



1112

# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**ANALISIS DE LOS EFECTOS TOPOGRAFICOS  
EN EL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS  
DEL METODO TURAM.**

## **TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el título de  
**INGENIERO GEOFISICO**

presenta

**ALEJANDRO CUEVAS COVARRUBIAS**

México, D. F.

1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



FACULTAD DE INGENIERIA  
Dirección  
60-1-80

Señor CUEVAS COVARRUBIAS ALEJANDRO.  
P r e s e n t e .

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

"ANALISIS DE LOS EFECTOS TOPOGRAFICOS EN EL PROCESAMIENTO DE  
LOS DATOS DEL METODO TURAM"

PROLOGO.

- I. PRINCIPIOS DE LA PROSPECCION ELECTROMAGNETICA.
  - II. METODO ELECTROMAGNETICO TURAM.
  - III. CAMPOS MAGNETICOS EN PUNTOS TOPOGRAFICOS DISTINTOS DEL EMISOR.
  - IV. EFECTO TOPOGRAFICO EN LOS DATOS DEL METODO TURAM.
- CONCLUSIONES.  
BIBLIOGRAFIA.

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

Atentamente.  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., 5 de agosto de 1982.  
EL DIRECTOR

Ing. Javier Jiménez Espriú.

JJE'MRV:gtg

## I N D I C E

PROLOGO	.... 1
I.- PRINCIPIOS DE LA PROSPECCION ELECTROMAGNETICA.	.... 6
I.1.- Generalidades.	.... 6
I.2.- Ecuaciones generales.	.... 7
I.3.- Potencial magnético.	....12
I.4.- Campo magnético debido a distintas fuentes.	....15
I.4.a.- Campo magnético debido a un cable largo y aterrizado.	....16
I.4.b.- Campo magnético debido a una bobina rectangular.	....18
I.4.c.- Campo magnético debido a otras fuentes.	....20
I.5.- Polarización elíptica.	....25
II.- METODO ELECTROMAGNETICO TURAM	....30
II.1.- Generalidades.	....30
II.2.- Instrumental.	....31
II.3.- Modalidades del emisor.	....32
II.4.- Procedimiento de campo.	....34
II.5.-Procesamiento y presentación de los datos de campo.	....38
II.6.-Interpretación.	....43

III.- CAMPO MAGNETICO EN PUNTOS TOPO- GRAFICOS DISTINTOS AL DEL EMISOR. ....	56
III.1.- Campo magnético en un punto situado al mismo nivel del emisor. ....	56
III.2.- Campo magnético en un punto situado a un nivel distinto al del emisor. ....	57
III.3.- Campo magnético en un punto a un nivel distinto al del emisor con cierta inclinación respecto a la horizontal. ....	60
III.4.- Campo magnético en un punto debido a un conjunto de segmentos. ....	65
IV.- EFECTO TOPOGRAFICO EN LOS DATOS DEL METODO TURAM. ....	70
IV.1.- Generalidades. ....	70
IV.2.- Bobina localizada en un plano. ....	73
IV.3.- Bobina localizada en una pendiente. ....	80
IV.4.- Bobina localizada en un valle. ....	86
IV.5.- Bobina localizada en una cresta. ...	91
IV.6.- Modelo de aplicación teórica. ....	99
IV.7.- Aplicación en un caso real. ...	109
CONCLUSIONES. ....	127
B I B L I O G R A F I A. ....	131
APENDICE I	
APENDICE II	

## PROLOGO.

### MOTIVO Y ALCANCE DEL PRESENTE TRABAJO.

DEBIDO A QUE CADA DÍA SE HACEN MÁS NECESARIOS LOS RECURSOS NATURALES DE NUESTRO PLANETA Y QUE ALGUNOS DE ÉSTOS, COMO LOS YACIMIENTOS MINERALES, SON NO RENOVABLES, SE HACE NECESARIO RECURRER A NUEVAS TÉCNICAS QUE PERMITAN LOCALIZARLOS A PROFUNDIDADES DONDE LA TECNOLOGÍA MÁS AVANZADA PERMITA EXPLOTARLOS, YA QUE LOS EXISTENTES EN AFLORAMIENTOS HAN SIDO CASI AGOTADOS.

PARA ELLO HA SURGIDO LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA COMO UNA TÉCNICA QUE PERMITE "VER" LOS YACIMIENTOS MINERALES QUE ESTÁN CUBIERTOS POR UNA CAPA DE ROCA SUPERFICIAL.

LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA ES UNA CIENCIA RELATIVAMENTE JOVEN, POR LO QUE CONSTANTEMENTE SE ESTÁN REALIZANDO PERFECCIONAMIENTOS TANTO EN LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN COMO EN EL PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO.

LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA UTILIZA LAS DIFERENTES PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ROCAS, RADIOACTIVIDAD, ELASTICIDAD, DENSIDAD, SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA Y RESISTIVIDAD PARA REALIZAR LOS DESCUBRIMIENTOS POR MEDIO DE LOS MÉTODOS RADIOMÉTRICO, SISMOLÓGICO, GRAVIMÉTRICO, MAGNETOMÉTRICO Y GEOELÉCTRICO RESPECTIVAMENTE.

ANTE LA IMPOSIBILIDAD DE PODER ABARCAR TODOS LOS MÉTODOS, EN EL PRESENTE TRABAJO SE EXPONDRÁ EL MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO SISTEMA TURAM.

ESTE MÉTODO PERTENECE A LA PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA QUE -- SIRVE PARA EL ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA GEOLÓGICA DE LA CORTEZA TERRESTRE EN BASE A LAS DIFERENTES PROPIEDADES DE LAS ROCAS, -- LAS QUE DEPENDEN DE LA COMPOSICIÓN, TEXTURA Y DISPOSICIÓN DE -- LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS.

EN LA PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA SE HACE PASAR A TRAVÉS DEL TERRENO UNA CORRIENTE ELÉCTRICA CONTÍNUA O ALTERNA, YA SEA INDUCTIVA O GALVANICA O BIEN UNA COMBINACIÓN DE ÉSTAS Y SE MIDE, MEDIANTE EQUIPOS ESPECIALIZADOS, LOS PARÁMETROS (VOLTAJES, CAMPO MAGNÉTICO ETC.) CAUSADOS POR LA CORRIENTE.

ES CLARO QUE EN LA PRÁCTICA RARA VEZ SE PRESENTE EL CASO EN EL QUE LA TOPOGRAFÍA SEA PLANA, SIN EMBARGO, LA MAYORÍA DE LAS TÉCNICAS EN EL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO SE BASA EN ÉSTA SUPOSICIÓN.

ESTE TRABAJO ES UN INTENTO POR PRESENTAR A LOS INTERESADOS UNA TÉCNICA QUE CALCULA LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS TOMANDO - EN CONSIDERACIÓN LA RUGOSIDAD DEL TERRENO Y LOS POSIBLES EFECTOS QUE PUEDA TENER SOBRE LOS DATOS DEL MÉTODO TURAM.

SE EXPONDRÁ ADEMÁS LOS DIFERENTES ASPECTOS DEL MÉTODO ---  
TURAM COMO SON EL TRABAJO DE CAMPO, EQUIPO UTILIZADO Y EL PRO-  
CESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO.

#### NOCIONES SOBRE EL MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO.

CUANDO, POR MEDIO DE UN CIRCUITO PRIMARIO, PRODUCIMOS UN  
CAMPO ELECTROMAGNÉTICO CON UNA FUENTE DE CORRIENTE ALTERNA, SE  
INDUCIRÁ EN OTROS CONDUCTORES, QUE ESTÉN DENTRO DEL CAMPO, --  
CORRIENTES ELÉCTRICAS QUE A SU VEZ PRODUCIRÁN CAMPOS ELECTRO-  
MAGNÉTICOS SECUNDARIOS.

LA INTENSIDAD DEL CAMPO INDUCIDO DEPENDERÁ, ENTRE OTROS -  
FACTORES, DE LA RESISTIVIDAD DEL CONDUCTOR Y DE LA FRECUENCIA  
DEL CAMPO PRIMARIO.

EL CAMPO RESULTANTE DIFERIRÁ, EN CUALQUIER PUNTO DE LA SU-  
PERFICIE, DEL PRIMARIO EN INTENSIDAD, DIRECCIÓN Y FASE.

EN UN MEDIO HOMOGÉNEO EL CAMPO EN CUALQUIER PUNTO OSCILARÁ  
A LO LARGO DE UNA LÍNEA DETERMINADA Y PUEDE REPRESENTARSE POR  
UN VECTOR CUYO MÓDULO Y DIRECCIÓN DEPENDEN DE LA POSICIÓN RELA-  
TIVA DE LA FUENTE Y DEL TIPO DE TRANSMISOR UTILIZADO (CABLE, --  
CÍRCULO ETC.).

