTINUE
   20 CONTINUE
C******
C******                   COMENTARIOS ******
C******A PARTIR DE LA SECUENCIA******SE CALCULA LA LOCALIZACION E LA
C******  TABLA TRIGONOMETRICA Y EJECUTA LA REDUCCION AL POLO PARA CADA
C******   PUNTO DE LA REJILLA.
      DO 60 J=1,LYE
      JA=J-1
      DO 59 I=1,KXN
      IA=I-1
      SUM3=0.
      KI=-IA+1
      DO 50 M=1,MMM
      KI=KI+IA
C******
C******EJECUCIONES TALES COMO LAS SIGUIENTES DAN LOS PERIODOS ENTEROS
C******    DE LA FUNCION.
```

```
C*****
      NSINE=KI-((KI-1)/KXN)*KXN
      KC=KI+K4
      NCOSI=KC-((KC-1)/KXN)*KXN
      KJ=-JA+1
      SUM1=0.
      SUM2=0.
      JA=1
      IF(M.NE.1) GO TO 70
      JA=2
      KJ=KJ+JA
   70 CONTINUE
      DO 49 N=N1,NN1
      KJ=KJ+JA
      NSINE=KJ-((KJ-1)/LYC)*LYC
      KC=KJ+L4
      NCOSI=KC-((KC-1)/LYC)*LYC
      SUM1=SUM1+(A(M,N)+C(M,N))*SL(NCOSI)+(B(M,N)-D(M,N))*SL(NSINE)
      SUM2=SUM2+(B(M,N)+D(M,N))*SL(NCOSI)+(C(M,N)-A(M,N))*SL(NSINE)
   49 CONTINUE
      SUM3=SUM3+SUM1*SK(NCOSI)+SUM2*SK(NSINE)
   50 CONTINUE
      VERTF(I,J)=COEFF*SUM3
   59 CONTINUE
   60 CONTINUE
      RETURN
      END
C*****
C*****                              COMENTA
C*****LA SIGUIENTE SUBRUTINA IMPRIME UN ARREGLO BIDIMENSIONAL.
C*****EL ARREGLO POR IMPRIMIR ES EL FORMADO POR LOS VALORES DE LA
C*****INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNETICO TOTAL REDUCIDO AL POLO.
C*****                              COMENTA
      SUBROUTINE PRINT(A,N,IN,N1,M1)
      DIMENSION A(N1,M1)
      WRITE(6,2000) (I,I=1,IN)
      DO 101 J=1,N
      WRITE(6,2001)  (J,(A(J,K),K=1,IN))
  101 CONTINUE
 2000 FORMAT(1H0,2X,10(9X,I2))
 2001 FORMAT(1H0,I2,10(2X,F9.3))
      RETURN
      END
```

```
C*                    IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*                    I           U.N.A.M          I
C*                    I   FACULTAD DE INGENIERIA   I
C*                    I DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA I
C*                    I     SECCION GEOFISICA      I
C*                    I    TESIS PROFESIONAL       I
C*                    I PRESENTADA POR EL ALUMNO:  I
C*                    I  ROGELIO RAMOS CARRANZA    I
C*                    I   NOMBRE DEL PROGRAMA:     I
C*                    I          "ACMC"            I
C*                    IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*
C*    PROGRAMA ACMC:
C*
C*              ESTE PROGRAMA CALCULA LOS COEFICIENTES DEL AJUSTE
C*              CUBICO POR MINIMOS CUADRADOS PARA UNA SERIE DE DA-
C*              TOS EN TERMINOS DE FUNCIONES ORTOGONALES.
C*
C*              LOS DATOS PARA LA EJECUCION DE ESTE PROGRAMA SON:
C*
C*               FORM      = ENTREGA DEL FORMATO PARA LOS DATOS.
C*               (X,Y)     = PUNTOS DATO(SI X=999. ESTO INDICA EL
C*                           FIN DE LOS PUNTOS DATO).
C*               BOUND(J)  = VALOR DE LAS REGIONES Y SU INDICE DA
C*                           EL NUMERO DE ESTAS.
C*               SI :
C*
C*               BOUND(1)=999.   DIVIDE LOS DATOS EN UN NUMERO DE
C*                               REGIONES ESPECIFICAS.
C*               BOUND(1)=-999.  DIVIDE LOS DATOS EN GRUPOS DE -
C*                               PUNTOS IRREGULARES.
C*
C*               SI EL NUMERO DE REGIONES ES CERO DA FIN EL PROCE-
C*               SO.
C*
C*             EL PROGRAMA ESTA HECHO PARA MANEJAR 300 PUNTOS DATO
C*             LOS QUE PUEDEN SER DIVIDIDOS EN UN MAXIMO DE 10 RE-
C*             GIONES.
C*
      INTEGER REGION
      COMMON  X(300,10),Y(300),BOUND(11),N(11),A(169),B(13)
      COMMON COEF(10,4),FORM(3),YAVG(10),C(3,11)
      DIMENSION XLIM(2),YLIM(2),DYLIM(2),TITLE(3),XLABEL(2),YLABEL(2)
      DIMENSION PXLIM(2),PYLIM(2),PTITLE(3),PXLAB(2),PYLAB(2)
      DIMENSION XTEMP(10)
C*
C*    LECTURA DEL FORMATO DE ENTRADA DE LOS DATOS.
C*
      READ(5,10) FORM
   10 FORMAT(3A10)
C*
C*    LECTURA DE LOS DATOS.
C*
      NT=1
    5 READ(5,FORM) X(NT,2),Y(NT)
      NT=NT+1
      IF(X(NT-1,2).NE.999.) GO TO 5
      NT = NT-2
C*
```

```
C*      LECTURA DE LOS VALORES-X EN LAS REGIONES
C*      (INCLUYENDO VALORES INICIAL Y FINAL)
C*
        IJ=0
   35   READ(5,20) IREG,(BOUND(J),J=1,IREG)
   20   FORMAT(1X,I4,7F11.3/ 4F10.3)
        IF(IREG.LT.1) GO TO 45
        REGION=IREG-1
        IJ=IJ+1
C*
C*      SI BOUND(1)=999.   DIVIDE LOS DATOS ENTRE UN NUMERO
C*      ESPECIFICO DE REGIONES.
C*      SI BOUND(1)=-999.  DIVIDE LOS DATOS  EN  GRUPOS  DE
C*      PUNTOS IRREGULARES.
C*
        IF(BOUND(1).NE.999.) GO TO15
        IREG=IREG+1
        REGION=REGION+1
        DX=(X(NT,2)-X(1,2))/FLOAT(REGION)
        DO 21 J=1,IREG
        BOUND(J)=DX*FLOAT(J-1)+X(1,2)
   21   CONTINUE
C*
C*      CALCULA EL INDICE AL INICIO DE CADA REGION.
C*
   15   IF(BOUND(1).NE.-999.) GO TO 25
        J=0
        DO 201 I=1,NT,IREG
        J=J+1
        N(J)=I
        BOUND(J)=X(I,2)
  201   CONTINUE
        N(J)=NT+1
        BOUND(J)=X(NT,2)
        IREG=J
        REGION=J-1
        GO TO12
   25   J=2
        N(1)=1
        DO 31 I=1,NT
        IF(X(I,2).LE.BOUND(J)) GO TO 31
        N(J)=I
        J=J+1
   31   CONTINUE
        N(IREG)=NT+1
C*
C*      SALIDA DE VALORES QUE ESTAN SIENDO USADOS EN ESTE CASO.
C*
   12   DO 111 J=1,REGION
        NP=N(J+1)-N(J)
        WRITE(6,30) J,NP,BOUND(J),BOUND(J+1)
   30   FORMAT(1H1,///,20X,"REGION= ",I3,20X,I3,"VALUES",20X,
       1   "BOUNDARIES ARE= ",2G12.4,//)
        NI=N(J)
        NF=N(J+1)-1
        WRITE(6,40) (X(I,2),Y(I),I=NI,NF)
   40   FORMAT(5X,F14.3,F12.4)
  111   CONTINUE
C*
C*      ESCALA LOS DATOS PARA EL RANGO DE +1 A -1 Y CALCULA
C*      TRES POLINOMIOS ORTOGONALES DE MAS BAJO ORDEN.
C*
        SCALE=2.0/(X(NT,2)-X(1,2))
        ORIG=X(1,2)
        DO 11 I=1,NT
        X(I,1)=1.0
        X(I,2)=(X(I,2)-ORIG)*SCALE-1.0
        X(I,3)=POLY(X(I,2),2,0)
   11   CONTINUE
C*
C*      CALCULA LAS REGIONES ESCALADAS Y LAS CONSTANTES
C*      REQUERIDAS EN ESOS PUNTOS.
C*
```

```
      DO 121 J=1,NREG
      BOUND(J)=(BOUND(J)-BIAS)*SCALE-1.0
      B(J)=BOUND(J)
      B1=B(J)
      C(3,J)=POLY(B1,3,2)/POLY(B1,2,2)
      C(2,J)=(POLY(B1,3,1)-POLY(B1,2,1)*C(3,J))/POLY(B1,1,1)
      C(1,J)=(POLY(B1,3,0)-POLY(B1,2,0)*C(3,J)-POLY(B1,1,0)*C(2,J))/
     1   POLY(B1,0,0)
  121 CONTINUE
      C(1,1)=0.0
      C(2,1)=0.0
      C(3,1)=0.0
C*
C*    CALCULA LOS VALORES QUE DEBEN SER SUMADOS EN LA
C*    MATRIZ DE COEFICIENTES.
C*
      NO=3+REGION
      DO 41 K=4,NO
      KK=K-3
      DO 41 J=1,REGION
      NI=N(J)
      NF=N(J+1)-1
      A(J)=1.0
      IF(J.NE.KK) A(J)=0.0
      DO 41 I=NI,NF
      IF(J.LT.KK) X(I,K)=0.0
      IF(J.LT.KK) GO TO41
      X(I,K)=POLY(X(I,2),3,0)*A(I)
      DO 191 L=1,3
      X(I,K)=X(I,K)+POLY(X(I,2),L-1,0)*((1.0-A(L))*C(L,K-2)-C(L,K-3))
  191 CONTINUE
   41 CONTINUE
C*
C*    CALCULA LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES.
C*
      DO 61 K=1,NO
      DO 61 KK=K,NO
      IND=KK+(K-1)*NO
      A(IND)=0.0
      B(K)=0.0
      DO 51 J=1,REGION
      NI=N(J)
      NF=N(J+1)-1
      DO 51 I=NI,NF
      WX=1.0
      A(IND)=X(I,K)*X(I,KK)*WX+A(IND)
      B(K)=Y(I)*X(I,K)*WX+B(K)
   51 CONTINUE
      A(K+(KK-1)*NO )=A(IND)
   61 CONTINUE
C*
C*    INVIERTE LA MATRIZ "A".
C*
      DO 171 J=1,NO
  171 CONTINUE
      EPS=1.0E-7
      CALL MINV(A,B,N,N1,DET)
      IF(IER.NE.0)  WRITE(6,50) IER
   50 FORMAT(//,50X,"ERROR IN GELG, ERROR CODE= ",I3)
C*
C*    CALCULA LOS COEFICIENTES DEL AJUSTE ("SPLINE").
C*
      DO 71 I=1,4
      COEF(1,I)=B(I)
   71 CONTINUE
      DO 81 J=1,REGION
      COEF(J,4)=B(J+3)
      B(J)=COEF(J-1,4)-COEF(J,4)
      COEF(J,3)=COEF(J-1,3)+B(J)*C(3,J)
      COEF(J,2)=COEF(J-1,2)+B(J)*C(2,J)
      COEF(J,1)=COEF(J-1,1)+B(J)*C(1,J)
   81 CONTINUE
C*
```

```
C*
C*     IMPRIME LA SALIDA DE LOS COEFICIENTES DEL, AJUSTE(SPLINE)
      WRITE(6,70)
   70 FORMAT(1H1,///,31X,"COEFFICIENTS OF LEAST SQUARES CUBIC SPLINES")
      WRITE(6,30) (J,(COEF(J,I),I=1,4),J=1,REGION)
   30 FORMAT(///,10(20X,"REGION= ",I3,4E15.4,/))
      WRITE(6,60) ORIG,SCALE
   60 FORMAT(///,"THE ABOVE COEFFICIENTS ARE DEFINED FOR THE RANGE"
     1 ,"+1.0 TO -1.0",//,"TO USE THE ABOVE COEFFICIENTS, X MUST BE",
     2 "SET TO FOLLOWING EQUATION",////,20X,"X = (X-",
     3 "E11.4,")",E11.4,"-1.0")
C*
C*     CALCULA LOS VALORES DE "Y" A PARTIR DEL AJUSTE CUBICO.
C*
      DO 91 J=1,REGION
      NI=N(J)
      NF=N(J+1)-1
      DO 91 I=NI,NF
      X(I,1)=0.0
      DO 91 K=1,4
      X(I,1)=X(I,1)+COEF(J,K)*POLY(X(I,2),K-1,0)
   91 CONTINUE
C*
C*     CALCULA LA DERIVADA DEL AJUSTE Y SUMA "Y" EN CADA REGION.
C*
      DO 101 J=1,REGION
      NI=N(J)
      NF=N(J+1)-1
      YAVG(J)=0.0
      DO 101 I=NI,NF
      X(I,3)=0.0
      XTEMP(I)=X(I,2)
      X(I,2)=(X(I,2)+1.0)/SCALE+ORIG
      YAVG(J)=YAVG(J)+Y(I)
      DO 101 K=2,4
      X(I,3)=X(I,3)+COEF(J,K)*POLY(XTEMP(I),K-1,1)*SCALE
  101 CONTINUE
C*
C*     CALCULA PROMEDIOS Y VALORES.
C*
      YTAVG=0.0
      DO 161 J=1,REGION
      YTAVG=YTAVG+YAVG(J)
      YAVG(J)=YAVG(J)/(N(J+1)-N(J))
  161 CONTINUE
      YTAVG=YTAVG/FLOAT(NT)
C*
C*             EFECTUA EL CALCULO DE:
C*                                      RESIDUOS.
C*                                      RESIDUOS AL CUADRADO.
C*                                      RESIDUOS MAXIMO Y MINIMO.
C*                                      TOTAL DE RESIDUOS AL CUADRADO.
C*
      YREST=0.0
      DO 131 J=1,REGION
      NI=N(J)
      NF=N(J+1)-1
      SUMTOT=0.0
      SUMRSQ=0.0
      RMIN=0.0
      RMAX=0.0
      DO 141 I=NI,NF
      X(I,4)=Y(I)-X(I,1)
      X(I,5)=X(I,4)*X(I,4)
      SUMRSQ=SUMRSQ+X(I,5)
      X(I,6)=(Y(I)-YTAVG)**2
      SUMTOT=SUMTOT+X(I,6)
      YREST=(YTAVG-Y(I))**2+YREST
      RMIN=AMIN1(X(I,4),RMIN)
      RMAX=AMAX1(X(I,4),RMAX)
  141 CONTINUE
      COEF(J,1)=RMIN
      COEF(J,2)=RMAX
```