AL EXISTIR UN CUERPO PERTURBADOR, QUE ES EL CASO QUE NOS INTERESA, EL CAMPO NO OSCILARÁ EN UNA DIRECCIÓN FIJA Y SE VERÁ AFECTADO. LA SUMA DEL CAMPO PRIMARIO CON EL SECUNDARIO, ÉSTE ORIGINADO POR EL CUERPO, NOS DESCRIBIRÁ UNA ELIPSE DE POLARIZACIÓN A LO LARGO DE ÉSTAS OSCILACIONES.

CUANDO LOS PLANOS DE LAS BOBINAS RECEPTORAS Y DE LA ELIPSE COINCIDEN, LA TENSIÓN INDUCIDA EN AQUELLAS ES NULA Y EXISTE UNA Y SÓLO UNA POSICIÓN DE LA BOBINA EN LA CUAL ÉSTO SUCEDE.

#### CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS ELECTROMAGNÉTICOS.

LA ELIPSE DE POLARIZACIÓN ES APROVECHADA POR LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN ELECTROMAGNÉTICOS LOS CUALES MIDEN UNA O VARIAS CARACTERÍSTICAS DE ÉSTA.

EN BASE A ÉSTO SE HAN DESARROLLADO VARIOS MÉTODOS ENTRE LOS CUALES PODEMOS CITAR LOS SIGUIENTES QUE SON DE USO MÁS POPULAR.

1) MÉTODOS DONDE LA FUENTE DEL CAMPO PRIMARIO PERMANECE FIJA MIENTRAS EL RECEPTOR ES EL QUE SE MUEVE.

A) MÉTODO DE INCLINACIÓN DE CAMPO.

B) MÉTODO DEL COMPENSADOR. PARA LA MEDICIÓN DE LAS COMPONENTES REAL E IMAGINARIA.

- c) MÉTODO DE DOS BOBINAS PARA LA COMPARACIÓN DE AMPLITUDES.
- d) MÉTODO TURAM.

2) MÉTODOS EN LOS QUE TANTO EL EMISOR COMO EL RECEPTOR SE MUEVEN.

- A) BOBINAS COPLANARES HORIZONTALES.
- B) BOBINAS COPLANARES VERTICALES.
- C) BOBINAS COAXIALES.

LOS MÉTODOS DEL SEGUNDO GRUPO PUEDEN TENER UNA GRAN VARIEDAD DE DIVISIONES DEPENDIENDO DE LA POSICIÓN DE LAS BOBINAS EMISORAS Y RECEPTORAS. AQUÍ SÓLO MENCIONAMOS LAS DE MAYOR USO.

## I.-PRINCIPIOS DE LA PROSPECCION ELECTROMAGNETICA.

### I.1.-GENERALIDADES.

PARA EL ESTUDIO DE LOS MÉTODOS ELECTROMAGNÉTICOS SE CONSIDERAN LOS VECTORES INDUCCIÓN MAGNÉTICA ( $\mathbf{B}$ ), CAMPO ELÉCTRICO -- ( $\mathbf{E}$ ), CAMPO MAGNÉTICO ( $\mathbf{H}$ ), DESPLAZAMIENTO ELÉCTRICO ( $\mathbf{D}$ ), ADEMÁS DE CONSIDERAR LA CONDUCTIVIDAD ( $\sigma$ ), CONSTANTE DIELECTRICA ( $\epsilon$ ) Y LA PERMEABILIDAD MAGNÉTICA ( $\mu$ ) DE LOS MEDIOS.

MEDIANTE EL EMPLEO DE ÉSTOS CUATRO VECTORES SE PUEDEN DEFINIR LAS ECUACIONES NECESARIAS PARA PODER CALCULAR EL CAMPO -- ELECTROMAGNÉTICO DEBIDO A DISTINTAS FUENTES, SEAN NATURALES O -- ARTIFICIALES. EN EL PRESENTE TRABAJO NOS INTERESAN ÉSTAS ÚLTIMAS.

SE SUPONDRÁ QUE EL TERRENO ESTÁ CONSTITUIDO POR ZONAS DENTRO DE LAS CUALES LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, LA PERMEABILIDAD MAGNÉTICA Y LA CAPACIDAD DIELECTRICA SON ISOTRÓPICAS Y CONSTANTES.

SOLAMENTE SE CALCULARÁ LA INTENSIDAD DEL CAMPO EN PUNTOS DONDE SE LOCALIZA EL RECEPTOR.

EN NUESTRO CASO NOS INTERESAN LOS MÉTODOS ELECTROMAGNÉTICOS DE CAMPO VARIABLE (TURAM), EN SU MODALIDAD DE CALICATA, QUE SE UTILIZA PARA LA LOCALIZACIÓN EN EL SUBSUELO DE CUERPOS CONDUCTORES, ESPECIALMENTE YACIMIENTOS METÁLICOS.

LA IDÉA DEL MÉTODO ES CREAR UN CAMPO ELECTROMAGNÉTICO (CAMPO PRIMARIO) PARA PRODUCIR CORRIENTES INDUCIDAS EN LOS CUERPOS CONDUCTORES QUE A SU VEZ PRODUCIRÁN UN CAMPO SECUNDARIO EL CUAL SE SOBREPONDRÁ AL PRIMARIO.

EL CAMPO RESULTANTE SE PUEDE DETECTAR EN LA SUPERFICIE DEL TERRENO MEDIANTE EQUIPOS ESPECIALIZADOS Y NOS INDICARÁ LA PRESENCIA DE CUERPOS CONDUCTORES.

LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ANOMALÍA PRODUCIDA POR EL CUERPO PERTURBADOR NOS INDICARÁ LA PROFUNDIDAD, TAMAÑO Y CONDUCTIVIDAD DE ÉSTE.

#### 1.2.-ECUACIONES GENERALES.

DE LA LEY DE FARADAY'S Y LA LEY DE AMPERE PODEMOS PARTIR - PARA CALCULAR EL CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A CIRCUITOS PRIMARIOS - QUE SE UTILIZAN COMO TRANSMISORES EN LA PROSPECCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

LA PRIMERA ESTABLECE QUE EXISTE UN CAMPO ELÉCTRICO DENTRO DE LA REGIÓN DE UN CAMPO MAGNÉTICO QUE VARÍA CON EL TIEMPO, TAL QUE LA  $\mathcal{E}$ . INDUCIDA ES PROPORCIONAL A LA VARIACIÓN NEGATIVA DEL CAMBIO DEL FLUJO MAGNÉTICO.

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \dots 1$$

DONDE:

$\mathbf{E}$  INTENSIDAD DEL CAMPO ELÉCTRICO VOLTS/M ( $\text{MLT}^{-3}\text{I}^{-1}$ )

$\mathbf{B}$  INDUCCIÓN (FLUJO) MAGNÉTICA WEBER/M<sup>2</sup> ( $\text{MT}^{-2}\text{I}^{-1}$ )

LA SEGUNDA ESTABLECE QUE UN CAMPO MAGNÉTICO ES GENERADO EN EL ESPACIO POR UN FLUJO DE CORRIENTE Y QUE AQUEL ES PROPORCIONAL A LA CORRIENTE TOTAL (CONDUCCIÓN MÁS DESPLAZAMIENTO) EN LA REGIÓN. FIGURA 1.1.

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad \dots 2$$

DONDE:

$\mathbf{J}$  DENSIDAD DE CORRIENTE AMPERE/M<sup>2</sup> ( $\text{L}^{-2}\text{I}$ )

$\mathbf{D}$  DESPLAZAMIENTO ELÉCTRICO COULOMB/M<sup>2</sup> ( $\text{L}^{-2}\text{IT}$ )

$\mathbf{H}$  CAMPO MAGNÉTICO WEBER/M ( $\text{MLI}^{-1}\text{T}^{-2}$ )



FIG. I.1.— CAMPOS ELECTRICO "a" Y MAGNETICO "b"  
(SEGUN, GRANT & WEST, 1965)

COMO PODEMOS VER SI LE TOMAMOS LA DIVERGENCIA A ESTAS ECUACIONES TENDREMOS.

$$\nabla \cdot \nabla \times \mathbf{E} = -\nabla \cdot \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \cdot \mathbf{B}) = 0 \quad \dots 3a$$

$$\nabla \cdot \nabla \times \mathbf{H} = \nabla \cdot \mathbf{J} + \nabla \cdot \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = 0 \quad \dots 3b$$

DEBIDO A QUE LA DIVERGENCIA DEL ROTACIONAL ES IGUAL A CERO.

ADEMÁS SABEMOS QUE LA DIVERGENCIA DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE ES IGUAL A LA VARIACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE LA CARGA, POR LO QUE:

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad \dots 4$$

SIN EMBARGO EN REGIONES DE CONDUCTIVIDAD FINITA, QUE ES -  
UNA DE NUESTRAS CONSIDERACIONES, LA CARGA NO SE ACUMULA DURANTE  
EL FLUJO DE CORRIENTE, DE ESTA MANERA TENDREMOS:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \quad \dots 5$$

DE LA LEY DE OHM'S SE OBTIENEN OTRAS RELACIONES EMPÍRICAS-  
ENTRE LOS CUATRO VECTORES DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO QUE SON DE  
GRAN INTERÉS PARA NUESTRO OBJETIVO.

ESTAS ECUACIONES, EN EL ESPACIO LIBRE, SON:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} \quad \dots 6a$$

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} \quad \dots 6b$$

DONDE:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ HENRIOS/M (MLQ}^{-2}\text{)}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ FARAD/M (Q}^2\text{T}^{-2}\text{I}^{-1}\text{L}^{-3}\text{)}$$

CUANDO SE TRATA DE MEDIOS HOMOGÉNEOS E ISOTRÓPICOS TENEMOS:

$$B = \mu H \quad \dots 7a$$

$$D = \epsilon E \quad \dots 7b$$

$$J = \sigma E \quad \dots 7c$$

SUSTITUYENDO LAS ECUACIONES 7 EN 1 Y 2 OBTENEMOS:

$$\nabla \times E = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad \dots 8$$

$$\nabla \times H = \sigma E + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad \dots 9$$

A LA ECUACIÓN 9 SE LE SUMA EL TÉRMINO  $J$ . CUANDO EXISTE UNA DENSIDAD DE CORRIENTE OCASIONADA POR FUENTES INDEPENDIENTES DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO.

APLICANDO EL ROTACIONAL A LAS ECUACIONES 8 Y 9 Y COMO SOLO EN COORDENADAS RECTANGULARES ES VÁLIDA LA SIGUIENTE PROPIEDAD DEL ROTACIONAL,

$$\nabla \times \nabla \times C = \nabla(\nabla \cdot C) - \nabla \cdot \nabla C = \nabla(\nabla \cdot C) - \nabla^2 C$$

DONDE:  $\nabla^2 C$  ES EL OPERADOR LAPLACIANO Y  $C$  ES CUALQUIER FUNCIÓN VECTORIAL DERIVABLE Y CON SEGUNDA DERIVADA PARCIAL CONTÍ--  
NUA, TENEMOS DE 8 Y 9.

$$\nabla^2 E = \mu \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times H)$$

DE DONDE:  $\nabla^2 E = \mu \sigma \frac{\partial E}{\partial t} + \epsilon \mu \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \dots 10$

$$\nabla^2 H = -\sigma (\nabla \times E) - \epsilon \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times E)$$

FINALMENTE:  $\nabla^2 H = \mu \sigma \frac{\partial H}{\partial t} + \epsilon \mu \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \dots 11$

LAS ECUACIONES 10 Y 11 SATISFACEN LA ECUACIÓN DE LAPLACE'S EN MEDIOS POBREMENTES CONDUCTORES, DEBIDO A QUE EN ÉSTOS LAS CORRIENTES DE DESPLAZAMIENTO SON DESPRECIABLES Y A QUE  $\sigma \approx 0$ ,

### 1.3. POTENCIAL MAGNÉTICO.

EN LA TEORÍA DE POTENCIAL ES POSIBLE RESOLVER PROBLEMAS A PARTIR DEL POTENCIAL, OBTENIENDO LOS VECTORES DE CAMPO MEDIANTE UNA DIFERENCIACIÓN APROPIADA.

EN LA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA SUCEDE LO MISMO, POR LO QUE ES CONVENIENTE INTRODUCIR AQUÍ EL VECTOR DEL POTENCIAL MAGNÉTICO A PARTIR DEL CUAL SE OBTIENEN LOS VECTORES DEL CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO.

ESTE VECTOR NO TIENE EL SIGNIFICADO FÍSICO DEL POTENCIAL ESCALAR EN GRAVITACIÓN Y EN ELECTROSTÁTICA, SIN EMBARGO, ES UNA CONVENIENCIA MATEMÁTICA DE GRAN AYUDA EN LA OBTENCIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.

SE DEFINE AL POTENCIAL MAGNÉTICO EN TÉRMINOS DE LA INDUCCIÓN MAGNÉTICA COMO:

$$\nabla \times \mathbf{A} = \mathbf{B} \quad \dots 12$$

DONDE:

$\mathbf{A}$  ES EL VECTOR DEL POTENCIAL MAGNÉTICO WEBER/M  
( $\text{MLQ}^{-1} \text{T}^{-1}$ )

DE 1 TENEMOS:

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \mathbf{A}) \quad \dots 13$$

ESTA ECUACIÓN SE SATISFACE CUANDO:

$$\mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad \dots 14$$

$$\text{DE 5} \quad \nabla \cdot \mathbf{E} = 0 = -\frac{\partial}{\partial t} \nabla \cdot \mathbf{A}$$

POR LO QUE:

$$\nabla \cdot \mathbf{A} = 0 \quad \dots 15$$

TOMANDO EL ROTACIONAL A LA ECUACIÓN 12 Y SUSTITUYENDO LAS ECUACIONES 7a, 9 Y 14 RESPECTIVAMENTE TENDREMOS FINALMENTE:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{A}) = -\mu \sigma \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial t^2} \dots 16$$

DE LA PROPIEDAD DEL ROTACIONAL ANTES MENCIONADA TENEMOS -- QUE LA ECUACIÓN 16 SE NOS SIMPLIFICA A:

$$\nabla^2 \mathbf{A} = \mu \sigma \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial t^2} \dots 17$$

ESTA ECUACIÓN TAMBIÉN SATISFACE LA ECUACION DE LAPLACE'S, AL IGUAL QUE LAS ECUACIONES 10 Y 11, EN MEDIOS POBREMENES CONDUCTORES, POR LO EXPLICADO ANTERIORMENTE.

SIN EMBARGO EN LA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA ES DIFÍCIL DEFINIR LAS CONDICIONES DE FRONTERA PARA SATISFACER LAS ECUACIONES 10 Y 11 CUANDO LA CONDUCTIVIDAD ES FINITA, POR LO QUE LA INTRODUCCIÓN DEL POTENCIAL MAGNÉTICO  $\mathbf{A}$ , A PARTIR DE LOS CAMPOS  $\mathbf{E}$  Y  $\mathbf{H}$  ES DE GRAN UTILIDAD PUES REDUCE EL NÚMERO DE INCÓGNITAS Y SIMPLIFICA EL PROBLEMA,

SUSTITUYENDO LAS ECUACIONES 7 EN LA 17 Y CONSIDERANDO QUE LAS CORRIENTES DE DESPLAZAMIENTO SON DESPRECIABLES TENEMOS:

$$\nabla^2 A = -\mu_0 \int_V \mathbf{J} dV = -\mu_0 \mathbf{J} \quad \dots 18$$

ESTA RELACIÓN TIENE GRAN SEMEJANZA CON LA ECUACIÓN DE --- POISSON'S EN GRAVIMETRÍA Y MAGNETOMETRÍA CUYA SOLUCIÓN ES:

$$A = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\mathbf{J} dV}{r} \quad \dots 19$$

DONDE:  $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$

LA ECUACIÓN 19 ES EL VECTOR DEL POTENCIAL MAGNÉTICO A PARTIR DEL CUAL SE CALCULARÁN LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.

#### 1.4.-CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A DISTINTAS FUENTES.

LA LEY DE BIOT-SAVART, QUE ORIGINALMENTE FUÉ ESTABLECIDA PARA CAMPOS MAGNÉTICOS ESTÁTICOS, ES TAMBIÉN VÁLIDA PARA CORRIENTE ALTERNA DE BAJA FRECUENCIA Y CUANDO LA DISTANCIA ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR ES MENOR A UNA LONGITUD DE ONDA. FIGURA 1.4.1.

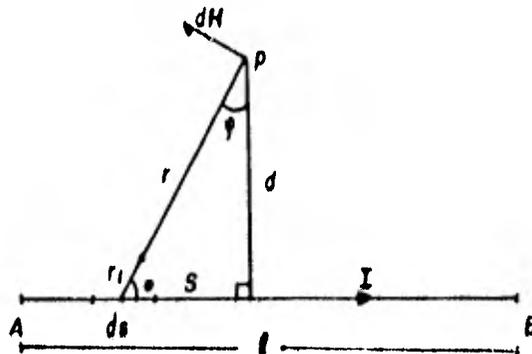


FIGURA 1.4.1 ILUSTRACIÓN DE LA LEY DE BIOT-SAVART,

DE LA ECUACIÓN 17 TENEMOS:

$$A = \frac{\mu}{4\pi} \int_{\text{vol}} \frac{J dv}{r} = \frac{\mu}{4\pi} \oint \frac{I ds}{r}$$

ADEMÁS:

$$dH = \frac{dB}{\mu} = \frac{\nabla \times dA}{\mu} = \frac{I ds}{4\pi} \left\{ \hat{r} \times \nabla \left( \frac{1}{r} \right) \right\}$$

$$dH = \frac{I ds \times \hat{r}}{4\pi r} \quad \dots 20$$

DONDE:  $dH$  ES LA INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO EN EL PUNTO P.