```
      COEF(J,3)=SUMRSQ
      COEF(J,4)=SUMTOT
  131 CONTINUE
C*
C*    IMPRIME LA SALIDA DE VALORES DE LA FUNCION,
C*    DERIVADA Y RESIDUAL.
C*
      WRITE(6,90)
   90 FORMAT(1H1,//,20X,"X",20X,"Y",17X,"F(X)",13X,"F,(X)",
     /16X,"Y-F(X)",//)
      WRITE(6,100) (X(I,2),Y(I),X(I,1),X(I,3),X(I,4),I=1,NT)
  100 FORMAT(   10X,E15.4, 5X,E15.4,6X,E15.4,5X,F15.4,6X,E15.4)
C*
C*    CALCULO DE LA VARIANZA,DESVIACION ESTANDARD
C*    CORRELACION MULTIPLE,COEFICIENTE PARA CADA
C*    REGION AL CUADRADO,RESIDUOS MAXIMO Y MINIMO
C*    PARA LA MUESTRA DE DATOS COMPLETA  Y  LOS
C*    RESIDUOS TOTALES.
C*
      WRITE(6,110)
  110 FORMAT(1H1,//,4X,"REGION",T15,"VARIANCE",T27,"STANDARD DEV",T43,
     1 "COR COF SQUARED",T65,"SUM OF SQUARES",T80,"RESIDUAL SQUARES",
     2 T100,"MIN RESIDUAL",T116,"MAX RESIDUAL",/)
      SUMRSQ=0.0
      RMIN=0.0
      RMAX=0.0
      DO 151 J=1,REGION
      RMIN=AMIN1(RMIN,COEF(J,1))
      RMAX=AMAX1(RMAX,COEF(J,2))
      XN=N(J+1)-N(J)
      VAR=COEF(J,3)/(XN-4.0)
      STDEV=SQRT(ABS(VAR))
      R2=1.0-COEF(J,3)/COEF(J,4)
      SUMRSQ=SUMRSQ+COEF(J,3)
      WRITE(6,120) J,VAR,STDEV,R2,COEF(J,4),COEF(J,3),COEF(J,1)
     1,COEF(J,2)
  120 FORMAT(T7,I2,T15,F8.3,T29,F7.3,T47,F7.5,T65,F10.3,T82,F10.3,
     1T101,F8.3,T117,F8.3)
  151 CONTINUE
C*
C*    CALCULA LA VARIANZA,DESVIACION ESTANDARD,
C*    CORRELACION MULTIPLE,LOS COEFICIENTES PARA
C*    LA MUSTRA COMPLETA DE DATOS AL CUADRADO.
C*
      VAR=SUMRSQ/(FLOAT(NT)-REGION*4.0)
      STDEV=SQRT(ABS(VAR))
      R2=1.0-SUMRSQ/YREST
      WRITE(6,130) VAR,STDEV,R2,YREST,SUMRSQ,RMIN,RMAX
  130 FORMAT(/,4X,"TOTAL",T15,F7.3,T30,F6.3,T47,F7.5,
     1 T65,F10.3,T83,F9.3,T101,F8.3,T117,F8.3)
   45 CALL EXIT
      END
C*    I  N  I  C  I  O    DE   LA   FUNCION " POLY " .
C*
C*    ESTA FUNCION CALCULA LOS POLINOMIOS DE
C*    LEGENDRE,LA PRIMERA Y SEGUNDA DERIVADAS
C*    PARA TERCER ORDEN.
C*
C*
C*
      FUNCTION POLY(X,NN,I)
      N=NN
      IF(N.GT.3.OR.N.LT.0) GO TO 35
      IF(I-1)5,15,25
    5 N=N+1
      GO TO(1,2,3,4),N
    1 POLY=1.0
      RETURN
    2 POLY=X
      RETURN
    3 POLY=1.5*X*X-0.5
      RETURN
    4 POLY=2.5*X*X*X-1.5*X
```

```
      RETURN
   15 N=N+1
      GO TO (6,7,8,9),N
    6 POLY=0.0
      RETURN
    7 POLY=1.0
      RETURN
    8 POLY=3.0*X
      RETURN
    9 POLY=7.5*X*X-1.5
      RETURN
   25 N=N+1
      GO TO (12,12,13,14),N
   12 POLY=0.0
      RETURN
   13 POLY=3.0
      RETURN
   14 POLY=15.0*X
      RETURN
   35 WRITE(6,10) N
   10 FORMAT(///,20X,"ERROR IN POLY N= ",I4)
      RETURN
      END
C*    INICIO DE LA SUBRUTINA MINV.
C*
C*    SUBRUTINA MINV:
C*                     INVIERTE UNA MATRIZ "A" EN LA CUAL "B" ES LA
C*                     INVERSA,MIENTRAS QUE "A" ORIGINAL ES REDUCI-
C*                     A LA MATRIZ IDENTIDAD.LAS MATRICES "A" Y "B"
C*                     SON DE ORDEN "N".
C*                     DET ES EL DETERMINANTE DE LA MATRIZ "A".
C*
      SUBROUTINE MINV(A,B,N,N1,DET)
      DIMENSION A(N1,N1),B(N1,N1)
C*
C*     HACE A "B" LA MATRIZ IDENTIDAD Y GUARDA
C*     A LA MATRIZ ORIGINAL "A".
C*
      DO 100 I=1,N
      DO 101 J=1,N
  101 CONTINUE
      B(I,I)=1.0
  100 CONTINUE
      DET=1.0
C*
C*     CALCULO DE LA INVERSA
C*
      DO 102 I=1,N
C*
C*     DIVIDE EL I-ESIMO RENGLON DE "A" Y "B" POR A(I,I)
C*
      DIV=A(I,I)
      DET=DET*DIV
      DO 103 J=1,N
      A(I,J)=A(I,J)/DIV
       B(I,J)=B(I,J)/DIV
  103 CONTINUE
C*
C*     REDUCE LA I-ESIMA COLUMNA DE "A" A CERO
C*
      DO 104 J=1,N
      IF(I-J)1,104,1
    1 RATIO=A(J,I)
      DO 105 K=1,N
      A(J,K)=A(J,K)-RATIO*A(I,K)
      B(J,K)=B(J,K)-RATIO*B(I,K)
  105 CONTINUE
  104 CONTINUE
  102 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
C*                     IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*                     I                                 I
C*                     I             U.N.A.M             I
C*                     I                                 I
C*                     I       FACULTAD DE INGENIERIA    I
C*                     I                                 I
C*                     I  DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA I
C*                     I                                 I
C*                     I        SECCION  GEOFISICA       I
C*                     I                                 I
C*                     I        TESIS  PROFESIONAL       I
C*                     I                                 I
C*                     I    PRESENTADA POR EL ALUMNO:    I
C*                     I                                 I
C*                     I      ROGELIO RAMOS CARRANZA     I
C*                     I                                 I
C*                     I      NOMBRE DEL PROGRAMA:       I
C*                     I                                 I
C*                     I            "DIPOLO"             I
C*                     I                                 I
C*                     IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*
C*
C*    PROGRAMA "D  I  P  O  L  O"
C*
C*              ESTE PROGRAMA REALIZA EL CALCULO DE LOS VALORES
C*              DE CAMPO-TOTAL Y LA COMPONENTE MAGNETICA PARA -
C*              EL CASO DE UN PUNTO DIPOLO.
C*
C*    I  N  I  C  I  O:
C*
      REAL INC
      DIMENSION HX(32,32),HY(32,32),HZ(32,32)
      DIMENSION TOT(32,32)
   69 READ 1,H,DEC,INC,TDEC,TINC
    1 FORMAT(5F10.3)
      PRINT 7,H,DEC,INC,TDEC,TINC
    7 FORMAT(1X,5F10.3)
      PI=3.1415927
      DEC=DEC*PI/180.
      INC=INC*PI/180.
      P=COS(INC)*COS(DEC)
      Q=COS(INC)*SIN(DEC)
      R=SIN(INC)
      TDEC=TDEC*PI/180.
      TINC=TINC*PI/180.
      PP=COS(TINC)*COS(TDEC)
      QQ=COS(TINC)*SIN(TDEC)
      RR=SIN(TINC)
      Z=0.
      DO 50 N=1,32
      Y=N-17
      DO 100 M=1,32
      X=M-17
      R2=(X*X+Y*Y+(Z-H)*(Z-H))
      RO=SQRT(R2)
      R5=RO**5.
      XYZ=P*X+Q*Y+R*(Z-H)
      HXX=3.*X*XYZ-P*R2
      HX(M,N)=HXX1R5
      HYY=3.*Y*XY9-Q*R2
      HY(M,N)=HYY/R5
      HZZ=3.*(Z-H)*XYZ-R*R2
      TT=PP*TX+QQ*TY+RR*TZ
      HZ(M,N)=HZZ/R5
      TOT(M,N)=TT
  100 CONTINUE
   50 CONTINUE
      WRITE(6,/) TOT,HX,HY,HZ
      CALL EXIT
      END
```

```
C*                      IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*                      I                               I
C*                      I            U.N.A.M            I
C*                      I                               I
C*                      I      FACULTAD DE INGENIERIA   I
C*                      I                               I
C*                      I  DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA I
C*                      I                               I
C*                      I        SECCION  GEOFISICA     I
C*                      I                               I
C*                      I        TESIS  PROFESIONAL     I
C*                      I                               I
C*                      I   PRESENTADA POR EL ALUMNO:   I
C*                      I                               I
C*                      I     ROGELIO RAMOS CARRANZA    I
C*                      I                               I
C*                      I      NOMBRE DEL PROGRAMA:     I
C*                      I                               I
C*                      I            "LINEDP"           I
C*                      I                               I
C*                      IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*
C*
C*    PROGRAMA "L  I  N  E  D  P".
C*
C*                ESTE PROGRAMA REALIZA EL CALCULO DE LOS VALORES
C*                EXACTOS DE CAMPO TOTAL Y COMPONENTES MAGNETICAS
C*                PARA EL CASO DE UNA LINEA DE DIPOLOS.
C*
C*    I  N  I  C  I  O :
C*
      REAL INC
      DIMENSION HX(32,32),HY(32,32),HZ(32,32)
      DIMENSION TOT(32,32)
   69 READ 1,A,HH,DEC,INC,TDEC,TINC
    1 FORMAT(6F10.3)
      PRINT 7,A,HH,DEC,INC,TDEC,TINC
    7 FORMAT(1X,6F10.1)
      PI=3.1415927
      DEC=DEC*PI/180.
      INC=INC*PI/180.
      U=COS(INC)*COS(DEC)
      V=COS(INC)*SIN(DEC)
      W=SIN(INC)
      TDEC=TDEC*PI/180.
      TINC=TINC*PI/180.
      PP=COS(TINC)*COS(TDEC)
      QQ=COS(TINC)*SIN(TDEC)
      RR=SIN(TINC)
      Z2=0.
      Z=Z2-HH
      DO 50 N=1,32
      Y=N-17
      DO 100 M=1,32
      X=M-17
      YZ=Y**2+Z**2
      RQ=SQRT((X-A)**2+YZ)
      RP=SQRT((X+A)**2+YZ)
      S=W*Z/YZ
      RP3=RP**3
      RM3=RQ**3
      TX=(U*(X-A)+V*Y+W*Z)/RM3-(U*(X+A)+V*Y+W*Z)/RP3
      TY=Y*(U*(1./RM3-1./RP3)-S*((X-A)/RM3-(X+A)/RP3))-
     $(V-2.*Y*S)*((X+A)/RP-(X-A)/RQ)/YZ
      TZ=Z*(U*(1./RM3-1./RP3)-S*((X-A)/RM3-(X+A)/RP3))-
     $(W-2.*Z*S)*((X+A)/RP-(X-A)/RQ)/YZ
      HX(M,N)=TX
      HY(M,N)=TY
      HZ(M,N)=TZ
      TT=PP*TX+QQ*TY+RR*TZ
      TOT(M,N)=TT
  100 CONTINUE
   50 CONTINUE
```

```
WRITE(6,/) HX,HY,HZ
WRITE(6,/) ((TOT(M,N),N=1,32),M=1,32)
CALL EXIT
END
```

```
C*                       IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*                       I                               I
C*                       I            U.N.A.M            I
C*                       I                               I
C*                       I     FACULTAD DE INGENIERIA     I
C*                       I                               I
C*                       I  DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA I
C*                       I                               I
C*                       I       SECCION  GEOFISICA       I
C*                       I                               I
C*                       I       TESIS  PROFESIONAL       I
C*                       I                               I
C*                       I   PRESENTADA POR EL ALUMNO:    I
C*                       I                               I
C*                       I     ROGELIO RAMOS CARRANZA     I
C*                       I                               I
C*                       I      NOMBRE DEL PROGRAMA:      I
C*                       I                               I
C*                       I            "PRISMV"            I
C*                       I                               I
C*                       IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*
C*
C*    PROGRAMA "P  R  I  S  M  V".
C*
C*              ESTA PROGRAMA REALIZA EL CALCULO DE LOS VALORES
C*              EXACTOS DE CAMPO TOTAL Y COMPONENTES MAGNETICAS
C*              PARA EL CASO DE UN PRISMA VERTICAL INFINITO.
C*
C*    I  N  I  C  I  O :
      REAL INC
      DIMENSION HX(32,32),HY(32,32),HZ(32,32)
      DIMENSION TOT(32,32)
      DIMENSION GX(2,2,2),GY(2,2,2),GZ(2,2,2)
   69 READ 1,AO,BO,HT,HB,DEC,INC,TDEC,TINC
    1 FORMAT(8F10.3)
      PRINT 7,AO,BO,HT,HB,DEC,INC,TDEC,TINC
    7 FORMAT(1X,8F10.3)
      PI=3.1415927
      DEC=DEC*PI/180.
      INC=INC*PI/180.
      P=COS(INC)*COS(DEC)
      Q=COS(INC)*SIN(DEC)
      R=SIN(INC)
      TDEC=TDEC*PI/180.
      TINC=TINC*PI/180.
      PP=COS(TINC)*COS(TDEC)
      QQ=COS(TINC)*SIN(TDEC)
      RR=SIN(TINC)
      DO 50 N=1,32
      Y=N-17
      DO 100 M=1,32
      X=M-17
      A1=AO-X
      A2=-AO-X
      B1=BO-Y
      B2=-BO-Y
      DO 10 IC=1,2
      C=HT
      IF(IC.EQ.2) C=HB
      DO 10 IA=1,2
      A=A1
      IF(IA.EQ.2) A= A2
      DO 10 IB=1,2
      B=B1
      IF(IB.EQ.2) B=B2
      RO = SQRT(A**2+B**2+C**2)
      IF(A.EQ.0.) A=0.0000001
      IF(B.EQ.0.) B=0.0000001
      IF(C.EQ.0.) C=0.0000001
      TX1=ATAN2(B,A)
      UX=C*B
      VX=A*RO
```

```
      TX2=ATAN2(UX,VX)
      TL=TX1-TX2
      TY1=ATAN(A-B)
      UY=C*A
      VY=B*RO
      TY2=ATAN2(UY,VY)
      TM=TY1-TY2
      GAP=ALOG(RO+A)
      GAM=ALOG(RO-A)
      GBP=ALOG(RO+B)
      GBM=ALOG(RO-B)
      GCP=ALOG(RO+C)
      GX(IA,IB,IC)=-(P*TL+Q*GCP+R*(GBP-GBM)/2.)
      GY(IA,IB,IC)=-(Q*TM+GCP+R*(GAP-GAM)/2.)
      GZ(IA,IB,IC)=(R*(TL+TM)-P*(GBP-GBM)/2.-Q*(GAP-GAM)/2.)
   10 CONTINUE
      TX=GX(1,1,1)+GX(2,2,1)-GX(1,2,1)-GX(2,1,1)
     1-(GX(1,1,2)+GX(2,2,2)-GX(1,2,2)-GX(2,1,2))
      TY=GY(1,1,1)+GY(2,2,1)-GY(1,2,1)-GY(2,1,1)
     2-(GY(1,1,2)+GY(2,2,2)-GY(1,2,2)-GY(2,1,2))
      TZ=GZ(1,1,1)+GZ(2,2,1)-GZ(1,2,1)-GZ(2,1,1)
     3-(GZ(1,1,2)+GZ(2,2,2)-GZ(1,2,2)-GZ(2,1,2))
      HX(M,N)=TX
      HY(M,N)=TY
      HZ(M,N)=TZ
      TT=PP*TX+QQ*TY+RR*TZ
      TOT(M,N)=TT
  100 CONTINUE
   50 CONTINUE
      WRITE(6,/) TOT,HX,HY,HZ
      CALL EXIT
      END
```