$I$  ES LA INTENSIDAD DE CORRIENTE.

$ds$  ELEMENTO DEL CONDUCTOR

$r$  DISTANCIA DE  $ds$  A P

$\theta$  ÁNGULO ENTRE  $r$  Y  $ds$

$\hat{r}$  VECTOR UNITARIO EN LA DIRECCIÓN DE  $r$

$dH$  ES PERPENDICULAR AL PLANO FORMADO POR  $r$  Y  $ds$  Y SU DIRECCIÓN EN LA FIGURA 1.4.1 ES HACIA AFUERA DEL PAPEL.

1.4a, -- CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A UN CABLE LARGO Y ATERRIZADO.

OBSERVANDO LA FIGURA 1.4.1 PODEMOS HACER CIERTAS CONSIDERACIONES Y TENDREMOS:

$$r = d \sec \gamma \quad s = d \tan \gamma \quad ds = d \sec^2 \gamma d\gamma$$

SUSTITUYENDO ÉSTAS ECUACIONES EN LA 20 Y TOMANDO EN CONSIDERACIÓN QUE:

$$ds \times r_i = ds \cdot l \cdot \text{Sen } \theta$$

TENDREMOS:

$$dH = \frac{I d \text{Sec}^2 \varphi \text{Sen} \theta d\varphi}{4\pi d^2 \text{Sec}^3 \varphi}$$

$$dH = \frac{I}{4\pi d} \text{Cos} \varphi d\varphi$$

INTEGRANDO:

$$H = \frac{I}{4\pi d} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \text{Cos} \varphi d\varphi$$

$$\therefore \boxed{H = \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen} \varphi_2 - \text{Sen} \varphi_1)} \quad \dots 21$$

SI EL CABLE SE CONSIDERA DE LONGITUD INFINITA ENTONCES:

$$l \gg d, \varphi_2 = \pi/2, \varphi_1 = -\pi/2$$

Y EL CAMPO MAGNÉTICO ESTARÁ DADO POR:

$$H = \frac{I}{2\pi d}$$

## 1.4b.- CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A UNA BOBINA RECTANGULAR.

GENERALIZANDO LA ECUACIÓN 21 SE PUEDE OBTENER EL CAMPO --  
 PRODUCIDO POR UNA BOBINA, LA CUAL SE ILUSTR EN LA FIGURA 1.4.2

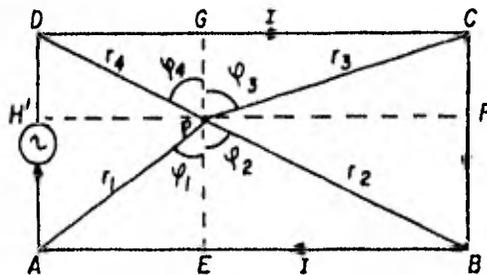


FIG. I 4.2 . — CAMPO DENTRO DE UNA BOBINA RECTANGULAR

DENTRO DE LA BOBINA EL CAMPO EN EL PUNTO P DEBIDO AL SEG--  
 MENTO AE ESTÁ DADO POR:

$$H(AE) = \frac{I}{4\pi} \frac{\sin\varphi_1}{EP} = \frac{I}{4\pi} \left( \frac{H'P}{EP} \right) \left( \frac{1}{r_1} \right)$$

ANÁLOGAMENTE PARA LOS SEGMENTOS EB, DG Y GC SE OBTIENEN -  
 LAS SIGUIENTES RELACIONES,  $\frac{I}{4\pi} \left( \frac{FP}{EP} \right) \left( \frac{1}{r_2} \right)$ ,  $\frac{I}{4\pi} \left( \frac{H'P}{GP} \right) \left( \frac{1}{r_3} \right)$  Y

$$\frac{I}{4\pi} \left( \frac{FP}{GP} \right) \left( \frac{1}{r_4} \right) \quad \text{RESPECTIVAMENTE,}$$

SUMANDO LAS ANTERIORES ECUACIONES OBTENDREMOS EL CAMPO TOTAL EN EL PUNTO P.

$$H_P = \frac{I}{4\pi} \left( \frac{r_1}{A_1} + \frac{r_2}{A_2} + \frac{r_3}{A_3} + \frac{r_4}{A_4} \right) \quad \dots 22$$

DONDE  $A_1, A_2, A_3$  Y  $A_4$  SON LAS ÁREAS DE LOS RECTÁNGULOS FORMADOS DENTRO DE LA BOBINA (MARCADOS POR LAS LÍNEAS PUNTEADAS - EN LA FIGURA 1.4.2)

UN ANÁLISIS SEMEJANTE SE PUEDE REALIZAR PARA CALCULAR EL CAMPO EN UN PUNTO FUERA DE LA BOBINA.

REFIRIÉNDONOS A LA SIGUIENTE FIGURA PODEMOS OBTENER UNA ECUACIÓN ANÁLOGA A LA 22.

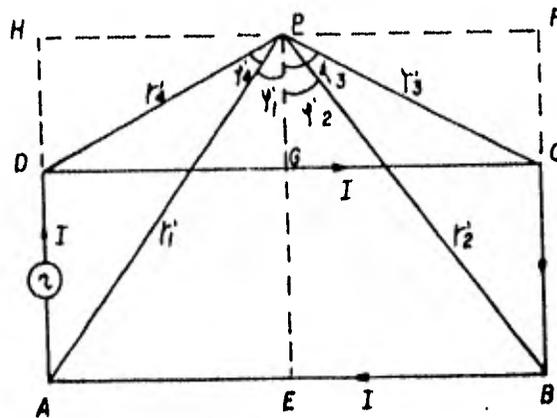


FIGURA 1.4.3 CAMPO MAGNÉTICO FUERA DE UNA BOBINA RECTANGULAR.

$$H(AE) = \frac{I \operatorname{Sen} \psi}{4\pi EP} = \frac{I}{4\pi} \left( \frac{H'P}{EP} \right) \left( \frac{1}{r'} \right)$$

$$H(AE) = \frac{I}{4\pi} \left( \frac{H'P}{EP} \right) \left( \frac{1}{r'} \right)$$

OBTENIENDO EXPRESIONES ANÁLOGAS A ÉSTA PARA LOS SEGMENTOS EB, DC Y CC Y SUMANDOLOS ALGEBRAICAMENTE TENDREMOS:

$$\therefore \boxed{H'_P = \frac{I}{4\pi} \left( \frac{r'_1}{A_1} + \frac{r'_2}{A_2} - \frac{r'_3}{A_3} - \frac{r'_4}{A_4} \right)} \quad \dots 23$$

DE ÉSTAS CONFIGURACIONES LAS DE USO MÁS COMÚN SON LAS DE CABLE ATERRIZADO Y LA DE BOBINA CERRADA CON LECTURAS FUERA DE ELLA.

1.4c.-CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A OTRAS FUENTES.

A CONTINUACIÓN SE MENCIONAN LOS CAMPOS DEBIDOS A OTRAS -- FUENTES QUE SON DE POCO USO EN EL MÉTODO TURAM.

CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A UNA BOBINA DE CUADRO PEQUEÑO.

SI EL CAMPO SE CALCULA A UNA DISTANCIA GRANDE, COMPARADA -- CON EL TAMAÑO DE LA BOBINA, SERÁ CONSIDERABLEMENTE DISTINTO A -- LOS CALCULADOS CON ANTERIORIDAD.

CONSIDERANDO LA FIGURA 1.4.4 OBTENEMOS LA ECUACIÓN 24

$$H_P = \frac{I_0}{4\pi r^3} \left\{ \frac{y - a/2}{\{1 - (a/r)\cos\psi + a^2/4r^2\}^{3/2}} - \frac{y + a/2}{\{1 + (a/r)\cos\psi + a^2/4r^2\}^{3/2}} + \right. \\ \left. + \frac{x - a/2}{\{1 - (a/r)\sin\psi + a^2/4r^2\}^{3/2}} - \frac{x + a/2}{\{1 + (a/r)\sin\psi + a^2/4r^2\}^{3/2}} \right\}$$

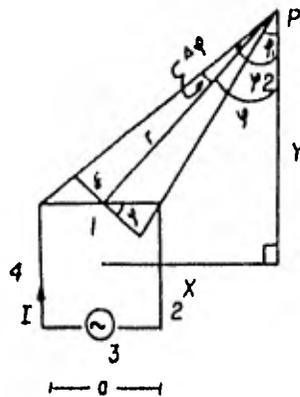


FIG. 1.4.4 CAMPO EN UN PUNTO LOCALIZADO A UNA GRAN DISTANCIA RESPECTO AL TAMAÑO DE LA BOBINA

CAMPO DEBIDO A UNA PEQUEÑA BOBINA CIRCULAR.

EL CAMPO NO NECESARIAMENTE SE CALCULA EN EL PLANO O EL EJE DEL TRANSMISOR COMO SE MUESTRA EN EL SIGUIENTE CASO.

REFIRIENDONOS A LA FIGURA 1.4.5 Y CONSIDERANDO LA ECUACIÓN 19 DEL VECTOR DEL POTENCIAL MAGNÉTICO SE PUEDE OBTENER LA ECUA-

CIÓN DEL CAMPO DEBIDO A UNA BOBINA CIRCULAR. ESTE CAMPO TIENE DOS COMPONENTES QUE SON:

$$H_r = \frac{3 I_0^2 r z}{4(r^2 + z^2)^{5/2}} \quad \text{Y} \quad H_z = \frac{I_0^2 (2z^2 - r^2)}{4(r^2 + z^2)^{5/2}} \quad 25$$

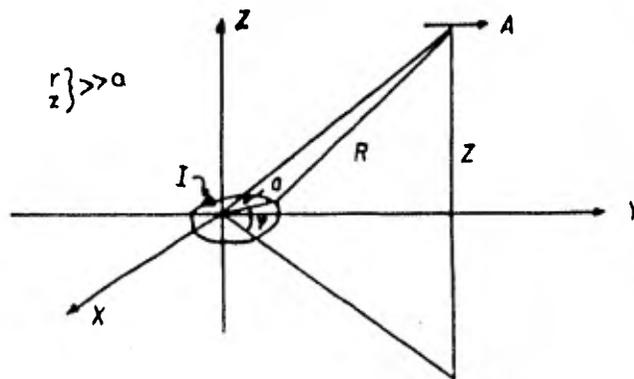


FIGURA 1.4.5 CAMPO EN UN PUNTO FUERA DEL PLANO DE LA BOBINA CIRCULAR.

EXISTEN DOS CASOS IMPORTANTES PARA LAS COMPONENTES DEL CAMPO MAGNÉTICO EN ÉSTE TIPO DE EMISOR.

1)  $r = 0$  SE OBTIENE EL CAMPO SOBRE EL EJE Z

$$H_z)_{r=0} = \frac{I_0^2}{2z^3} \quad z \gg a$$

CON UN ERROR MENOR AL 3%

2)  $z = 0$  SE OBTIENE EL CAMPO FUERA DE LA BOBINA - PERO EN EL MISMO PLANO.

$$H_z)_{z=0} = -\frac{I \sigma^2}{4r^3} \quad r \geq \sigma$$

CUANDO  $\sigma \ll r^2 + z^2$  LOS CASOS ANTERIORES SERÁN:

$$i) \quad H_z = \frac{I \sigma^2}{2(z^2 + \sigma^2)^{3/2}}$$

$$ii) \quad H_z)_{r=z=0} = \frac{I}{2\sigma}$$

CAMPO DEBIDO A UN CABLE RECTO Y VERTICAL.

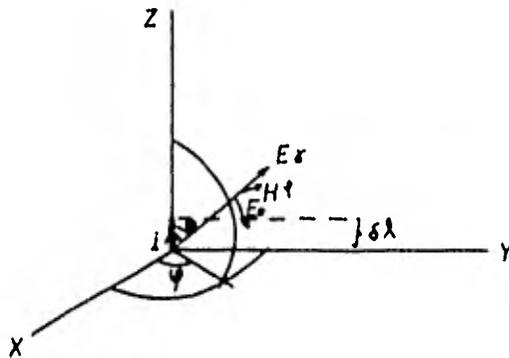
ESTE TIPO DE TRANSMISOR SE UTILIZA PRINCIPALMENTE EN ESTUDIOS AÉREOS Y MARINOS. CONSISTE EN UNA ANTENA EQUIVALENTE A UN CABLE VERTICAL ATERRIZADO.

EL CAMPO MAGNÉTICO, FIGURA 1.4.6, VIENE DADO POR LA EXPRESIÓN:

$$H_\phi = \frac{I \delta l}{4\pi} e^{i\omega(t-r/c)} \left( \frac{i\omega}{rc} + \frac{1}{r^2} \right) \text{Seno} \quad \dots 26$$

$$\text{DONDE: } C = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

LAS ECUACIONES 24, 25 Y 26 SE OBTUVIERON A PARTIR DEL VECTOR DEL POTENCIAL MAGNÉTICO, ECUACIÓN 19.



CAMPO PRODUCIDO POR UN CABLE CORTO EN UN PUNTO DISTANTE

FIG. 14.6

ES INTERESANTE HACER NOTAR QUE EL CAMPO PRODUCIDO POR UNA BOBINA CIRCULAR TAMBIÉN SE PUEDE CONSIDERAR COMO DIPOLO MAGNÉTICO (C.A.) Y SU CAMPO DECEDE CON EL INVERSO DEL CUBO DE SU DISTANCIA, COMPARADO CON EL DEL CABLE ATERRIZADO ÉSTE DECAIMIENTO ES MAYOR.

EL SISTEMA DE CABLE VERTICAL (UTILIZADO EN LA MODALIDAD VLF) ES TAMBIÉN CONOCIDO COMO DIPOLO ELÉCTRICO (C.A.) Y SU CAMPO A DISTANCIAS SUFICIENTEMENTE GRANDES DECAE CON EL INVERSO DE LA DISTANCIA.

PARA UN ANÁLISIS DE LAS ECUACIONES 24, 25 Y 26 VER APPLIED GEOPHYSICS, W.M. TELFORD

### 1.5.- POLARIZACIÓN ELÍPTICA.

OTRO FACTOR IMPORTANTE EN LA COMPRENSIÓN DE LAS ANOMALÍAS ELECTROMAGNÉTICAS OBTENIDAS CON LOS DIFERENTES EQUIPOS DE MEDICIÓN ES EL DE LA POLARIZACIÓN ELÍPTICA.

DEFINIENDO BIEN LAS CARACTERÍSTICAS DE ÉSTA ELÍPSE DE POLARIZACIÓN SE ENTENDERÁ MEJOR EL FENÓMENO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS, EN PUNTOS SITUADOS A CIERTA DISTANCIA DEL TRANSMISOR.

CUANDO SE SUMA AL CAMPO PRIMARIO UNO O MÁS SECUNDARIOS, DEBIDOS A CUERPOS CONDUCTORES, SU RESULTANTE FORMARÁ UNA ELÍPSE POR ENCONTRARSE GIRANDO EN EL ESPACIO CAMBIANDO CONTINUAMENTE DE MAGNITUD PERO NUNCA HACIÉNDOSE NULA COMO SE PUEDE APRECIAR EN LA FIGURA 1.5.1

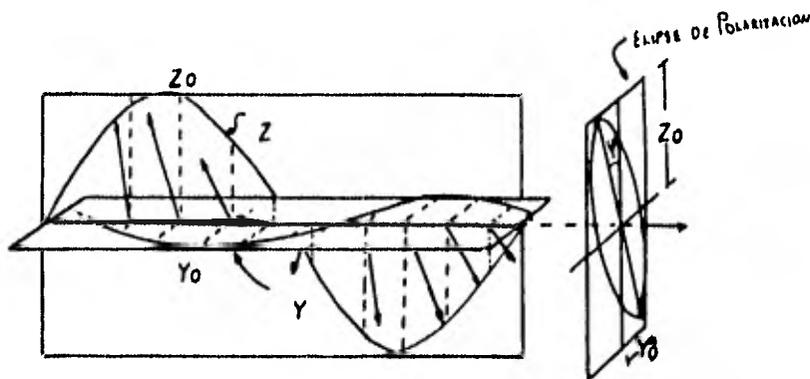


FIG. 1.5.1 POLARIZACIÓN ELÍPTICA RESULTANTE DE LA COMPOSICIÓN DE DOS COMPONENTES, HORIZONTAL "Y" Y VERTICAL "Z", (EN CUADRATURA)

EN LA FIGURA 1.5.1 LA PROYECCIÓN DE LA RESULTANTE SOBRE EL PLANO, A LA DERECHA DE LA FIGURA, DESCRIBIRÁ LO QUE SE CONOCE COMO ELÍPSE DE POLARIZACIÓN.

A CONTINUACIÓN EXPLICAREMOS COMO ES QUE SE FORMA ÉSTA RESULTANTE.