```
C*           IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*           I                                  I
C*           I            U.N.A.M.              I
C*           I                                  I
C*           I     FACULTAD DE INGENIERIA       I
C*           I                                  I
C*           I  DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA  I
C*           I                                  I
C*           I       SECCION  GEOFISICA         I
C*           I                                  I
C*           I       TESIS  PROFESIONAL         I
C*           I                                  I
C*           I   PRESENTADA POR EL ALUMNO:      I
C*           I                                  I
C*           I    ROGELIO RAMOS CARRANZA        I
C*           I                                  I
C*           I     NOMBRE DEL PROGRAMA:         I
C*           I                                  I
C*           I          "FILTRO"                I
C*           IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*
      PROGRAMA   FILTRO :
C*
C*                          ESTE PROGRAMA PRINCIPAL ES UTILIZADO
C*                          PARA ALIMENTAR A LA SUBRUTINA CLISS
C*                          CUYO PROPOSITO ES DETERMINAR LOS COE
C*                          FICIENTES DE UN FILTRO PASA BANDAS -
C*                          DE CIERTAS CARACTERISTICAS DETERMINA
C*                          DAS POR LOS PARAMETROS DE ENTRADA.
C*
      DIMENSION SC(200),C(400),FORIG(30),FILT(30),CM(30,30)
C*
C*    PARAMETROS DE ENTRADA:
C*
      QR=2.
      M =10
      N1=(2*M)-1
      N2=N1*N1
C*
C*    SE INTRODUCE LA SENAL ORIGINAL = FORIG( 1,....,(2*M)-1 )
C*
      DATA FORIG/1.,2.,3.,4.,5.,6.,7.,8.,9.,10.,11.,12.,13.,14.,15.,16.,
     $ 17.,18.,19./
C*
C*    LLAMA A LA SUBRUTINA QUE CALCULA LOS COEFICIENTES DEL FILTRO
C*
      CALL CLISS(SC,QR,M,ZC,KC,NC,C)
      WRITE(6,/) (C(L),L=1,N2)
      DO 13 N=1,N2
      CALL LMATR(N,19,K,L)
      KAS=K
      LAS=L
      CM(KAS,LAS)=C(N)
   13 CONTINUE
      WRITE(6,/) ((CM(I,J),J=1,19),I=1,19)
      DO 15 I=1,19
      SUMAT=0.0
      DO 15 J=1,19
      SUMAT=SUMAT+CM(I,J)*FORIG(J)
      FILT(I)=SUMAT
   15 CONTINUE
      WRITE(6,/) (FILT(K),K=1,19)
      CALL EXIT
      END
C*                  INICIO DE LA SUBRUTINA "C L I S S".
C*    ESTA SUBRUTINA SE UTILIZA EN EL FILTRADO DE "SIGNALS"
C*    DE TIPO MAGNETICO BIDIMENSIONALES.
C*
      SUBROUTINE CLISS(SC,QR,M,ZC,KC,NC,C)
      DIMENSION C(200),SC(200)
      PRQ=3.14159265/QR
```

```
      NF=N-1
      SOM=0.
      DO 21 I=1,NF
      SC(I)=SIC((I-1)*PI)/N
   21 SOM=SOM+SC(I)
      SC(N)=(1.+SC(1))/2.-SOM
      KC=2*N-1
      NC=KC
      LC=KC*NC
      IC=(LC+1)/2
      SOM=0.
      DO 12 L=1,LC
      CALL LMATR(L,KC,K,M)
      KL=1+IABS(K-N)
      ML=1+IABS(M-N)
      C(L)=SC(KL)*SC(ML)
   12 SOM=SOM+C(L)
      RETURN
      END
C*
C*
C*    INICIO DEL SUBPROGRAMA DE FUNCION "SIC(X)".
      FUNCTION SIC(X)
      IF(ABS(X)-0.001)1,2,1
    1 SIC=1.-X*X/6.
      RETURN
    2 SIC=SIN(X)/X
      RETURN
      END
C*
C*
C*    INICIO DE LA SUBRUTINA "LMATR"
C*
C*    ESTA SUBRUTINA REEMPLAZA UN INDICE
C*    SIMPLE ""L" DE UNA MATRIZ ALINEADA
C*    "A(L)" POR UN PAR DE INDICES "I,J"
C*    DE LA MISMA MATRIZ BAJO LA FORMA -
C*    RECTANGULAR "A(I,J)" Y CUYO NUMERO
C*    DE COLUMNAS ES "LARG"
      SUBROUTINE LMATR(L,LARG,I,J)
       J=(L-1)/LARG+1
       I=L-(J-1)*LARG
       RETURN
       END
```

```
C*                     IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*                     I                               I
C*                     I            U.N.A.M            I
C*                     I                               I
C*                     I     FACULTAD DE INGENIERIA    I
C*                     I                               I
C*                     I  DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA I
C*                     I                               I
C*                     I       SECCION  GEOFISICA      I
C*                     I                               I
C*                     I       TESIS  PROFESIONAL      I
C*                     I                               I
C*                     I   PRESENTADA POR EL ALUMNO:   I
C*                     I                               I
C*                     I     ROGELIO RAMOS CARRANZA    I
C*                     I                               I
C*                     I      NOMBRE DEL PROGRAMA:     I
C*                     I                               I
C*                     I        "CONTINUACION"         I
C*                     I                               I
C*                     IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*
C*
C*     PROGRAMA "C O N T I N U A C I O N":
C*
C*              ESTE PROGRAMA PRINCIPAL ES REALIZADO CON EL FIN
C*              DE CALCULAR LOS COEFICIENTES PARA EL CALCULO DE
C*              LA CONTINUACION ANALITICA DE CAMPOS POTENCIALES
C*
      DIMENSION C(1000),CC(1000),W(10),CM(30,30)
C*
C*    PARAMETROS DE ENTRADA:
C*
     PROF=1000.
     M=15
     M1=(2*M)-1
     M2=M1*M1
     CALL COPROL(W,PROF,M,IC,KC,NC,CC,C)
     WRITE(6,/) (C(L),L=1,M2)
     DO 10 I=1,M2
     CALL LMATR(I,M1,M,N)
     MI=M
     NI=N
    CM(MI,NI)=C(I)
 10 CONTINUE
    WRITE(6,/) ((CM(M,N),N=1,M1),M=1,M1)
    CALL EXIT
    END
C*
C*    ESTA SUBRUTINA ES UTILIZADA EN EL CALCULO
C*    DE LA CONTINUACION DE CAMPO POTENCIAL.
C*
      SUBROUTINE COPROL(W,PROF,M,IC,KC,NC,CC,C)
      DIMENSION W(10),CC(2),C(2)
      COMMON/KNP/K,N,PRO
      PRO=PROF
      LM=(M*(M+1))/2
      DO 10 L=1,LM
      CALL LIJ(L,K,N)
      K=K-1
      N=N-1
   10 CALL ROMBER(W,-1.,1.,.1E-08,10,CC(L))
      KC=2*M-1
      NC=KC
      LC=KC*NC
      IC=(LC+1)/2
      DO 19 L=1,LC
      CALL LMATR(L,KC,I,J)
      LL=((IABS(I-M)+1)*IABS(I-M))/2+IABS(JM)+1
   19 C(L)=CC(LL)
      RETURN
      END
  *
```

```
C*
C*     INICIO DE LA SUBRUTINA "ROMBERG"
C*
C*     ESTE SUBPROGRAMA RESUELVE UNA INTEGRACION
C*     DE UNA FUNCION F(U),COMPRENDIDA ENTRE LOS
C*     LIMITES "A Y B" SEPARANDO EL SEGMENTO:
C*     B-A EN INTERVALOS CUYO VALOR NO DEBE EXCE
C*     DER A 2**MAX.
C*
       SUBROUTINE ROMBER(W,A,B,EPS,MAX,Y)
       DIMENSION W(10)
       H=B-A
       W(1)=(FUNC(A)+FUNC(B))*H/2.
       AW=W(1)
       M=1
       N=1
   201 N=N+1
       H=H/2.
       M=M*2
       SOM=W(N-1)/2.
       DO 20 I=1,M,2
    20 SOM=SOM+H*FUNC(A+I*H)
       W(N)=SOM
       C=1.
       DO 25 K=2,N
       C=C*4
       L=N-K+1
    25 W(L)=(C*W(L+1)-W(L))/(C-1)
       ERR=W(1)-AW
       AW=W(1)
       IF(ABS(ERR).GT.EPS.AND.N.LE.MAX) GO TO 201
       Y=W(1)
       RETURN
       END
C*
C*     INICIO DEL SUBPROGRAMA DE FUNCION "FUNC(U)"
C*
       FUNCTION FUNC(U)
       COMMON/KPN/K,N,PRO
       RE=-PRO*SQRT(1.+U*U)
       FUNC=CF(RE,K*U+N)+CF(RE,N*U+K)
       RETURN
       END
C*
C*     INICIO DEL SUBPROGRAMA DE FUNCION "CF".
C*
       FUNCTION CF(RE,TAU)
       COMPLEX X,FU
       X=3.14159265*CMPLX(RE,TAU)
       IF(CABS(X)-0.002)2,2,3
     2 FU=0.25+X/6.+X*X/16.
       GO TO 4
     3 FU=((1.-1./X)*CEXP(X)+1/X)*0.5/X
     4 CF=REAL(FU)
       RETURN
       END
C*
C*
C*
C*     INICIO DE LA SUBRUTINA "LIJ"
C*
C*     ESTA SUBRUTINA OPERA EN EL CASO DE UNA PARTE DE
C*     UNA MATRIZ TRIANGULAR A UNA MATRIZ CUADRADA SI
C*     METRICA CON RESPECTO A SUS EJES Y BISECTORES.
C*
       SUBROUTINE LIJ(L,I,J)
       I=0
       JB=L
     1 JA=JB
       I=I+1
       JB=JA-1
       IF(JB)2,2,1
     2 J=JA
```

```
       RETURN
       END
C*
C*     INICIO DE LA SUBRUTINA "LMATR".
C*
       SUBROUTINE LMATR(L,LARG,I,J)
      J=(L-1)/LARG+1
      I=L-(J-1)*LARG
      RETURN
      END
```

```
C*                              IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*                              I                                 I
C*                              I             U.N.A.M             I
C*                              I                                 I
C*                              I     FACULTAD DE INGENIERIA      I
C*                              I                                 I
C*                              I  DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA I
C*                              I                                 I
C*                              I       SECCION  GEOFISICA        I
C*                              I                                 I
C*                              I       TESIS  PROFESIONAL        I
C*                              I                                 I
C*                              I    PRESENTADA POR EL ALUMNO:    I
C*                              I                                 I
C*                              I     ROGELIO RAMOS CARRANZA      I
C*                              I                                 I
C*                              I      NOMBRE DEL PROGRAMA:       I
C*                              I                                 I
C*                              I            "DERVER"             I
C*                              I                                 I
C*                              IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*
C*
C*       PRROGRAMA  "D E R V E R":
C*                                 ESTE PROGRAMA SE REALIZA CON EL FIN DE
C*                                 ALIMENTAR A LA SUBRUTINA "CODR" QUE  -
C*                                 EFECTUA EL CALCULO DE LA DERIVADA VER-
C*                                 TICAL DE UNA SENIAL GEOFISICA.
C*
      DIMENSION C(200),W(10),CM(30,30)
C*
C*       PARAMETROS DE ENTRADA:
C*
      M=10
      EPS=0.1E-08
      MAX=10
       M1=(2*M)-1
       M2=M1*M1
C*
C*       LLAMA A LA SUBRUTINA QUE EFECTUA EL CALCULO DE LA DERIVADA:
C*
      CALL CODR(W,EPS,MAX,IC,KC,NC,C,M)
      WRITE(6,/) (C(M),M=1,M2)
      DO 10 I=1,M2
      CALL LMATR(I,19,K,L)
       KM=K
      LM=L
      CM(KM,LM)=C(I)
   10 CONTINUE
      WRITE(6,/) ((CM(I,J),J=1,19),I=1,19)
      CALL EXIT
      END
C*       INICIO DE LA SUBRUTINA "C  O  D  R".
C*
C*       ESTA SUBRUTINA REALIZA EL CALCULO DE
C*       LA DERIVADA VERTICAL PARA UNA SENIAL
C*       GEOFISICA.
C*
       SUBROUTINE CODR(W,EPS,MAX,IC,KC,NC,C,M)
       DIMENSION C(200),W(10)
       COMMON CC(150)
       COMMON/OKN/K,N
       KC=2*M-1
       NC=KC
       LC=KC*NC
       IC=(LC+1)/2
       L=0
       DO 20 I=1,M
       K=I-1
       DO 20 J=1,I
       N=J-1
       L=L+1
   20  CALL ROMBER(W,-1.,+1.,EPS,MAX,CC(L))
```

```
      DO 30 L=1,LC
      CALL LMATR(L,KC,KO,NO)
      K=MAXO(IABS(M-KO),IABS(M-NO))+1
      N=MINO(IABS(M-KO),IABS(M-NO))+1
      LO=(K-1)*K/2+N
   30 C(L)=CC(LO)
      RETURN
      END
C*
C*    INICIO DE LA SUBRUTINA "ROMBERG".
C*
C*
      SUBROUTINE ROMBER(W,A,B,EPS,MAX,Y)
      DIMENSION W(10)
      H=B-A
      W(1)=(FUNC(A)+FUNC(B))*H/2.
      AW=W(1)
      M=1
      N=1
  201 N=N+1
      H=H/2.
      M=M*2
      SOM=W(N-1)/2.
      DO 20 I=1,M,2
   20 SOM=SOM+H*FUNC(A+I*H)
      W(N)=SOM
      C=1.
      DO 25 K=2,N
      C=C*4
      L=N-K+1
   25 W(L)=(C*W(L+1)-W(L))/(C-1)
      ERR=W(1)-AW
      AW=W(1)
      IF(ABS(ERR).GT.EPS.AND.N.LE.MAX) GO TO 201
      Y=W(1)
      RETURN
      END
C*
C*    INICIO DE LA FUNCION "FUNC(U)".
C*
C*
      FUNCTION FUNC(U)
      COMMON/OKN/K,N
      PI=3.14159265
      FUNC=PI*SQRT(1.+U*U)*(CGD(PI*(K+N*U))+CGD(PI*(K*U+N)))
      RETURN
      END
C*
C*    INICIO DE LA FUNCION "CGD".
C*
C*
      FUNCTION CGD(X)
      XX=X*X
      IF(XX-0.002)5,5,10
    5 CGD=1./6.-XX/20.+XX*XX/336.
      RETURN
   10 CGD=COS(X)/XX+(0.5-1./XX)*SIN(X)/X
      RETURN
      END
C*
C*    INICIO DE LA SUBRUTINA "LMATR".
C*
     SUBROUTINE LMATR(L,LARG,I,J)
     J=(L-1)/LARG+1
     I=L-(J-1)*LARG
     RETURN
     END
```

```
C*           IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*           I                                    I
C*           I              U.N.A.M.              I
C*           I                                    I
C*           I     FACULTAD DE INGENIERIA         I
C*           I                                    I
C*           I  DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA    I
C*           I                                    I
C*           I        SECCION  GEOFISICA          I
C*           I                                    I
C*           I       TESIS  PROFESIONAL           I
C*           I                                    I
C*           I   PRESENTADO POR EL ALUMNO:        I
C*           I                                    I
C*           I   ROGELIO RAMOS CARRANZA           I
C*           I                                    I
C*           I   NOMBRE DEL PROGRAMA:             I
C*           I                                    I
C*           I          "TALWANI"                 I
C*           I                                    I
C*           IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*    ESTE PROGRAMA CALCULA LA ANOMALIA MAGNETICA PRODUCIDA
C*    POR UN POLIGONO BIDIMENSIONAL UTILIZANDO EL METODO DE
C*    "TALWANI".
C*
C*    SIMBOLOS                      SIGNIFICADO
C*       A          :      ANGULO [illegible] VECTOR DE MAGNETIZACION
C*                         [illegible] EN GRADOS, DESCENDENTE DESDE EL
C*                         PLANO HORIZONTAL E IGUAL A 1 PARA LA -
C*                         [illegible]ZACION [illegible].
C*       B          :      [illegible] HORIZONTAL DEL
C*                         [illegible] Y EL [illegible] GEO-
C*                         G[illegible], [illegible] EN EL SENTIDO DE LAS
C*                         [illegible] DEL RELOJ DESDE EL NORTE GEO
C*                         [illegible] EN GRADOS E IGUAL A "0" PARA -
C*                         [illegible]
C*       C          :      ANGULO [illegible] EJE POSITIVO "X" Y EL -
C*                         NORTE GEOGRAFICO, ES MEDIDO EN EL SENTIDO
C*                         DE LAS MANECILLAS DEL RELOJ A PARTIR DEL
C*                         [illegible], EN GRADOS.
C*       DIP        :      [illegible] "X" DEL CAMPO [illegible]
C*                         [illegible] Y ES POSITIVO EN EL [illegible]-
C*                         [illegible]
C*       F          :      [illegible] TOTAL O [illegible] DE
C*                         [illegible], (EN GAMMAS).
C*       SUS        :      [illegible] "K" (EN C.G.S.)
C*       AM         :      MAGNETIZACION "J" (EN C.G.S.) MULTIPLICADO
C*                         [illegible] (10.**5).
C*       COHS       :      [illegible] "Z" [illegible] PUNTOS DE
C*                         [illegible] DE LAS [illegible] DE LAS ES-
C*                         [illegible] DEL CUERPO [illegible]
C*                         [illegible] VARIABLE ES
C*                         [illegible]
C*       XXX,ZFE    :      [illegible] DEL CUERPO
C*                         [illegible] DEL PO-
C*                         [illegible] 2
C*                         [illegible]
C*       JTOT       :      [illegible] TOTAL DE [illegible] DEL CUERPO(VER
C*                         [illegible] PRIMERAS 2 VECES.
C*       FO         :      [illegible] "Z" [illegible] PUNTOS DEL CAMPO.
C*       DELX       :      [illegible] VALOR DE "X" DE PUNTOS
C*                         DEL CAMPO.
C*       THETI,THETO :     [illegible] DEL CUERPO [illegible]
C*                         [illegible] "X".
C*       OMEGA      :      [illegible] DE LAS [illegible] DE LOS -
C*                         PUNTOS DE CAMPO.
C*
```

```
C*         K          :     NUMERACION PARA PUNTOS DE CAMPO CONSI -
C*                          DERADOS.
C*      KTOT          :     NUMERO TOTAL DE PUNTOS DEL CAMPO A SER
C*                          CALCULADOS.
C*PSUM(K),QSUM(K):          SUMA DE "P'S Y Q'S" PARA TODAS LAS CARAS
C*                          DEL PUNTO DE CAMPO "K".
C*         H          :     ANOMALIA HORIZONTAL EN LA DIRECCION DEL
C*                          EJE (+) DE "X" EN LOS PUNTOS DEL CAMPO
C*                          (EN GAMMAS).
C*         V          :     ANOMALIA VERTICAL EN LA DIRECCION (+)
C*                          DE "Z" (HACIA ABAJO), EN LOS PUNTOS DEL
C*                          CAMPO (EN GAMMAS).
C*         T          :     ANOMALIA DE INTENSIDAD TOTAL EN PUNTOS
C*                          DEL CAMPO (EN GAMMAS).
C*
C*
C*              INICIO:
C*
      DIMENSION FX(100),XX(200),ZZ(200),PSUM(100),QSUM(100),T(50)
 400  READ(5,/) KTOT,[illegible]
 401  READ(5,/) F[illegible]
 603  DO 604 K=1,KTOT
      [illegible]
      FX(K)=(F[illegible])[illegible]*KK
 604  CONTINUE
      I7=[illegible]
      READ(5,/) JTOT,[illegible]
      DO 11 J=1,JTOT
      WRITE(6,/) J,J[illegible]
      READ(5,/) XX(J),ZZ(J)
 11   CONTINUE
      DO 36 K=1,KTOT
      PSUM(K)=0.0
      QSUM(K)=0
      X1=XX(1)-FX(K)
      Z1=ZZ(1)-[illegible]
      [illegible]1=X1**2+Z1**2
      IF(X1)110,140,130
 110  IF(Z1)120,130,130
 120  [illegible](Z1/X1)-3.1415927
      GO TO 200
 130  [illegible](Z1/X1)+3.1415927
      GO TO 200
 140  IF(Z1)150,160,170
 150  [illegible]=-1.[illegible]
      GO TO 200
 160  [illegible]
 170  [illegible]=1.[illegible]
      GO TO 200
 180  [illegible](Z1/X1)
 200  J=2
 201  [illegible]XX(J)-[illegible]
      [illegible]ZZ(J)-[illegible]
      [illegible]
      IF(X2)210,240,[illegible]
 210  IF(Z2)220,[illegible]
 220  [illegible](Z2/X2)-3.1415927
      GO TO 300
 230  [illegible](Z2/X2)+3.1415927
      GO TO 300
 240  IF(Z2)250,260,270
 250  [illegible]-1.5707[illegible]
      GO TO 300
 260  [illegible]
      GO TO 300
 270  [illegible]=1.5707[illegible]
      GO TO 300
 280  [illegible](Z2/X2)
```

```
  300 IF(Z1.GE.X1) GO TO 320
      P=0.
      Q=0.
      GO TO 32
  320 DIFGA=THETG-THETD
      IF(DIFGA)3201,3202,3202
 3202 IF(DIFGA-3.1415927)330,330,340
 3201 IF(DIFGA+3.1415927)340,330,330
  330 THETA=DIFGA
      GO TO 370
  340 IF(DIFGA)350,360,360
  350 THETA=DIFGA+6.2831853
      GO TO 370
  360 THETA=DIFGA-6.2831853
  370 X12=X1-X2
      Z21=Z2-Z1
      XSQ=X12**2
      ZSQ=Z21**2
      XZ=Z21*X12
      GL=0.5*ALOG(RSQ2/RSQ1)
      P=(ZSQ/(XSQ+ZSQ))*(THETA)+((XZ/(XSQ+ZSQ))*GL)
      Q=(THETA*(XZ/(XSQ+ZSQ)))-(GL*(ZSQ/(XSQ+ZSQ)))
   32 WRITE(6,103)K,J,X1,X2,Z1,Z2,THETA,THETG,THETD
      WRITE(6,104)P,Q
   34 PSUM(K)=PSUM(K)+P
      QSUM(K)=QSUM(K)+Q
      X1=X2
      Z1=Z2
      RSQ1=RSQ2
      THETD=THETG
      J=J+1
      JP=J-1
      IF(JP.LT.JTOT)GO TO 201
   36 CONTINUE
      READ(5,7)[illegible]
      COSPD=COS(.0174533*PD)
      SINPD=SIN(.0174533*PD)
      CPD=COS(.0174533*([illegible]))
      WRITE(6,3203)
      READ(5,3203)[illegible]
  437 IF([illegible].1) GO TO 435
      WRITE(6,3215)
      READ(5,3204)[illegible]
  434 IF([illegible].2) GO TO 431
  430 READ(5,7)[illegible]
      WRITE(6,305)[illegible]
      WRITE(6,307)
      [illegible]*F
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      GO TO 432
  431 READ(5,7)[illegible]
      WRITE(6,30[illegible])[illegible]
      WRITE(6,307)
      [illegible]=COS(.0174533*[illegible])
      [illegible]=SIN(.0174533*[illegible])
      [illegible]=COS(.0174533*([illegible]))
  432 DO 4321 K=1,KTOT
      U=2.*[illegible]*(([illegible]*PSUM(K))+([illegible]*QSUM(K)))
      V=2.*[illegible]*(([illegible]*PSUM(K))-([illegible]*QSUM(K)))
      T(K)=[illegible]
      WRITE(6,310)K,FX(K),U,V,T(K)
 4321 CONTINUE
      GO TO 436
  435 [illegible]
      DO 433 K=1,KTOT
```

```
      ABA=2.*PSUM(K)*ABC+2.*QSUM(K)*CD[illegible]D
      ABL=2.*QSUM(K)*ABC-2.*PSUM(K)*CD[illegible]D
  433 WRITE (6,211)K,ABA,ABL
  436 CALL GRAF([illegible],PTOT,2)
      WRITE (6,3207)
      READ(5,3204) [illegible]
      GO TO (400,437,3206),[illegible]
  801 FORMAT([illegible]7,F[illegible].3)
  802 FORMAT(2F5.3)
  803 FORMAT(2[illegible],4F[illegible].3,3F10.5)
  804 FORMAT(3F15.8)
  805 FORMAT(F10.7)
  806 FORMAT(///,"LA [illegible] SE REDUCIRA SOLAMENTE SOS=",F7.5,
     *  4X,"[illegible]=",F7.0,4X,"[illegible]=",F7.0,2X,"[illegible]=",F4.0)
  807 FORMAT(/,2X,"[illegible]",12X,"R",13X,"V",12X,"T")
  808 FORMAT(3F10.5)
  809 FORMAT(///,"[illegible] 0 TOTAL [illegible]=",F6.1,
     *  4X,"[illegible]=",F5.0,6X,"[illegible]=",F4.0)
  810 FORMAT([illegible]3,4F15.3)
  811 FORMAT([illegible]3,2F10.5)
 3203 FORMAT(//,10X,"[illegible] CALCUL[illegible] DE LOS PARAMETROS ESPACIALES ABD
     *  Y [illegible]",/,10X,"1.[illegible]",/,10X,"2.-[illegible]")
 3204 FORMAT(I1)
 3205 FORMAT(//,10X,"[illegible] POR FAVOR",/,10X,"1.-ENCONTRAR
     *  [illegible]",/,10X,"2.-ESPECIFICAR EL VECTOR
     *  [illegible]")
 3207 FORMAT(//,10X,"[illegible]",/,"1.-[illegible]
     *  [illegible]",/,10X,"2.[illegible] LA SUSCEPTIBILIDAD
     *  [illegible]",/,10X,"3.-TERMINAR")
 3206 CALL EXIT
      END
      SUBROUTINE [illegible] (X,[illegible])
C*
C*    [illegible]
C*    LOS DATOS [illegible] CONTINUACION :
C*    [illegible]
C*    [illegible]
C*    [illegible]
C*                    1 -> LOS DATOS TIENEN EL RANGO:(-1,1)
C*                    2 -> [illegible] RANGO
C*                    3 -> [illegible] LOG(10).
C*
      [illegible] X(1),[illegible](13)
      [illegible]
      [illegible]
      IF([illegible])11,11,11
   10 [illegible]=1.0
      [illegible]=1.5
      [illegible] 17
   11 [illegible]X(1)
      [illegible]
      [illegible] 12 [illegible]=1,
      IF([illegible])101,101,102
  101 [illegible]=X([illegible])
  102 IF([illegible])12,12,103
  103 [illegible]=X([illegible])
   12 [illegible]
      IF([illegible])113,113,113
  104 [illegible]
      [illegible]
   13 [illegible]
      [illegible]X(1)
      DO 14 [illegible]=1,13
      [illegible]
      IF([illegible])105,105,106
  105 X([illegible])=10.0[illegible]
  106 X([illegible])/10.0
```

```
14  CONTINUE
    WRITE(6,16) (XX(I),I=2,12,2)
16  FORMAT(36X,6F14.5)
    WRITE(6,17) (XX(I),I=1,13,2)
17  FORMAT(31X,7F14.5)
    WRITE(6,1[illegible])
1[illegible]  FORMAT(3[illegible]X,"+",[illegible]2,12,"[illegible]+")
    DO 22 I=1,[illegible]
    DO 1[illegible] J=1,61
    IBAL(J)=[illegible]
19  CONTINUE
    DO 20 J=1,61,10
    IBAL(J)=[illegible]
20  CONTINUE
    [illegible]=X(I)
    IF([illegible]-3)111,110,111
110 YXX=2.3059[illegible]([illegible])
111 [illegible]((Y[illegible])*60.0/[illegible])+1.0
    [illegible]([illegible])=[illegible]
    WRITE(6,21) [illegible]
21  FORMAT(56X,F14.6,61[illegible])
22  CONTINUE
    WRITE(6,1[illegible])
    WRITE(6,17) ([illegible](I),I=1,13,2)
    WRITE(6,1[illegible]) (XX(I),I=1,1[illegible],2)
    STOP
    END
```

```
C*                 IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*                 I                                      I
C*                 I               U.N.A.M                I
C*                 I                                      I
C*                 I        FACULTAD DE INGENIERIA        I
C*                 I                                      I
C*                 I   DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA     I
C*                 I                                      I
C*                 I         SECCION  GEOFISICA           I
C*                 I                                      I
C*                 I        TESIS  PROFESIONAL            I
C*                 I                                      I
C*                 I     PRESENTADA POR EL ALUMNO:        I
C*                 I                                      I
C*                 I     ROGELIO [illegible] GARZA        I
C*                 I                                      I
C*                 I       NOMBRE DEL PROGRAMA:           I
C*                 I                                      I
C*                 I             "MPRISM"                 I
C*                 I                                      I
C*                 IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII
C*
C*    PROGRAMA PARA EL CALCULO DEL EFECTO PRODUCIDO
C*    POR CUERPOS DE FORMA PRISMATICA.
      READ(5,/)AA,AB,BA,BB,HT,HB,JX,JY,JZ
      CALL MPRISM(AA,AB,BA,BB,HT,HB,JX,JY,JZ,TX,TY,TZ)
      WRITE(6,/) AA,AB,BA,BB,HT,HB,JX,JY,JZ,TX,TY,TZ
      CALL EXIT
      END
C*    "MPRISM"  :  ESTA RUTINA SE UTILIZA PARA CALCULAR LAS COMPONENTES
C*                 "TX,TY,TZ" DEL CAMPO MAGNETICO (EN GAMMAS) DEBIDO A
C*                 UN CUERPO DE FORMA PRISMATICA DE LADOS VERTICALES -
C*                 QUE [illegible] UNIFORMEMENTE MAGNETIZADO,TAL
C*                 COMO ES [illegible] POR UN OBSERVADOR SITUADO EN EL
C*                 ORIGEN DE REFERENCIA. (VER BHATTACHARYYA,1980).
C*
C*
C*
C*    LOS PARAMETROS UTILIZADOS EN EL PROGRAMA PRINCIPAL SON:
C*
C*
C*    AA    =   DISTANCIA DESDE EL LIMITE INFERIOR DEL PRISMA AL ORIGEN
C*              EN LA DIRECCION "X(A)".
C*    AB    =   DISTANCIA DESDE EL LIMITE SUPERIOR DEL PRISMA AL ORIGEN
C*              EN LA DIRECCION "X(B)".
C*    BA    =   DISTANCIA DESDE EL LIMITE INFERIOR DEL PRISMA AL ORIGEN
C*              EN LA DIRECCION "Y(A)".
C*    BB    =   DISTANCIA DESDE EL LIMITE SUPERIOR DEL PRISMA AL ORIGEN
C*              EN LA DIRECCION "Y(B)".
C*
C*    HT    =   PROFUNDIDAD MEDIDA DESDE EL PLANO DE OBSERVACIONES A LA
C*              CIMA DEL PRISMA.
C*
C*    HB    =   PROFUNDIDAD MEDIDA DESDE EL PLANO DE OBSERVACIONES A LA
C*              BASE DEL PRISMA.
C*
C*    JX    =   COMPONENTE DEL VECTOR DE MAGNETIZACION EN LA DIRECCION X.
C*
C*    JY    =   COMPONENTE DEL VECTOR DE MAGNETIZACION EN LA DIRECCION Y.
C*
C*    JZ    =   COMPONENTE DEL VECTOR DE MAGNETIZACION EN LA DIRECCION Z.
C*
C*
      SUBROUTINE MPRISM(AA,AB,BA,BB,HT,HB,JX,JY,JZ,TX,TY,TZ)
      REAL JX,JY,JZ
C*****CALCULO DE LAS CONSTANTES...
      AA2=AA*AA
      AB2=AB*AB
      HB2=HB*HB
      BA2=BA*BA
      BB2=BB*BB
      HT2=HT*HT
```