EL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRIMARIO (P) PRODUCIDO POR UN CIRCUITO EMISOR, INDUCIRÁ UNA *f.e.m.* EN EL CUERPO CONDUCTOR - QUE ESTARÁ RETRASADA  $\pi/2$  RESPECTO AL PRIMARIO. ESTA *f.e.m.*, ALTERNANDO A LA MISMA FRECUENCIA QUE P, CREARÁ UN CAMPO ELECTROMAGNÉTICO SECUNDARIO (S) QUE SE RETRASARÁ UN ÁNGULO  $\varphi$  RESPECTO A ELLA. FIGURA 1.5.2

LA SUMA VECTORIAL DE P CON S NOS DARÁ UN CAMPO RESULTANTE R EL CUAL DESCRIBE UNA ELIPSE, MOSTRADA EN LA FIGURA 1.5.1

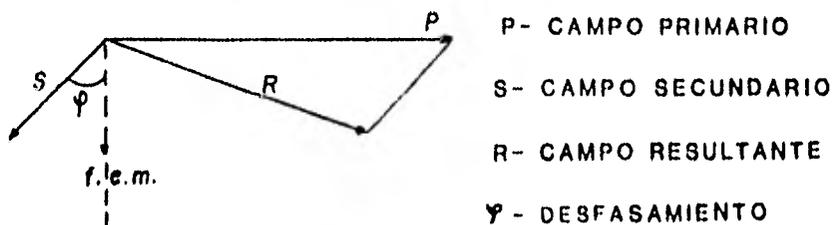


FIG. 1.5.2

ANTES DE DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS DE ÉSTA ELIPSE, SE --  
HARÁN LAS SIGUIENTES SUPOSICIONES.

1) LAS INTENSIDADES DE LOS CAMPOS SON ORTOGONALES.

2) LA INTENSIDAD DEL CAMPO SECUNDARIO SE DEBE A LA  
PRESENCIA DE UN CUERPO CONDUCTOR.

SEA: 
$$H_p = A \text{ Sen } \omega t \quad \dots \quad 27a$$

Y 
$$H_s = B \text{ Cos } (\omega t - \varphi) \quad \dots \quad 27b$$

DOS VECTORES REPRESENTATIVOS DEL CAMPO PRIMARIO Y SECUNDARIO,  
P Y S EN LA FIGURA 1.5.2, RESPECTIVAMENTE, DONDE A Y B SON ---  
FUNCIONES DE LA GEOMETRÍA DEL TRANSMISOR, DEL CONDUCTOR Y DEL  
RECEPTOR.

DE LAS ECUACIONES 27a Y 27b PODEMOS OBTENER.

$$\text{Cos}(\omega t - \varphi) = \sqrt{(1 - H_p^2/A^2) \text{Cos}^2 \varphi} + \frac{H_p}{A} \text{Sen} \varphi$$

$$\cos(\omega t - \varphi) = H_s/B$$

ELEVANDO AL CUADRADO Y SIMPLIFICANDO TENDREMOS:

$$\frac{H_s^2}{B^2} - \frac{2H_sH_p}{AB} \operatorname{Sen} \varphi + \frac{H_p^2}{A^2} (\operatorname{Cos}^2 \varphi + \operatorname{Sen}^2 \varphi) = \operatorname{Cos}^2 \varphi$$

FINALMENTE:

$$\boxed{\frac{H_p^2}{A^2 \operatorname{Cos}^2 \varphi} + \frac{H_s^2}{B^2 \operatorname{Cos}^2 \varphi} - \frac{2H_p H_s \operatorname{Sen} \varphi}{AB \operatorname{Cos}^2 \varphi} = 1} \quad \dots 23$$

LA CUAL ES LA ECUACIÓN DE UNA ELIPSE CUYO EJE MAYOR ESTÁ REPRESENTADO POR  $H_p$  MAYOR A  $H_s$ .

EN LA DEDUCCIÓN ANTERIOR SE HIZO LA SUPOSICIÓN DE QUE LOS CAMPOS PRIMARIO Y SECUNDARIO SON ORTOGONALES, POR LA SENCILLES DE LOS CÁLCULOS, SIN EMBARGO ÉSTE NO ES SIEMPRE EL CASO. CUANDO LOS CAMPOS DIFIEREN UN ÁNGULO  $\alpha$  EL CÁLCULO SE HACE MÁS COMPLICADO, PARA LOS QUE ESTÉN INTERESADOS AL RESPECTO SE RECOMIENDA VER GRAN & WEST.

REFIRIENDONOS A LA ECUACIÓN 23 EXISTEN DOS CASOS QUE SON -

DE CONSIDERABLE IMPORTANCIA.

a)  $\varphi = \pi/2$  POR LO QUE LA ECUACIÓN SE SIMPLIFICA A:

$$\left(\frac{H_p}{A} - \frac{H_s}{B}\right)^2 = 0 \quad \text{ó} \quad BH_p - AH_s = 0$$

LA CUAL ES LA ECUACIÓN DE UNA RECTA CON PENDIENTE B/A QUE CRUZA EL ORIGEN DE COORDENADAS.

ESTE CASO CORRESPONDE A LA PRESENCIA DE UN BUEN CONDUCTOR.

b)  $\varphi = 0$  Y LA ECUACIÓN 28 SE REDUCE A:

$$\frac{H_p^2}{A^2} + \frac{H_s^2}{B^2} = 1$$

QUE ES LA ECUACIÓN DE UN CÍRCULO Y CORRESPONDE A UN MAL CONDUCTOR.

## II.- METODO ELECTROMAGNETICO TURAM.

### II.1.- GENERALIDADES.

EL MÉTODO TURAM ES UNA TÉCNICA DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA LA CUAL EMPLEA COMO CIRCUITOS EMISORES A CABLES LARGOS ATERRIZADOS O BOBINAS AISLADAS.

MEDIANTE DOS BOBINAS SE MIDE LA RELACIÓN ENTRE AMPLITUDES Y LA DIFERENCIA DE FASE ENTRE LAS TENSIONES INDUCIDAS EN CADA UNA DE ELLAS POR MEDIO DE UN COMPENSADOR TIPO PUENTE.

LAS BOBINAS PUEDEN SER DE NÚCLEO DE AIRE O FIERRO Y ESTAR ORIENTADAS HORIZONTAL O VERTICALMENTE PARA PODER MEDIR LA COMPONENTE VERTICAL O LA HORIZONTAL RESPECTIVAMENTE.

EL ORIGEN DE ESTE MÉTODO ES SUECO Y SE DEBE A HELMER --- HEDSTRÖM, 1937. EL NOMBRE TURAM SE DERIVA DE LA PALABRA SUECA - "TVÁ-RAM" QUE SE TRADUCE AL ESPAÑOL COMO DOS BOBINAS.

LA APLICACIÓN DEL MÉTODO ES EN LA PROSPECCIÓN MINERA, PRINCIPALMENTE EN LA BUSQUEDA DE CUERPOS DE SULFUROS METÁLICOS CONDUCTORES.

ESTE MÉTODO TIENE CIERTAS VENTAJAS SOBRE LOS MÉTODOS DE FUENTES MÓVILES, TANTO EN EL TRABAJO DE CAMPO, POR LA RAPIDEZ EN EL LEVANTAMIENTO, COMO EN LA ATENUACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO LA CUAL SE EFECTÚA A UNA VARIACIÓN MENOR.

## 1F.2.- INSTRUMENTAL.

EL EQUIPO NECESARIO PARA EFECTUAR UN LEVANTAMIENTO CON EL SISTEMA TURAM CONSISTE POR UNA PARTE DEL EMISOR Y POR OTRA DEL RECEPTOR.

EMISOR.- LO CONSTITUYE EL MOTOR-GENERADOR Y EL CABLE AISLADO CON EL CUAL SE FORMA EL CIRCUITO PRIMARIO PARA CREAR EL CAMPO PRIMARIO.

ADEMÁS, SE CUENTA CON UNA CAJA DE CONTROL QUE VA CONECTADA ENTRE EL MOTOR-GENERADOR Y EL CABLE AISLADO Y SIRVE PARA LA SELECCIÓN DE FRECUENCIAS.

RECEPTOR.- ESTA FORMADO POR DOS BOBINAS CONECTADAS ENTRE SI POR MEDIO DE UN PUENTE O COMPENSADOR.

LA FINALIDAD DE ESTE PUENTE ES DETERMINAR LA RELACIÓN ENTRE LAS AMPLITUDES DE LOS CAMPOS CAPTADOS POR CADA UNA, ASÍ COMO SU DIFERENCIA DE FASE, LA FIG. 11,1 REPRESENTA UN ESQUEMA TEÓRICO DE LAS BOBINAS,

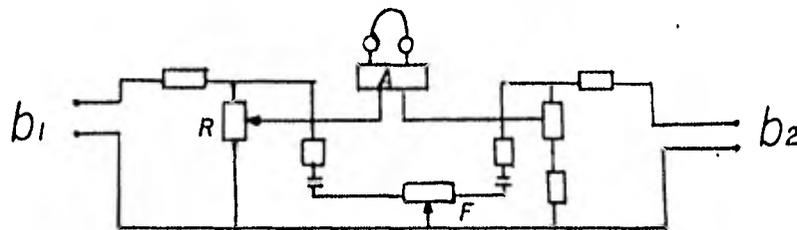


FIG. II.1. REPRESENTACIÓN TEÓRICA DEL COMPENSADOR (ORELLANA).

### II.3.- MODALIDADES DEL EMISOR.

EN EL SISTEMA TURAM EXISTEN DOS MODALIDADES, CABLE ATERRIZADO Y BOBINA AISLADA O MALLA, LA ELECCIÓN ENTRE UNA Y OTRA DEPENDE DEL OBJETIVO A SEGUIR.