```
      ABR9=A9*B9
      ABDA=A3*BA
      A[illegible]=[illegible]*[illegible]
      ABBA=[illegible]*[illegible]
      R99[illegible]=SQRT(A92+B92+H92)
      [illegible]=SQRT(A32+B92+HT2)
      [illegible]=SQRT(A32+[illegible]2+[illegible]2)
      [illegible]T=SQRT(A32+[illegible]2+H[illegible]2)
      [illegible]=SQRT([illegible]2+[illegible]2+H[illegible]2)
      [illegible]=SQRT([illegible]2+[illegible]2+H[illegible]2)
      [illegible]=SQRT([illegible]2+[illegible]2+[illegible]2)
      [illegible]=SQRT([illegible]2+[illegible]2+[illegible]2)
C*****CALCULA LOS T[illegible] 1-3 DE TX.
C*****      T[illegible] 1
      A=A[illegible]/(A32+[illegible]*[illegible]+H[illegible]2)
      B=[illegible]/(A32+HT*[illegible]T+HT2)
      A=(A[illegible])/(1.0+[illegible])
      B=[illegible]/(A32+HT*[illegible]T+HT2)
      C=[illegible]/(A32+[illegible]*[illegible]+H[illegible]2)
      [illegible]=([illegible]-C)/(1.0+[illegible]*C)
      C=([illegible]+C)/(1.0-[illegible]*C)
      A=[illegible]/(A[illegible]2+[illegible]*[illegible]+H[illegible]2)
      [illegible]/([illegible]2+HT*[illegible]+HT2)
      [illegible]=([illegible])/(1.0+[illegible]*[illegible])
      C=(B+C)/(1.0-B*C)
      A=[illegible]/(A[illegible]2+H[illegible]*[illegible]+H[illegible]2)
      [illegible]/([illegible]2+H[illegible]*[illegible]+H[illegible]2)
      [illegible]=([illegible])/(1.0+[illegible])
      C=([illegible]+C)/(1.0-[illegible]*C)
      TX1=ATAN(C)
C*****      T[illegible] 2
      A=([illegible]+H[illegible])/([illegible]+H[illegible])
      B=([illegible]T+H[illegible])/([illegible]+H[illegible])
      [illegible]=[illegible]*[illegible]
      A=([illegible]+[illegible])/([illegible]+H[illegible])
      [illegible]=[illegible]*[illegible]
      A=([illegible]+H[illegible])/([illegible]T+H[illegible])
      [illegible]=[illegible]*[illegible]
      IF([illegible].LE.0.0) GO TO 5
      TX2=[illegible]([illegible])
      GO TO 7
    5 TX2=0.0
      TX2=[illegible]([illegible])
C*****[illegible] 3
    7 [illegible]=(([illegible])*([illegible]))/(([illegible])*([illegible]))
      [illegible]=(([illegible])*([illegible]))/(([illegible])*([illegible]))
      [illegible]=[illegible]*[illegible]
      [illegible]=(([illegible])*([illegible]))/(([illegible])*([illegible]))
      [illegible]=[illegible]*[illegible]
      [illegible]=(([illegible])*([illegible]))/(([illegible])*([illegible]))
      [illegible]=[illegible]*[illegible]
      IF([illegible].[illegible].0.0) GO TO 10
      TX3=[illegible]([illegible])
      GO TO 15
   10 TX3=0.0
C*****CALCULO DE [illegible] 1-3 [illegible] Y.
C*****[illegible] 1 [illegible] 2 [illegible] DE CALCULO DE TX.
C*****      T[illegible] 2
   15 [illegible]/([illegible]2+[illegible]2+[illegible]2+[illegible]2)
      [illegible]/([illegible]2+[illegible]2+[illegible]2+[illegible]2)
      [illegible]=([illegible])/(1.0+[illegible])
      [illegible]/([illegible]2+[illegible]2+[illegible]2+[illegible]2)
      [illegible]/([illegible]2+[illegible]2+[illegible]2+[illegible]2)
      [illegible]=([illegible])/(1.0+[illegible])
      [illegible]=([illegible])/(1.[illegible])
      [illegible]/([illegible]2+[illegible]2+[illegible]2+[illegible]2)
      [illegible]/([illegible]2+[illegible]2+[illegible]2+[illegible]2)
      [illegible]=([illegible])/(1.0+[illegible])
      [illegible]=(B+[illegible])/(1.0-[illegible])
      [illegible]/([illegible]2+[illegible]2+[illegible]2+[illegible]2)
      [illegible]/([illegible]2+[illegible]2+[illegible]2+[illegible]2)
      [illegible]=([illegible])/(1.0+[illegible])
      [illegible]=([illegible]+C)/(1.[illegible])
```

```
      TY2=[illegible]
C*****TERMINO 3
      A=((([illegible])*([illegible]))/(([illegible])*([illegible]))
      B=(([illegible])*([illegible]))/(([illegible])*([illegible]))
      R=A*B
      A=(([illegible])*([illegible]))/(([illegible])*([illegible]))
      [illegible]
      A=(([illegible])*([illegible]))/(([illegible])*([illegible]))
      [illegible]
      IF(B.LE.0.0) GO TO 20
      TY3=LOG(B)
      GO TO 25
   20 TY3=0.0
C*****   CALCULO DE TZ, [illegible] 1-3
C******EL TERMINO 1 [illegible] AL TERMINO 3 EN EL CALCULO DE TX.
C******EL TERMINO 2 [illegible] AL TERMINO 3 EN EL CALCULO DE TY.
C*****    TERMINO 3
   25 [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
      [illegible]
C*    [illegible]
      TX=-1.085*([illegible])
      TY=-1.085*([illegible])
      TZ=-1.085*([illegible])
      RETURN
      END
```

CAPITULO
V
EJEMPLOS

PROGRAMA MAGSYN

PARAMETROS DE ENTRADA:

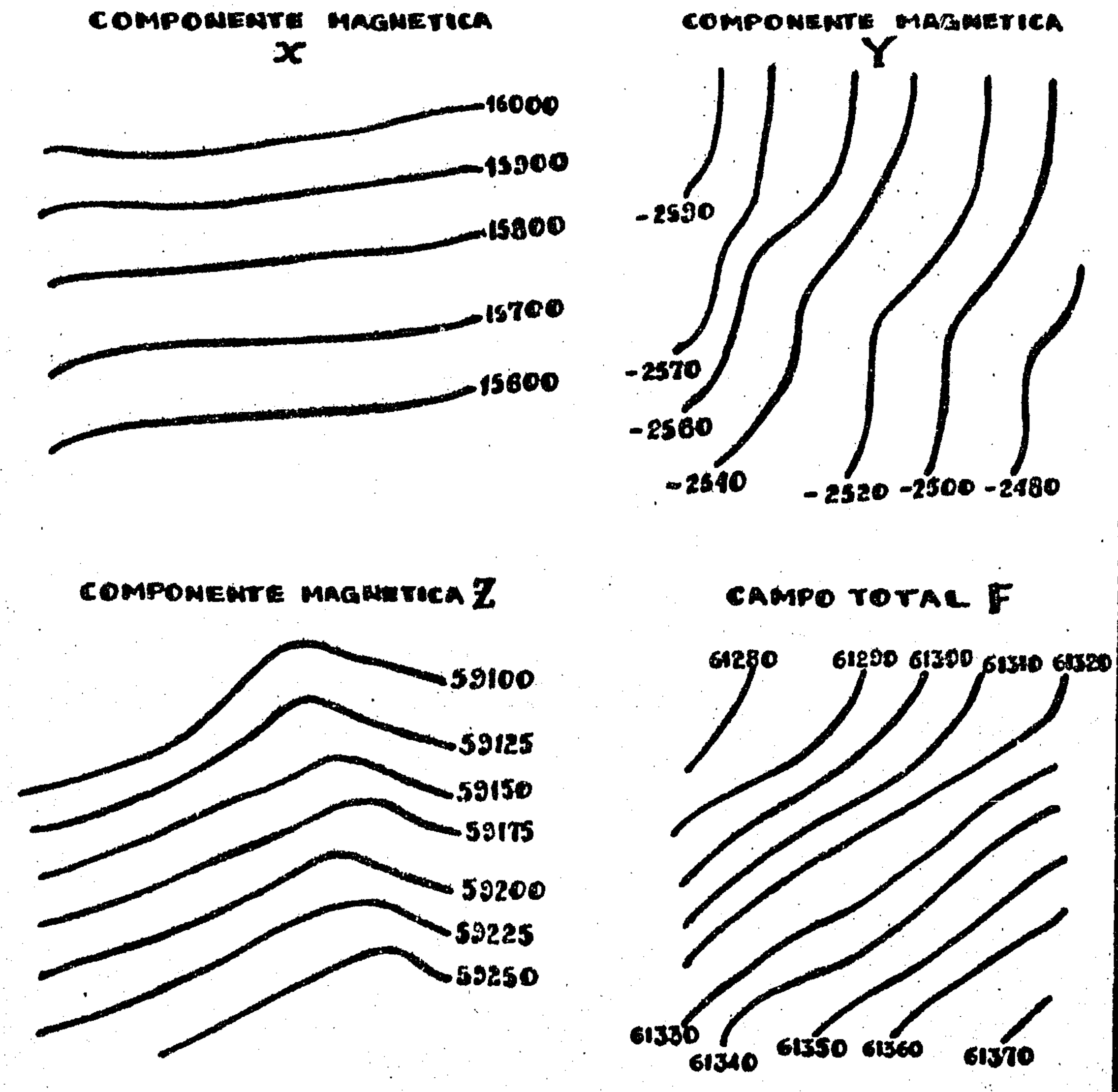
DATE = 1971.6

ALT = 0.305

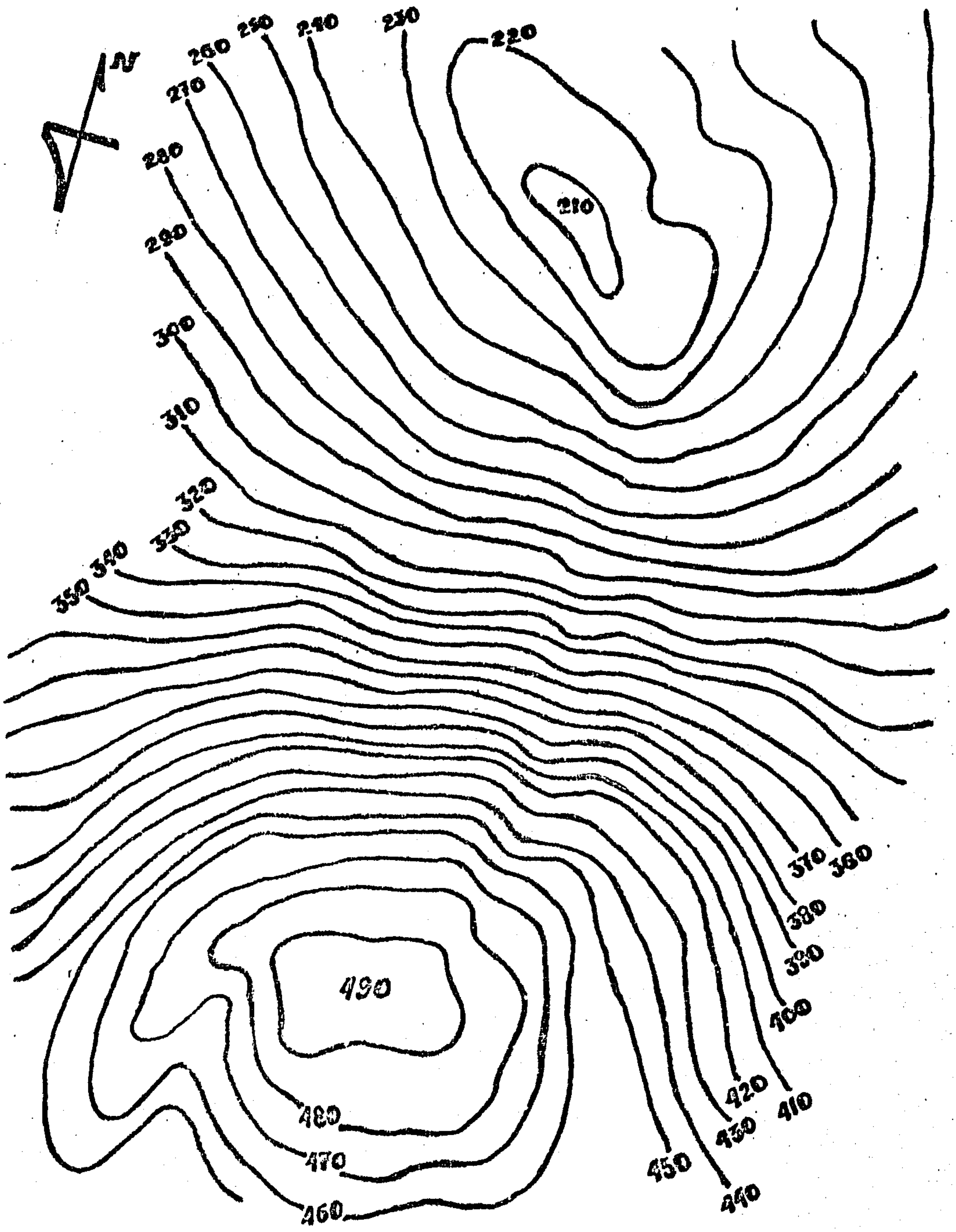
COLAT = VARIABLE

ELONG = VARIABLE

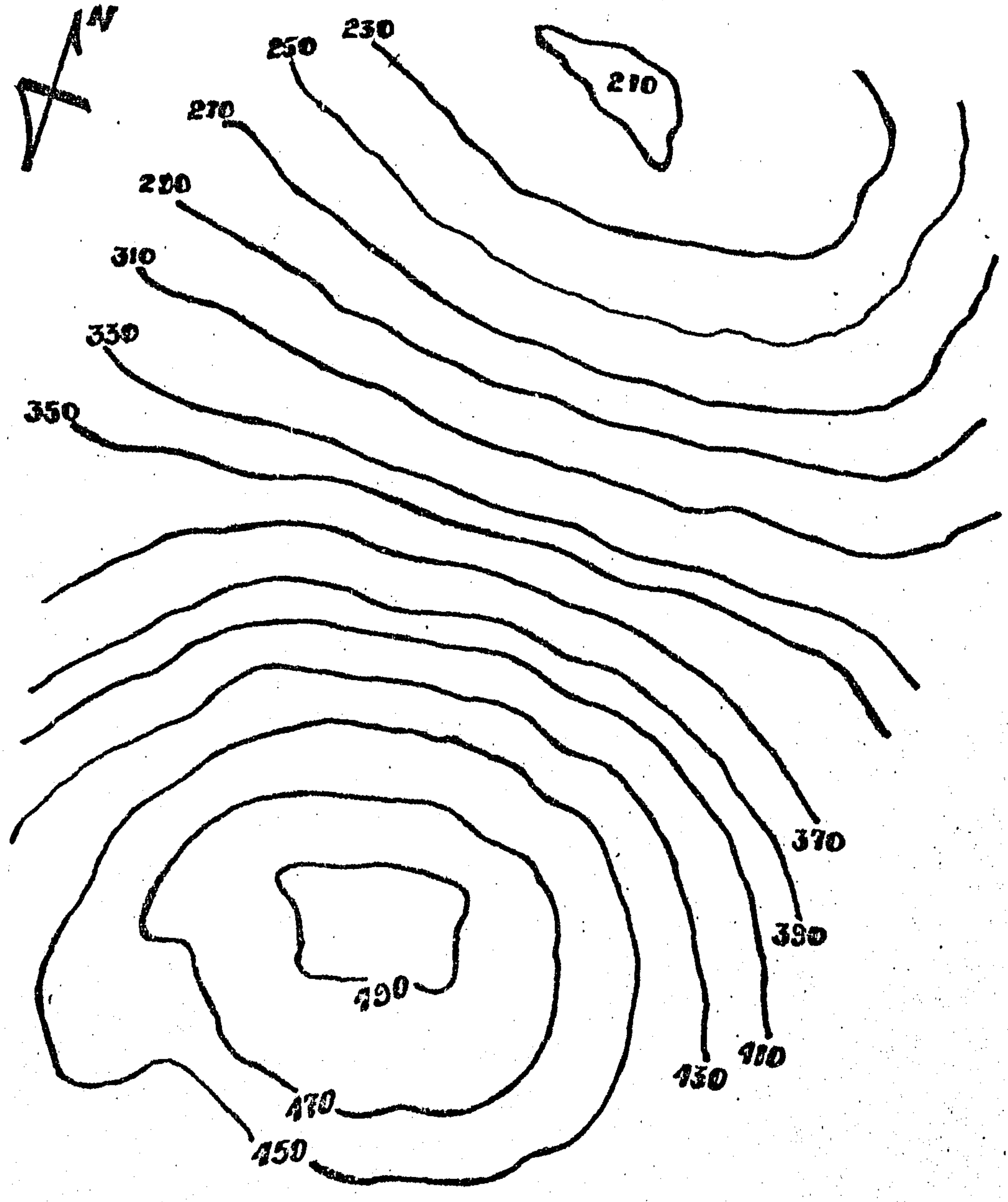
ELONG =	115.62	115.48	115.43	115.30	115.18	115.10
COLAT =	32.69	32.69	32.69	32.69	32.69	32.69
ELONG =...	115.62	115.48	115.43	115.30	115.18	115.10
COLAT =...	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65
ELONG =...	115.62	115.48	115.43	115.30	115.18	115.10
COLAT =...	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51	32.51
ELONG =...	115.62	115.48	115.43	115.30	115.18	115.10
COLAT =...	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42	32.42
ELONG =...	115.62	115.48	115.43	115.30	115.18	115.10
COLAT =...	32.33	32.33	32.33	32.33	32.33	32.33
ELONG =...	115.62	115.48	115.43	115.30	115.18	115.10
COLAT =...	32.24	32.24	32.24	32.24	32.24	32.24



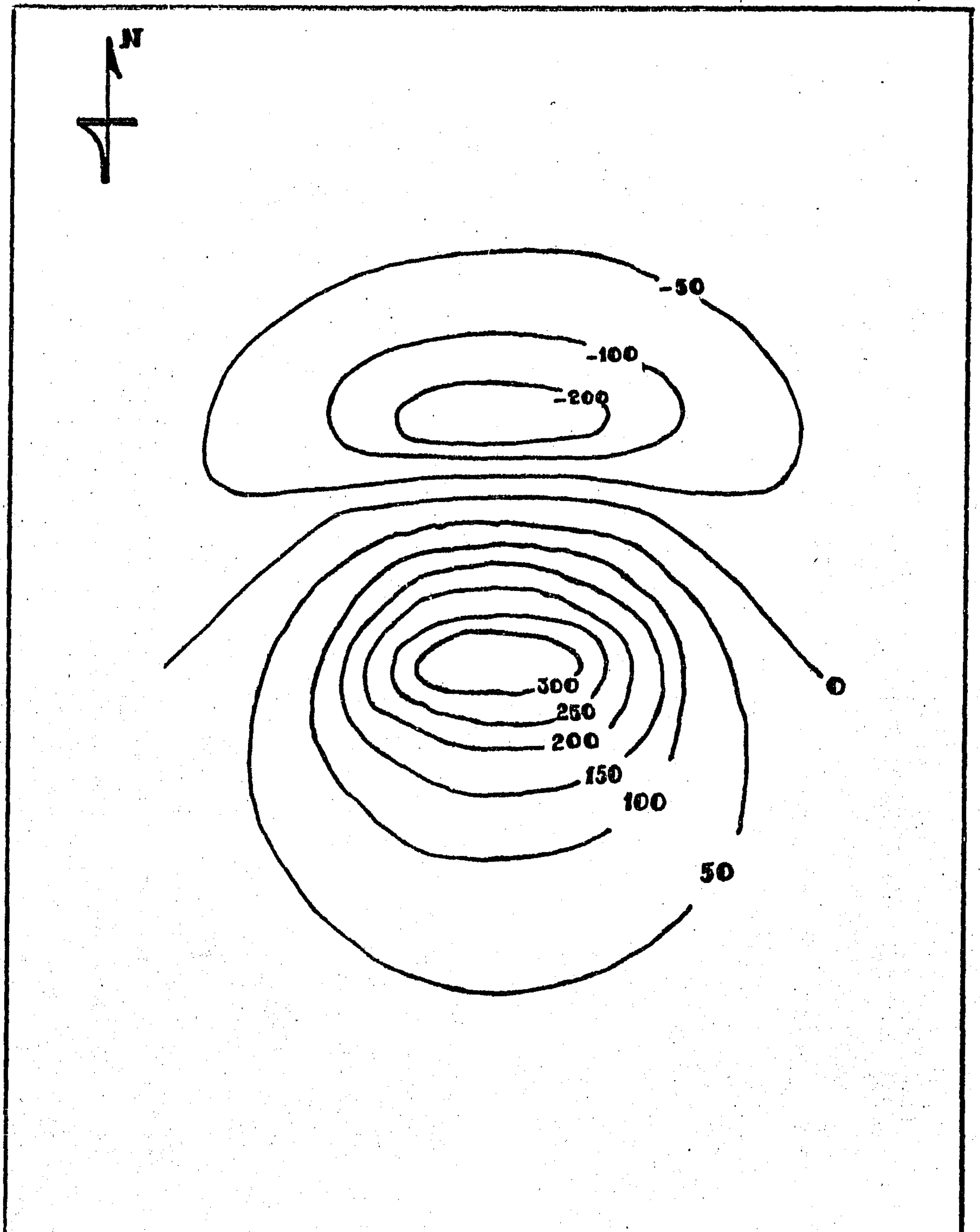
UNAM	FAC. INGENIERIA	DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA SECCION GEOFISICA
TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL ALUMNO: ROGELIO RAMOS CARRANZA		SEÑAL DE SALIDA DE: "MAGSYN"



UNAM	FAC. INGENIERIA	DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA SECCION GEOFISICA
TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL ALUMNO: ROGELIO RAMOS CARRANZA		SEÑAL DE ENTRADA DE: "ENREJILLADO"

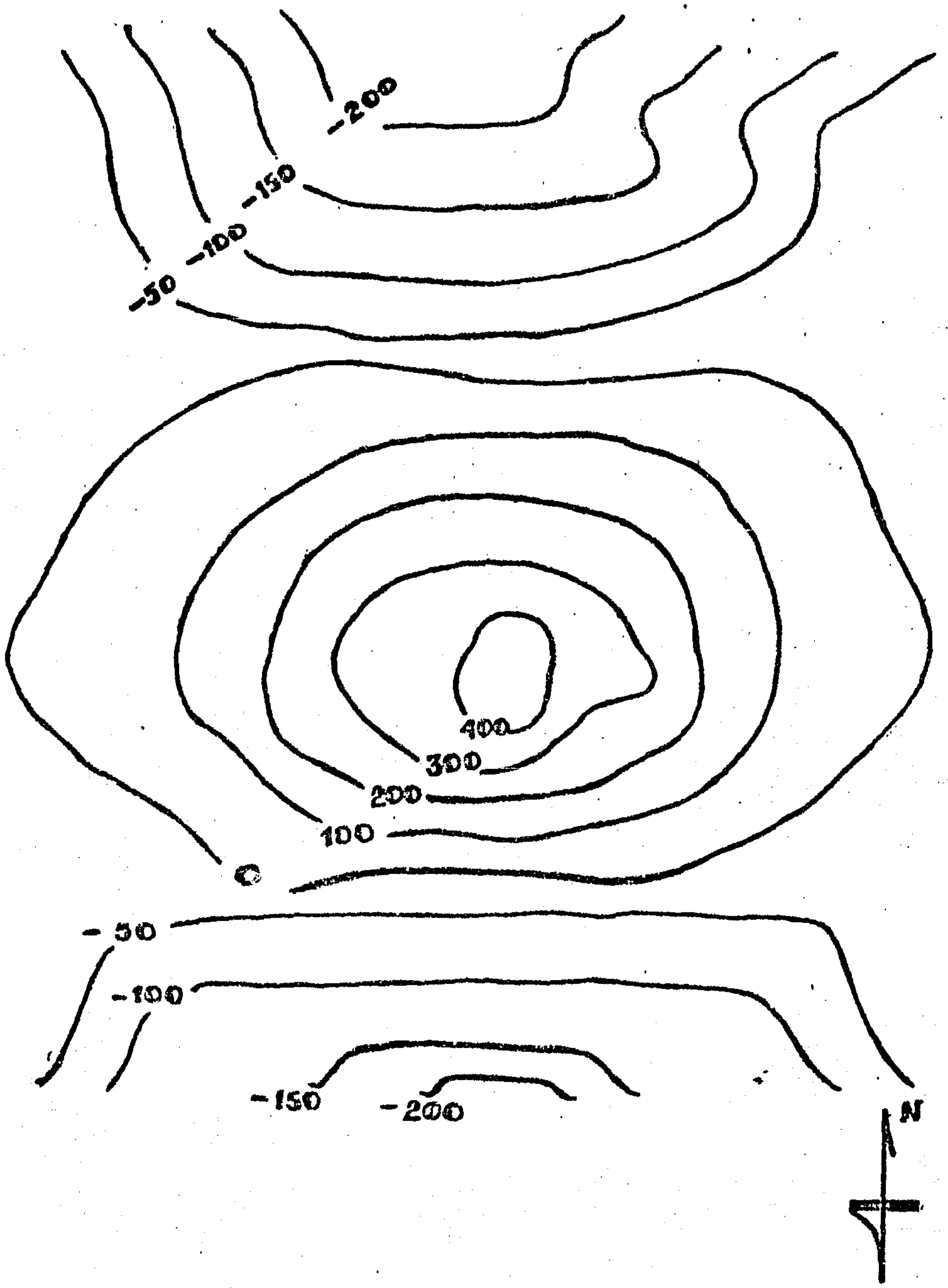


U N A M	FAC. INGENIERIA	DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA SECCION GEOFISICA
TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL ALUMNO : ROGELIO RAMOS CARRANZA		SEÑAL DE SALIDA DE : "ENREJILLADO"

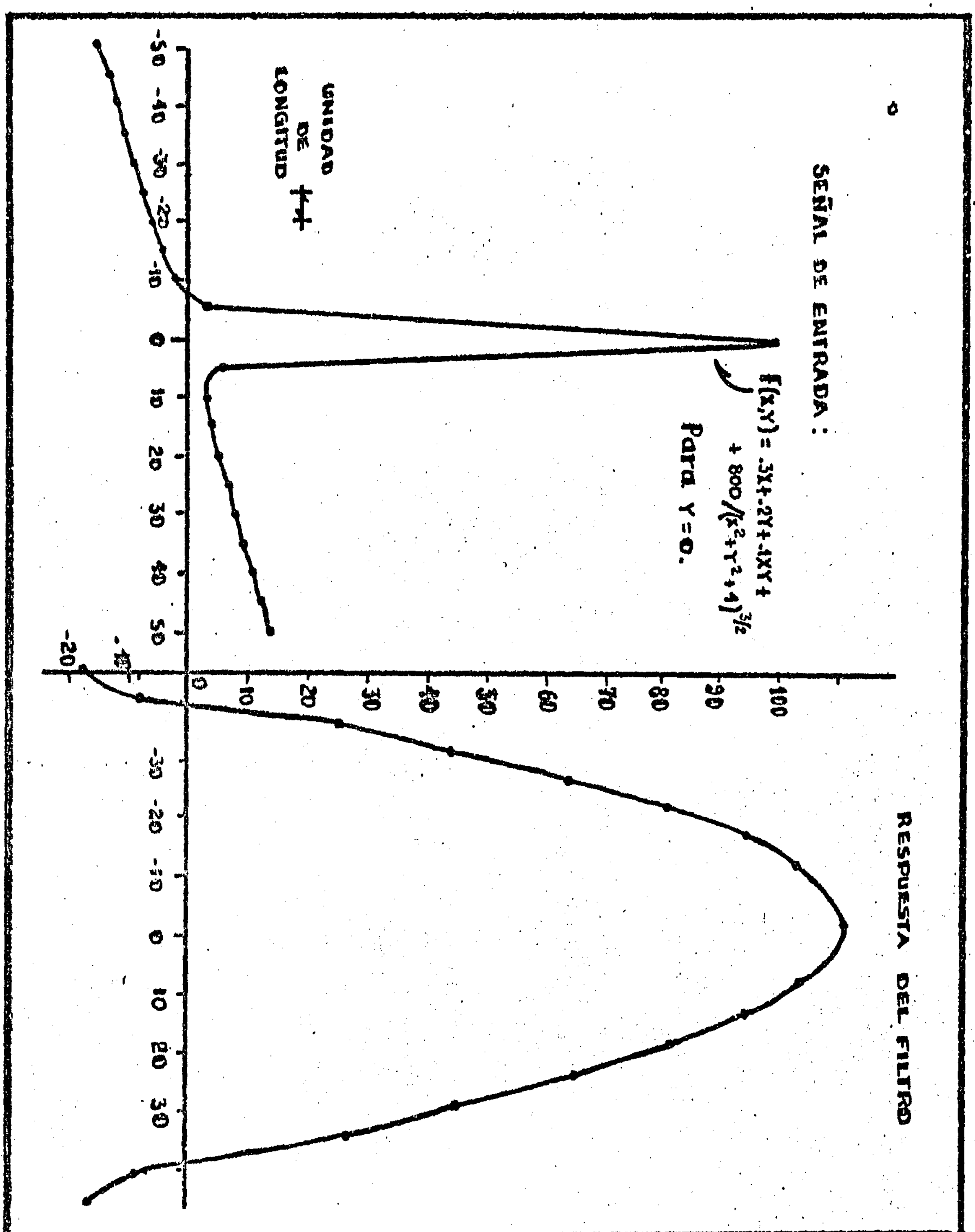


UNAM	FAC. INGENIERIA	DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA SECCION GEOFISICA

TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL ALUMNO: ROGELIO RAMOS CARRANZA	SEÑAL DE ENTRADA DE: "REDPOL"

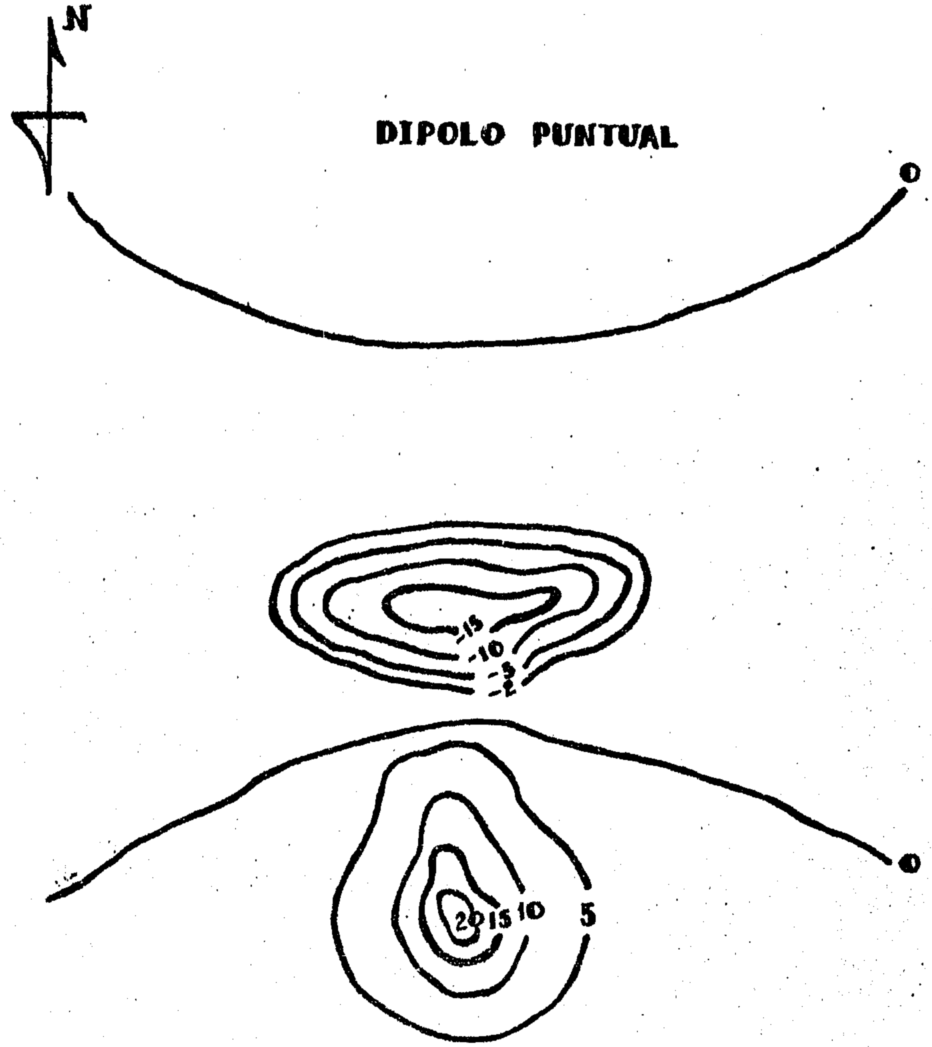


U N A M	FAC. INGENIERIA	DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA SECCION GEOFISICA
TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL ALUMNO: ROGELIO RAMOS CARRANZA		SEÑAL DE SALIDA DE: "REDPOL"



UNAM	FAC. INGENIERIA	DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA SECCION GEOFISICA
TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL ALUMNO : ROGELIO RAMOS CARRANZA		SEÑAL DE ENTRADA-SALIDA DE : "FILTRADO"

DIPOLO PUNTUAL



COMPONENTE MAGNETICA

HX

PARAMETROS DE ENTRADA

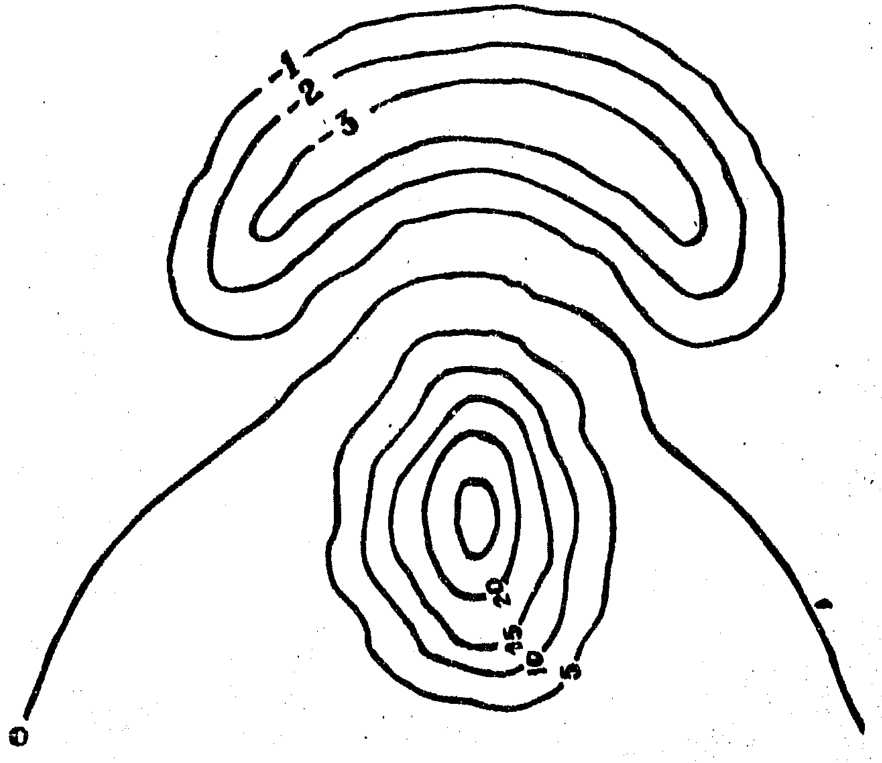
H = 3

DEC = TDEC = 0°

INC = TINC = 60°

UNAM	FAC. INGENIERIA	DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA SECCION GEOFISICA
TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL ALUMNO: ROGELIO RAMOS CARRANZA		SEÑAL DE SALIDA DE: "DIPOLO"

LINEA DE DIPOLOS



CAMPO TOTAL

PARAMETROS DE ENTRADA:

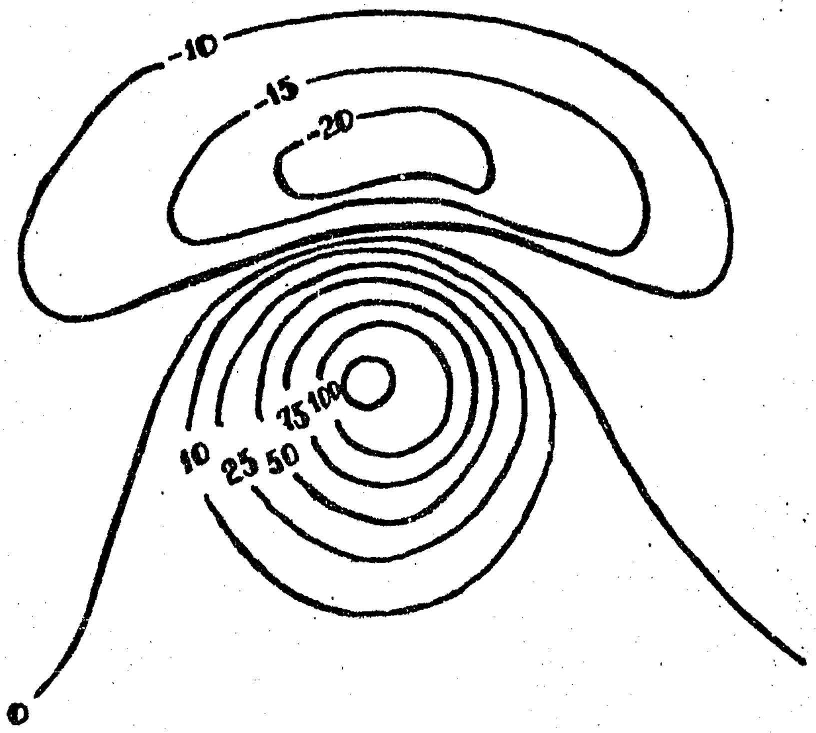
A=4 ; H=3

DEC = TDEC = 0°

INC = TINC = 60°

UNAM	FAC. INGENIERIA	DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA SECCION GEOFISICA
TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL ALUMNO: ROGELIO RAMOS CARRANZA		SEÑAL DE SALIDA DE: "LINEDP"

PRISMA VERTICAL

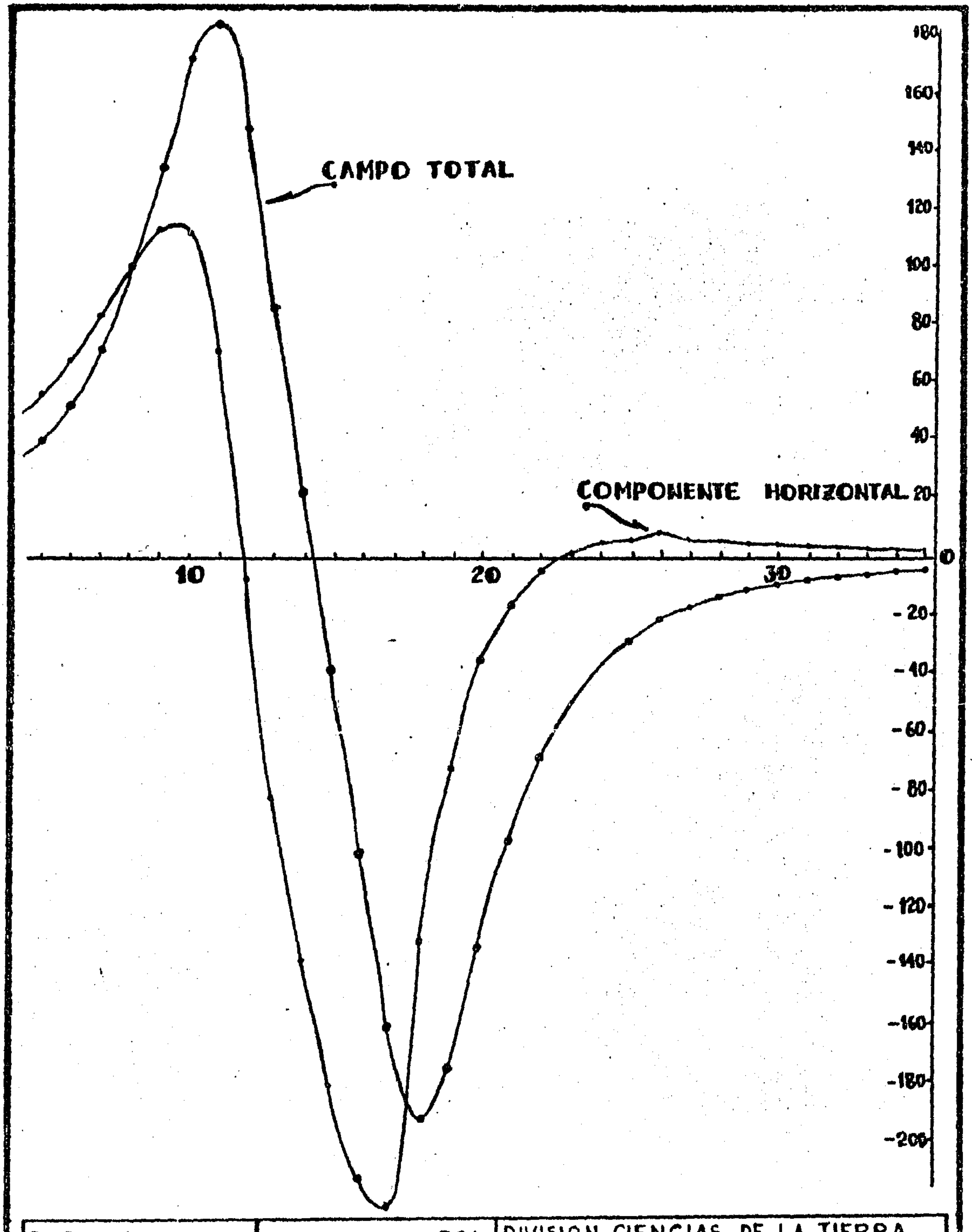


CAMPO TOTAL

PARAMETROS DE ENTRADA:

AO=3 ; BO=2 ; HT=2 ; HB=4
DEC = TDEC = 0°
INC = TINC = 60°

U N A M	FAC. INGENIERIA	DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA SECCION GEOFISICA
TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL ALUMNO : ROGELIO RAMOS CARRANZA		SEÑAL DE SALIDA DE : "PRISMV"

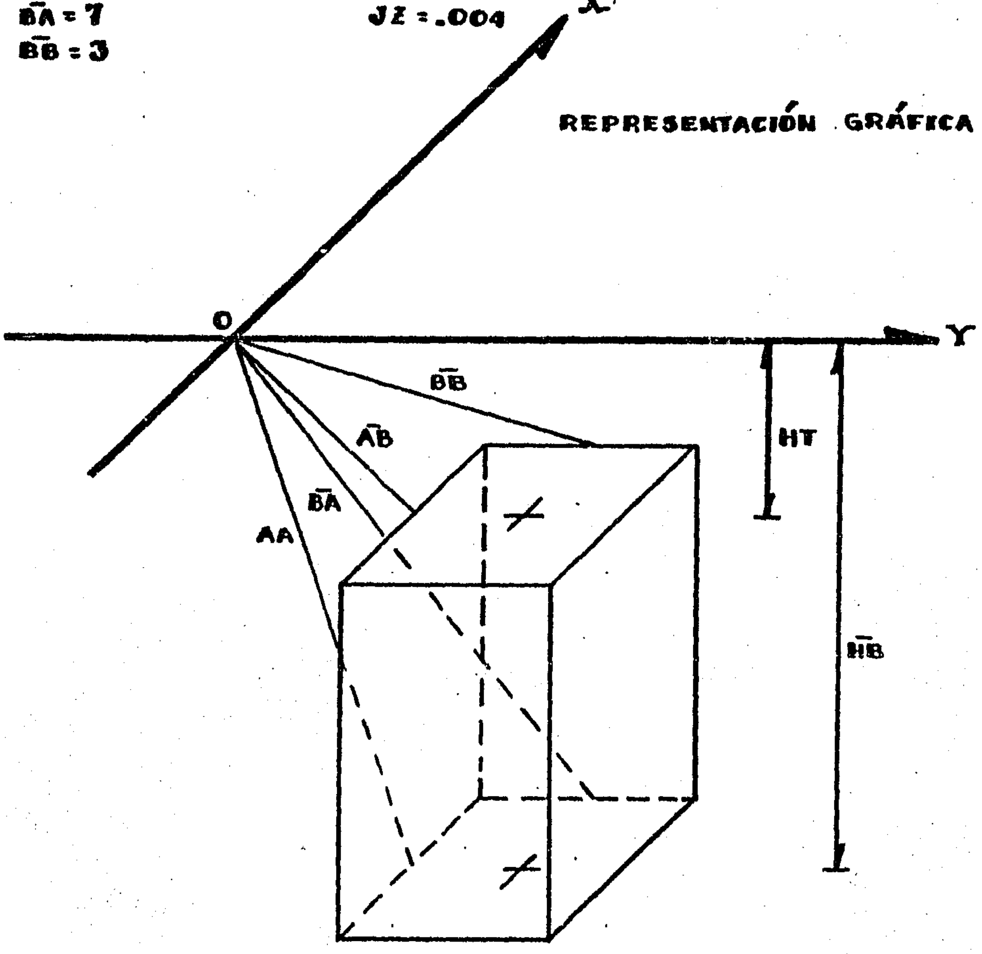


UNAM	FAC. INGENIERIA	DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA SECCION GEOFISICA
TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL ALUMNO: ROGELIO RAMOS CARRANZA		SEÑAL DE **SALIDA** DE: **"TALWANI"**

PARAMETROS DE ENTRADA

$\overline{AA} = 6$	HT = 4	JX = .001
$\overline{AB} = 3$	HB = 10	JY = .003
$\overline{BA} = 7$		JZ = .004
$\overline{BB} = 3$		

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



PARAMETROS DE SALIDA

TX = -2.3645312E-02
TY = 6.4431392E-02
TZ = -0.1665434

U N A M	FAC. INGENIERIA	DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA SECCION GEOFISICA
TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR EL ALUMNO: ROGELIO RAMOS CARRANZA		SEÑAL DE **ENTRADA** DE: **"HPRISM"**

VI . CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

UNA CONCLUSIÓN IMPORTANTE ES EL HECHO DE HABER TENIDO LA OPORTUNIDAD DE CONSULTAR LA BIBLIOGRAFÍA RELATIVA A LA ESTRUCTURA GENERAL DE ESTA TESIS; ES DECIR, PARA PODER CONFORMAR ESTE PAQUETE DE PROGRAMAS, CONSIDERAMOS DIVERSOS CRITERIOS A SEGUIR PARA EL PROCESADO DE LA INFORMACIÓN MAGNETOMÉTRICA Y SU INTERPRETACIÓN, Y PARTIENDO DE AQUI, FORMAR ASI ESTE TRABAJO CON EL CRITERIO PERSONAL, SIEMPRE PENSANDO EN LOS PROGRAMAS FUNDAMENTALES, COMO LOS QUE DESARROLLO W. BARANOV, LOS QUE SUGIERE LA COMPAÑIA GEOMETRICS EN SU DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROCESADO DE LA INFORMACIÓN MAGNETOMÉTRICA Y OTROS.