LA PRIMERA, TIENE EL INCONVENIENTE DE QUE ADÉMÁS DE LAS CORRIENTES INDUCTIVAS SE PRESENTAN LAS GALVÁNICAS, HACIENDO CON ELLO MÁS COMPLICADA LA INTERPRETACIÓN, SIN EMBARGO, CON ESTA MODALIDAD LAS RESPUESTAS OBTENIDAS SON MÁS INTENSAS Y EN ALGUNOS CASOS, DEFINEN MEJOR A LOS POSIBLES CUERPOS CONDUCTORES.

POR OTRA PARTE, EL TENDIDO CON CABLE ATERRIZADO ES MÁS RÁPIDO QUE EL DE BOBINA CERRADA, POR LO QUE SERÍA CONVENIENTE LEVANTAR CON CABLE ATERRIZADO PARA HACER UN TRABAJO DE RECONOCIMIENTO Y

POSTERIORMENTE HACERLO CON BOBINA AISLADA PARA LOS TRABAJOS DE DETALLE Y DE INTERPRETACIÓN.

EN LA MODALIDAD DE BOBINA AISLADA SE PRESENTAN DOS ALTERNATIVAS, LA DE EFECTUAR LAS MEDICIONES DENTRO Y FUERA DE ELLA,

LA ELECCIÓN ENTRE ÉSTAS ALTERNATIVAS DEPENDE DEL ECHADO - DE LA ESTRUCTURA DE INTERÉS, SI ÉSTE ES FUERTE LAS LECTURAS SE HACEN FUERA DE LA BOBINA, POR EL CONTRARIO SI LA ESTRUCTURA ES CASI HORIZONTAL LAS MEDICIONES SE HACEN DENTRO DE LA BOBINA.

TANTO EN LA MODALIDAD DE CABLE ATERRIZADO COMO EN LA DE - BOBINA, CON LECTURAS FUERA DE ELLA, LA UBICACIÓN DEL EMISOR DEBE SER TAL QUE EL CABLE Ó EL LADO MAYOR DE LA BOBINA SEA PARALELO AL RUMBO DE LA ESTRUCTURA Y DE LONGITUD IGUAL O MAYOR A ÉSTA, CON EL FIN DE QUE LAS LÍNEAS DE LECTURA LA CRUCEN PERPENDICULARMENTE Y ASÍ RESALTAR MÁS LAS ANOMALÍAS.

EL EMISOR DEBE DE SITUARSE DEL LADO DONDE SE LOCALIZE EL BORDE SUPERIOR DE LA ESTRUCTURA, CUANDO ÉSTA SEA DE FUERTE --- ECHADO, CON EL FÍN DE RESALTAR ÉSTE BORDE YA QUE ES AQUÍ DONDE SE CONCENTRA LA CORRIENTE INDUCIDA.

EN LA FIG. 11.3.1 SE MUESTRA LA GEOMETRÍA DE ÉSTOS EMISORES.

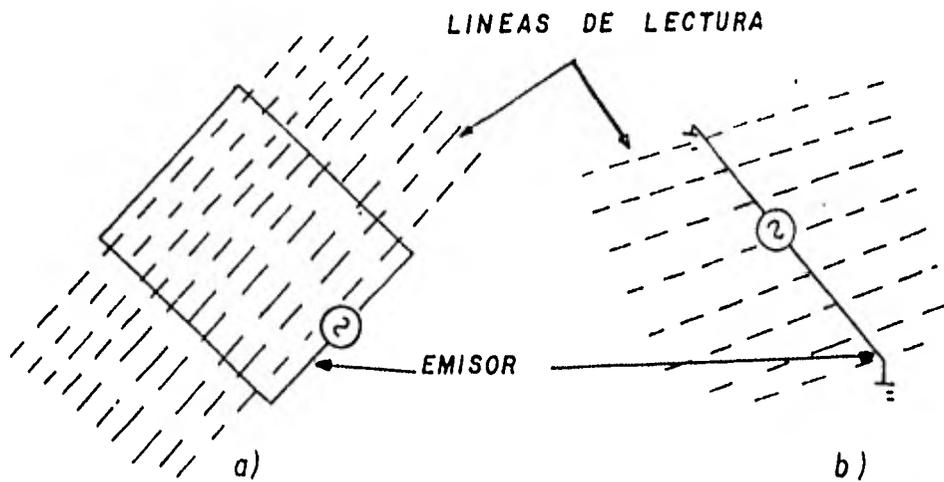


FIG. 11 3.1 . — TIPOS DE EMISORES EN EL SISTEMA TURAM  
a). — BOBINA AISLADA b). — CABLE ATERRIZADO.

#### 11.4.- PROCEDIMIENTO DE CAMPO.

UNA VEZ QUE SE HA ELEGIDO LA MODALIDAD DEL EMISOR SE PROCEDE A TRAZAR EN EL CAMPO LAS LÍNEAS NECESARIAS PARA CUBRIR EL ÁREA DE ESTUDIO Y PARA EL TENDIDO DEL EMISOR.

EL RUMBO DE LAS LÍNEAS DE LECTURA ES PERPENDICULAR AL DEL CUERPO ESPERADO Y LAS ESTACIONES POR LO GENERAL TIENEN SEPARACIONES ENTRE 20 Y 30 METROS. LA SEPARACIÓN DE LAS LÍNEAS DEPENDE DE SI SE VA A REALIZAR UN TRABAJO A SEMIDETALLE O A DETALLE.

LAS BOBINAS SE MUEVEN A LO LARGO DE CADA LÍNEA MIDIÉNDOSE LAS RELACIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO Y LA DIFERENCIA DE FASE CAPTADA POR CADA UNA DE ELLAS, EL PUNTO DE LECTURA SE LE ATRIBUYE A LA BOBINA MAS PRÓXIMA AL EMISOR, LA CUAL DESIGNAREMOS CON LA LETRA P Y A LA MÁS ALEJADA CON LA LETRA A.

LAS MEDICIONES EFECTUADAS SE EXPRESAN POR LAS ECUACIONES:

$$R_{\text{medida}} = \frac{H_{CP}}{H_{CA}} \quad DF_{\text{medida}} = \Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_P$$

DONDE:

$H_{CA}$  Y  $\varphi_A$  ES LA INTENSIDAD DE CAMPO Y LA FASE EN LA BOBINA AUXILIAR, (LA MÁS ALEJADA AL EMISOR),

$H_{CP}$  Y  $\varphi_P$  ES LA INTENSIDAD Y LA FASE EN LA BOBINA PRINCIPAL.

ÉSTO LO PODEMOS EXPRESA DE UNA FORMA MÁS GENERAL COMO:

$$R_n = \frac{H_n}{H_{n+1}}, \Delta\varphi_n = \varphi_{n+1} - \varphi_n \quad \text{DONDE H ES EL CAMPO MAGNÉTICO}$$

EN LA ESTACIÓN " DE LECTURA.

DEBE TENERSE BASTANTE CUIDADO EN NO HACER MEDICIONES CERCA DEL EMISOR O BIEN DE LOS TOMATIERRAS, CUANDO SE EMPLEE CABLE ATERRIZADO, PORQUE EL EQUIPO PODRÍA DAÑARSE SERIAMENTE.

ES RECOMENDABLE QUE LA CORRIENTE EN EL CIRCUITO EMISOR -- SEA LO MÁS INTENSA POSIBLE, A FÍN DE EXPLORAR UNA MAYOR SUPERFICIE CON EL MISMO TENDIDO DE CABLE, EN EL CASO DE CABLE ATE--RRIZADO SE DEBEN PONER VARIOS ELECTRODOS EN PARALELO DONDE SE LOCALIZAN LOS TOMATIERRAS, CON EL FÍN DE DISMINUIR LA RESISTEN--CIA DE CONTACTO DE ÉSTAS. SI BIEN ES CIERTO QUE LA CORRIENTE NO AFECTA EN LA ELABORACIÓN DE LOS DATOS DE TURAM, SÍ ES IM--PORTANTE PARA LA MEDICIÓN DE ÉSTOS PUES SON MÁS CONFIABLES --MIENTRAS MÁS INTENSA SEA LA SEÑAL.

EN ALGUNOS CASOS LA ANOMALÍA PUEDE RESULTAR MUY INTENSA, DANDO LUGAR A QUE NO SE PUEDA EQUILIBRAR EL PUENTE EN EL EQUI--PO, POR LO QUE ES RECOMENDABLE EN ÉSTOS CASOS REDUCIR LA SEPA--RACIÓN DE LAS BOBINAS Y EFECTUAR DOS O MÁS MEDICIONES EN ESA -ESTACIÓN.