DE AQUI, QUE POR LO EXPUESTO LINEAS ARRIBA SE RECOMIENDA, SE CONSULTE LA BIBLIOGRAFÍA RELATIVA, DE MANERA QUE SE PUEDA ADECUAR UN FLUJO DE TRABAJO DE ACUERDO AL OBJETIVO O NECESIDADES ESPECIFICAS, CONTANDO YA CON LOS PROGRAMAS FUNDAMENTALES E INDISPENSABLES.

OTRO ASPECTO IMPORTANTE DE LAS CONCLUSIONES ES, QUE DURANTE LA PRÁCTICA PARA LA CORRIDA DE LOS PROGRAMAS POR COMPUTADORA EXPERIMENTE LA NECESIDAD DE CONTAR CON INFORMACIÓN RELATIVA AL ALGORITMO, DIAGRAMA DE FLUJO Y LISTADO DEL PROGRAMA DEL QUE ESTUVIERAMOS TRATANDO, DESDE LUEGO QUE NO TODA LA INFORMACIÓN ESTABA DISPUESTA EN ESE ORDEN, NI CONTENIA TODOS LOS PUNTOS; DE TAL FORMA QUE UNA VEZ REUNIDA DICHA INFORMACIÓN SIEMPRE SE TENIAN ALTERNATIVAS PARA CHECAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE TODOS Y CADA UNO DE LOS PROGRAMAS QUE PRESENTAMOS, ALGUNAS VECEZ APOYADOS EN LA LÓGICA DEL PROGRAMA, EN EL ALGORITMO O BIEN EN EL LISTADO SIMBÓLICO EN LENGUAJE FORTRAN, LUEGO ENTONCES CADA PROGRAMA ESTA ACOPLADO PENSANDO EN ESE SENTIDO, CON EL FIN DE CONTAR CON UN PROGRAMA DOCUMENTADO ADECUADAMENTE PARA SU APLICACIÓN Y ASI FACILITAR LA UTILIDAD PRÁCTICA QUE SE PRETENDE CON ESTE TRABAJO.

ES JUSTO MENCIONAR A MANERA DE RECOMENDACIÓN, QUE EL PROGRAMA PARA EL AJUSTE CÚBICO POR MINIMOS CUADRADOS (SPLINE) SE HA DEJADO PARA SU DESARROLLO FINAL (CORRIDA POR COMPUTADORA) PARA EL INTERESADO AL RESPECTO; SIN EMBARGO, ESTE FUE CONFORMADO DE LA MISMA FORMA QUE AQUELLOS QUE SE PRESENTAN COMO EJEMPLO.

DE ACUERDO A LAS BASES TEÓRICAS PRESENTADAS EN EL ALGORITMO DE MODELADO DE: POLO PUNTUAL, LINEA DE POLOS, DIPOLO PUNTUAL, LINEA DE DIPOLOS Y CUERPOS DE FORMA PRISMÁTICA; SE LLEGO A LA CONCLUSIÓN DE PRESENTAR EL PROGRAMA DE CADA UNO DE LOS TRES ÚLTIMOS MODELOS, LOS CUALES CALCULAN LOS VALORES EXACTOS DE LAS COMPONENTES MAG-NÉTICAS DEL CAMPO CAUSADO POR LOS MODELOS MENCIONADOS; ESTOS CALCU-LOS SON DE UTILIDAD PRÁCTICA EN LA INTERPRETACIÓN MAGNETOMETRICA, EN CUYO CASO RECOMENDAMOS REALIZAR LOS PROGRAMAS POR COMPUTADORA PARA LOS DOS PRIMEROS MODELOS PARA COMPLEMENTAR LA INFORMACIÓN EN ESTE ASPECTO DEL MODELADO.

ES OPORTUNO RECOMENDAR, SE COMPLEMENTE LA INFORMACIÓN EN-RELACIÓN AL ANALISIS CUALITATIVO Y ESTIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD, CON SIDERANDO LA CONCLUSIÓN A LA QUE SE LLEGÓ EN EL SENTIDO DE QUE SE PRESENTAN LAS BASES TEÓRICAS SUFICIENTES COMO PARA PODER CONS TRUIR LA LÓGICA Y EL PROGRAMA RESPECTIVO, QUEDANDO ASI DISPUESTO PARA SU REALIZACIÓN POR EL INTERESADO EN ESTE PUNTO.

YA SE HABLÓ DE LA FORMA EN LA QUE SE DOCUMENTARÓN LOS PRO GRAMAS, EN ESE MISMO SENTIDO SE RECOMIENDA ASOCIAR LOS DIAGRAMAS DE FLUJO CON LOS LISTADOS DE LOS PROGRAMAS RESPECTIVOS Y EL PRO GRAMA EN SI, YA CARGADO EN LA COMPUTADORA, Y ES EN ESTE MOMENTO CUANDO NOS APOYAMOS EN LOS MENCIONADOS ELEMENTOS PARA SU VERI FICACIÓN Y CORRIDA; POR LO CUAL SE CONCLUYE QUE POR LO EXHAUSTIVO DEL PROCESO REQUERIDO HA SIDO BUENA PRÁCTICA EL ASOCIAR DE ES TA FORMA LOS ELEMENTOS PRESENTADOS AQUÍ, ASI COMO LOS EJEMPLOS QUE SIRVEN DE GUIA PARA LA COMPROBACIÓN.

BIBLIOGRAFIA

MALIN. S.R.C Y BARRACLOUGH. D.R "AN ALGORITHM FOR SYNTHESIZING THE GEO MAGNETIC FIELD."
GEOMAGNETISM UNIT, INSTITUTE OF GEOLOGICAL SCIENCES. WEST MAINS ROAD, EDIMBURGH 3LA, U.K.
COMPUTERS AND GEOSCIENCES Vol. 7, No. 4, PP 401-405, 1981.
PRINTED IN GREAT BRITAIN.

BULLARD. E.C. "THE REMOVAL OF TREND FROM MAGNETIC SURVEYS."
EARTH AND PLANETARY SCIENCE LETTERS 2 (1967) PP. 293-300.
NORTH-HOLLAND PUBL. COMP., AMSTERDAM.

CORBIN VICTOR. L. Y QUESADA ANTONIO. F. "LEAS SQUARES CUBIC SPLINES"
PHYSICAL SCIENCES RESEARCH PAPERS, No. 572. PP. 7-17.
AERONOMY LABORATORY PROJECT 7635
AIR FORCE CAMBRIDGE RESEARCH LABORATORIES.
AIR FORCE SYSTEMS COMMAND, USAF.

BRAILE. W. LAWRENCE. "COMPARISON OF FOUR RANDOM TO GRID METHODS"
COMPUTERS AND GEOSCIENCES, vol. 4, pp. 341-349.
PERGAMON PRESS LTD., 1978. PRINTED IN GREAT BRITAIN.

KUESTER. J.L y MIZE. J.H. "OPTIMIZATION TECHNIQUES WITH FORTRAN"
Mc GRAW-HILL, NEW YORK, 500p, 1973. pp. 212-215.

ERVIN. C. PATRICK. "REDUCTION TO THE MAGNETIC POLE USING A FAST FOURIER SERIES ALGORITH."
COMPUTERS AND GEOSCIENCES, Vol. 2, pp. 211-217
PERGAMON PRESS, 1976. PRINTED IN GREAT BRITAIN.

HOLROYD. M.T. "CHANGES OF SOURCE CODING TO PRODUCE A 43 PERCENT INCREASE IN CPU EFFICIENCY IN THE PROGRAM FOR REDUCTION TO THE MAGNETIC POLE USING A FAST FOURIER SERIES ALGORITHM."
COMPUTERS AND GEOSCIENCES Vol. 4, pp. 189-198.
PERGAMON PRESS. LTD. 1978. PRINTED IN GREAT BRITAIN.

BARANOV WLADIMIR — "POTENTIAL FIELDS AND THEIR TRANSFORMATIONS IN APPLIED GEOPHYSICS"
GEOPUBLICATIONS ASSOCIATES
GEOEXPLORATION MONOGRAPHS
SERIES 1 – No. 6
1975

LAURENCO. S. JOSE — "

TALWANI. M. y HEIRTZLER. J. R — "COMPUTATION OF MAGNETIC ANOMALIES CAUSED BY TWO DIMENSIONAL STRUCTURES OF ARBITRARY SHAPE"
PART 1 STANFORD UNIV. PUBL. GEOL. SCIENCES, Vol. 9. No. 1, pp. 464 - 480.

TALWANI. M. — "CALCULO DE ANOMALIAS MAGNÉTICAS DE CUERPOS DE FORMA ARBITRARIA CON LA AYUDA DE LA COMPUTADORA DIGITAL"
GEOPHYSICS, Vol. XXX, No. 5 (OCT., 1965), pp. 797 - 819.

BHATTACHARYYA. B. K. — "A GENERALIZED MULTIBODY MODEL FOR INVERSION OF MAGNETIC ANOMALIES"
GEOPHYSICS, Vol. 45, No. 2 (FEB., 1980), pp. 255 - 270.

BHATTACHARYYA. B. K. — "ANOMALIAS MAGNÉTICAS DEBIDAS A CUERPOS DE FORMA PRISMÁTICA CON POLARIZACIÓN ARBITRARIA."
GEOPHYSICS, Vol. XXIX, No. 4 (AG., 1964), pp. 517 - 531.

APENDICE

CAMPO GEOMAGNETICO INTERNACIONAL DE REFERENCIA (CGIR)

CGIR 1965, EL PRIMER CAMPO GEOMAGNÉTICO INTERNACIONAL DE REFERENCIA, FUE ADOPTADO POR LA ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE GEOMAGNETISMO Y AERONOMIA (IAGA), EN 1968 (IAGA, COMISION 2, GRUPO DE TRABAJO 4, 1969). ESTE CONSISTE DE UN MODELO DEL CAMPO PRINCIPAL EN 1965.0, PROLONGADO CON UN MODELO DE VARIACIÓN SECULAR USADO CON LA EXTENSIÓN DEL MODELO EN TIEMPO DEL CAMPO PRINCIPAL, TANTO HACIA ATRAS (NO ANTES DE 1955.0) Y HACIA ADELANTE (NO DESPUES DE 1975.0). CGIR 1975, ADOPTADO DESPUES, CONSISTE DE CGIR 1965 EXTENDIDO A 1975.0, PROLONGADO CON UN MODELO REVISADO DE VARIACIÓN SECULAR PARA USAR EN LA EXTENSIÓN DEL MODELO DEL CAMPO PRINCIPAL ARRIBA DE 1980.0 (IAGA, DIVISION I, 1976)

AL FINAL DE LOS 70's, EL EFECTO ACUMULATIVO DE LA INEVITABLE INCERTIDUMBRE EN LOS MODELOS DE VARIACIÓN SECULAR HA PERMITIDO IMPRECISIONES INACEPTABLES EN EL CGIR. PARA SATISFACER LA NECESIDAD DE UN CAMPO GEOMAGNÉTICO INTERNACIONAL DE REFERENCIA EXACTO, ESTE GRUPO DE TRABAJO RECOMIENDA LAS ADICIONES SIGUIENTES:

1. UN CAMPO GEOMAGNÉTICO INTERNACIONAL DE REFERENCIA PARA EL INTERVALO DE 1980.0 A 1985.0 ("CGIR 1980"), CONSISTIENDO DE UN MODELO DEL CAMPO PRINCIPAL EN 1980.0, CON UN MODELO DE VARIACIÓN SECULAR PARA USAR EN EXTENSIÓN DEL MODELO DE CAMPO PRINCIPAL ARRIBA DE 1985.0.

2. UN CAMPO GEOMAGNÉTICO INTERNACIONAL DE REFERENCIA DEFINITIVO PARA EL INTERVALO DE 1965.0 A 1975.0, CONSISTIENDO DE MODELOS DEL CAMPO PRINCIPAL EN: 1965.0, 1970.0, Y 1975.0 CON INTERPOLACIÓN LINEAL DE LOS COEFICIENTES DEL MODELO PARA LAS FECHAS QUE INTERVIENEN.

3. UN CAMPO GEOMAGNÉTICO INTERNACIONAL DE REFERENCIA PROVICIONAL PARA EL INTERVALO DE 1975.0 A 1980.0, DEFINIDO POR LA INTERPOLACIÓN LINEAL DEL CAMPO DEFINITIVO EN 1975.0 Y EL CGIR 1980.0. (DEL CAMPO PRINCIPAL)

EL GRUPO DE TRABAJO TAMBIEN RECOMIENDA QUE EL PATRÓN DE ESAS ADICIONES DEBE SER SEGUIDO EN FECHAS FUTURAS. LAS RECOMENDACIONES, PROPUESTAS COMO RESOLUCIÓN 13, FUERÓN ADOPTADAS POR IAGA EN AGOSTO 15 DE 1981, EN LA CUARTA ASAMBLEA CIENTIFICA EN EDIMBURGO.

LOS CAMPOS DE REFERENCIA DEFINITIVOS EN 1965, 1970, 1975 Y EL CGIR 1980

(INCLUYENDO LA VARIACIÓN SECULAR DEL MODELO PREVISTO) SON DADOS EN FORMA DE EXPANSIÓN DE ARMÓNICAS ESFÉRICAS CUYOS COEFICIENTES SON LISTADOS EN LA TABLA SIGUIENTE. CADA MODELO DEL CAMPO PRINCIPAL TIENE 120 - COEFICIENTES (GRADO Y ORDEN DECIMO). EL MODELO PREVISTO DE VARIACIÓN SECULAR TIENE 80 COEFICIENTES (GRADO Y ORDEN OCTAVO). LOS COEFICIENTES UTILIZADOS SON LOS CUASI-NORMALIZADOS DE SCHMIDT (CHAPMAN Y BARTELS, 1940) Y REFERIDOS A UN RADIO DE 6371.2 Km. PARA CONVERTIR COORDENADAS GEOGRAFICAS A COORDENADAS POLARES ESFERICAS, EL USO DEL ELIPSOIDE INTERNACIONAL ES RECOMENDADO: RADIO ECUATORIAL DE 6378.160 Km. Y FACTOR DE - ACHATAMIENTO DE 1/298.25 (UNION ASTRONÓMICA INTERNACIONAL, 1966).

Tabla. COEFICIENTES ARMÓNICOS ESFERICOS DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO INTERNACIONAL DE REFERENCIA 1980.

			DGRF			IGRF	
	n	m	1965	1970	1975	1980	1980-85
			nT	nT	nT	nT	nT/yr
g	1	0	-30334	-30220	-30100	-29988	22.4
g	1	1	-2119	-2068	-2013	-1957	11.3
h	1	1	5776	5737	5675	5606	-15.9
g	2	0	-1662	-1781	-1902	-1997	-18.3
g	2	1	2997	3000	3010	3028	3.2
h	2	1	-2016	-2047	-2067	-2129	12.7
g	2	2	1594	1611	1632	1662	7.0
h	2	2	114	25	-68	-199	-25.2
g	3	0	1297	1287	1276	1279	0.0
g	3	1	-2038	-2091	-2144	-2181	-6.5
h	3	1	-404	-366	-333	-335	0.2
g	3	2	1292	1278	1260	1251	-0.7
h	3	2	240	251	262	271	2.7
g	3	3	856	838	830	833	1.0
h	3	3	-165	-196	-223	-252	-7.9
g	4	0	957	952	946	938	-1.4
g	4	1	804	800	791	783	-1.4
h	4	1	148	167	191	212	4.6
g	4	2	479	461	438	398	-8.2
h	4	2	-269	-266	-265	-257	1.6
g	4	3	-390	-395	-405	-419	-1.8
h	4	3	13	26	39	53	2.9
g	4	4	252	234	216	199	-5.0
h	4	4	-269	-279	-288	-298	0.4
g	5	0	-219	-216	-218	-219	1.5
g	5	1	358	359	356	357	0.4
h	5	1	19	26	31	46	1.8
g	5	2	254	262	264	261	-0.8
h	5	2	128	139	148	149	-0.4
g	5	3	-31	-42	-59	-74	-3.3

h	5	3	-126	-139	-152	-150	0.0
g	5	4	-157	-160	-159	-162	0.2
h	5	4	-97	-91	-83	-78	1.3
g	5	5	-62	-56	-49	-48	1.4
h	5	5	81	83	88	92	2.1
g	6	0	45	43	45	49	0.4
g	6	1	61	64	66	65	0.0
h	6	1	-11	-12	-13	-15	-0.5
g	6	2	8	15	28	42	3.4
h	6	2	100	100	99	95	-1.4
g	6	3	-228	-212	-198	-192	0.8
h	6	3	68	72	75	71	0.0
g	6	4	4	3	1	4	0.8
h	6	4	-32	-37	-41	-43	-1.6
g	6	5	1	3	6	14	0.3
h	6	5	-8	-6	-4	-2	0.5
g	6	6	-111	-112	-111	-108	-0.1
h	6	6	-7	1	11	17	0.0
g	7	0	76	72	71	70	-1.0
g	7	1	-57	-57	-56	-59	-0.8
h	7	1	-61	-70	-77	-86	-0.4
g	7	2	4	1	1	2	0.4
h	7	2	-27	-27	-26	-28	0.4
g	7	3	13	14	16	20	0.5
h	7	3	-2	-4	-5	-5	0.2
g	7	4	-26	-22	-14	-13	1.6
h	7	4	6	8	10	16	1.4
g	7	5	-6	-2	0	1	0.1
h	7	5	26	23	23	18	-0.5
g	7	6	13	13	12	11	0.1
h	7	6	-23	-23	-23	-23	-0.1
g	7	7	1	-2	-5	-2	0.0
h	7	7	-12	-11	-12	-10	1.1
g	8	0	13	14	14	20	0.8
g	8	1	5	6	6	7	-0.2
h	8	1	7	7	6	7	-0.1
g	8	2	-4	-2	-1	1	-0.3
h	8	2	-12	-15	-16	-18	-0.7
g	8	3	-14	-13	-12	-11	0.3
h	8	3	9	6	4	4	0.0
g	8	4	0	-3	-8	-7	-0.8
h	8	4	-16	-17	-19	-22	-0.8
g	8	5	8	5	4	4	-0.2
h	8	5	4	6	6	9	0.2
g	8	6	-1	0	0	3	0.7
h	8	6	24	21	18	16	0.2
g	8	7	11	11	10	7	-0.3
h	8	7	-3	-6	-10	-13	-1.1
g	8	8	4	3	1	-1	1.2
h	8	8	-17	-16	-17	-15	0.8
g	9	0	8	8	7	6	
g	9	1	10	10	10	11	
h	9	1	-22	-21	-21	-21	
g	9	2	2	2	2	2	
h	9	2	15	16	16	16	
g	9	3	-13	-12	-12	-12	
h	9	3	7	6	7	9	
g	9	4	10	10	10	9	
h	9	4	-4	-4	-4	-5	
g	9	5	-1	-1	-1	-3	
h	9	5	-5	-5	-5	-7	
g	9	6	-1	0	-1	-1	
h	9	6	10	10	10	9	
g	9	7	5	3	4	7	

h	9	7	10	11	11	10
g	9	8	1	1	1	1
h	9	8	-4	-2	-5	-6
g	9	9	-2	-1	-	-5
h	9	9	1	1		2
g	10	0	-2	-3	-3	-3
g	10	1	-5	-3	-	-4
h	10	1	2	1	1	1
g	10	2	2	2	2	2
h	10	2	1	1	1	1
g	10	1	-5	-5	-5	-5
h	10	3	2	3	3	2
g	10	4	-2	-1	-2	-2
h	10	4	6	4	4	5
g	10	5	4	6	5	5
h	10	5	-4	-4	-4	-4
g	10	6	4	4	4	3
h	10	6	0	0	-1	-1
g	10	7	0	1	1	1
h	10	7	-2	-1	-1	-2
g	10	8	2	0	0	2
h	10	8	3	3	3	4
g	10	9	2	3	3	3
h	10	9	0	1	1	-1
g	10	10	0	-1	-1	0
h	10	10	-6	-4	-5	-6