LA INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO CORRESPONDIENTE A ÉSA ES--TACIÓN, ESTARÁ DADA POR EL PRODUCTO DE LAS RELACIONES DE INTEN--SIDAD DE CAMPO Y LA DIFERENCIA DE FASE SERÁ LA SUMA ALGEBRAICA DE ELLAS.

$$R_n = R_{n/2} R_{n/2+1}$$

$$\Delta\varphi_n = \Delta\varphi_{n/2} + \Delta\varphi_{n/2+1}$$

DONDE  $n/2$  INDICA LA PRIMERA MITAD DE LA SEPARACIÓN NORMAL DE LAS BOBINAS.

LOS DATOS SE DEBEN ELABORAR PREFERENTEMENTE EN EL CAMPO - CON EL FÍN DE PODER DETALLAR A LA BREVEDAD POSIBLE LAS ANOMALÍAS QUE HAYAN RESULTADO DE INTERÉS.

ESTO ES RECOMENDABLE SI SE LLEGASEN A PRESENTAR CUALQUIERA DE LAS SIGUIENTES SITUACIONES.

UNA ANOMALÍA OCURRE SOLAMENTE EN UNA LÍNEA.

ES RECOMENDABLE VOLVER A LEER LA PARTE DE LA LÍNEA DONDE SE PRESENTA LA ANOMALÍA PARA ASEGURARSE DE QUE NO SE TRATA DE RUIDO OPERACIONAL. SI PERSISTE LA ANOMALÍA ES CONVENIENTE TRAZAR LÍNEAS INTERMEDIAS A CADA LADO DE LA ANOMALÍA.

UNA ANOMALÍA SE PRESENTA EN UNA O MÁS LÍNEAS PERO SU AMPLITUD ES DE BAJA INTENSIDAD.

ESTO PUEDE SER DEBIDO A UN ÁNGULO DE INCLINACIÓN DESFAVORABLE DEL CAMPO PRIMARIO POR LO QUE ES CONVENIENTE EFECTUAR TRABAJOS DE DETALLE CON UNA BOBINA PEQUEÑA COMO EMISOR, CERCA DE LA ANOMALÍA Y SITUADA DEL LADO OPUESTO DE LA POSICIÓN INICIAL.

UNA ANOMALÍA DE POCA AMPLITUD SE PRESENTA PERO EL NIVEL DE RUIDO DEL BACKGROUND DIFICULTA SU RECONOCIMIENTO.

EN ÉSTE CASO UNA BOBINA DE DIMENSIONES PEQUEÑAS COLOCADA EN EL LADO OPUESTO AL BUZAMIENTO DEL CUERPO CONDUCTOR Y EFECTUANDO MEDICIONES CON FRECUENCIAS BAJAS ELIMINARÁ LA RESPUESTA DE LAS CAPAS SUPERFICIALES Y ENFATIZARÁ LA DEBIDA A UN CONDUCTOR MASIVO.

#### II.5.- PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO.

UNA VEZ OBTENIDOS LOS DATOS DE CAMPO Y ANOTADOS ÉSTOS,  $R_i$  Y  $\Delta \varphi_i$ ,  $i=1, \dots, n$  DONDE "n" ES LA ESTACIÓN FINAL CORRESPONDIENTE A UN PERFIL, SE PROCEDE A CALCULAR LA VARIACIÓN SOBRE ÉL DE LA COMPONENTE ESTUDIADA.

PARA REALIZAR ÉSTO SUELE ATRIBUIRSE EL VALOR DE 100 Ó 1 - PARA LA RELACIÓN Y DE  $0^\circ$  PARA LA DIFERENCIA DE FASE, AL PUNTO MÁS PRÓXIMO AL CABLE POR LO QUE SE TENDRÁ DE UN MODO RELATIVO.

$$|H_{i1}| = 100 \quad |H_{i2}| = \frac{100}{R_i}$$

DE UNA FORMA MÁS GENERAL TENDREMOS:

$$|H_{ki}| = \frac{|H_{k,i-1}|}{R_{ki}}$$

Y PARA LAS DESFASES,  $\varphi_1 = 0$      $\varphi_2 = \Delta\varphi_1$

DE UNA FORMA MÁS GENERAL:  $\varphi_i = \sum_{j=1}^{i-1} \Delta\varphi_j = \varphi_{i-1} + \Delta\varphi_{i-1}$

TODAS LAS DESFASES DIFERENTES DE CERO DEBEN CONSIDERARSE ANÓMALAS POR LO EXPLICADO EN EL CAPÍTULO 1.5. SIN EMBARGO NO SE PUEDE DECIR LO MISMO DE LAS RELACIONES YA QUE ÉSTAS NO DEMUESTRAN SU CARÁCTER NORMAL Ó ANÓMALO.

PARA RESALTAR LAS ANOMALÍAS, EN LA PRÁCTICA SE ACOSTUMBRA DIVIDIR LA RELACIÓN OBSERVADA ENTRE LA RELACIÓN NORMAL, OBTENIÉNDOSE DE ÉSTA FORMA LAS RELACIONES REDUCIDAS.

$$RR_{\lambda} = \frac{R_{\lambda}}{R_{N\lambda}}$$

PARA LA OBTENCIÓN DE LOS CAMPOS REDUCIDOS SE TENDRÁ:

$$|H_R| = \frac{|H_{R_{\lambda-1}}|}{RR_{\lambda-1}}$$

ALGUNAS VECES SE CORRIGEN LAS RELACIONES OBSERVADAS MULTIPLICANDO POR EL  $\cos\Delta\varphi$  CUANDO  $\Delta\varphi > 5^\circ$  Y ENTONCES SE NORMALIZAN DIVIDIÉNDOLAS ENTRE LAS RELACIONES NORMALES, *i.e.* EN EQUIPOS SE-77,

LAS RELACIONES NORMALES SON OBTENIDAS CALCULANDO LA INTENSIDAD DEL CAMPO PRIMARIO PARA UN TRANSMISOR UBICADO EN UN ESPACIO LIBRE. LA INTENSIDAD DEPENDE DE LAS DIMENSIONES DEL TRANS-

MISOR Y DE LA POSICIÓN RESPECTO A ÉL DE LAS BOBINAS RECEPTORAS.

CUANDO SE PRESENTAN SITUACIONES EN LAS CUALES LA GEOLOGÍA ES DE UNA RESISTIVIDAD BAJA COMO PARA SER MODELADA POR MEDIO DEL ESPACIO LIBRE, SE PUEDE INCURRIR EN ERRORES AL CALCULAR -- LAS RELACIONES NORMALES.

ADEMÁS DE CORREGIR LOS DATOS DE CAMPO EN BASE A UNA CONSIDERACIÓN DEL ESPACIO LIBRE, TAMBIÉN SUELE HACERSE EN BASE A -- UNA SUPOSICIÓN DE HOMOGENEIDAD E ISOTROPÍA DEL TERRENO EN UN MODELO DE SEMIESPACIO O BIEN CONSIDERANDO LA RUGOSIDAD DEL TERRENO, ÉSTE ÚLTIMO SE TRATARÁ EN EL PRESENTE TRABAJO.

LOS CAMPOS OBTENIDOS TAMBIÉN PUEDEN DESCOMONERSE EN SUS PARTES REAL E IMAGINARIA DE LA SIGUIENTE MANERA

$$\text{Re } H_{Ri} = |H_{Ri}| \cos \psi_i \quad \dots 29a$$

$$\text{Im } H_{Ri} = |H_{Ri}| \sin \psi_i \quad \dots 29b$$

LOS DATOS QUE SE OBTIENEN EN EL SISTEMA TURAM PUEDEN PRESENTARSE GRÁFICAMENTE EN DIVERSAS FORMAS COMO PERFILES DE RELACIONES Y DESFASES A LO LARGO DE LA LÍNEA DE ESTUDIO Y EN PLANTA COMO MAPAS DE LÍNEAS ISOFÁSICAS O DE RELACIONES REDUCIDAS.

DE ÉSTAS FORMAS DE PRESENTAR LOS DATOS LA QUE DA UNA IDÉA MÁS EXACTA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS ES LA QUE CORRESPONDE AL PLANO DE PERFILES DE RELACIONES Y DESFASES COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 11.5.1

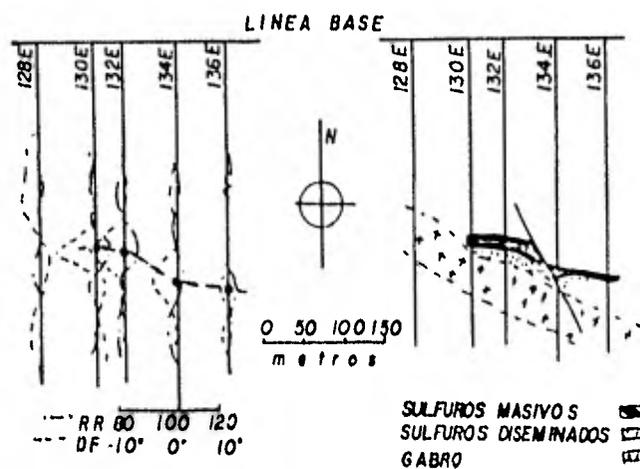
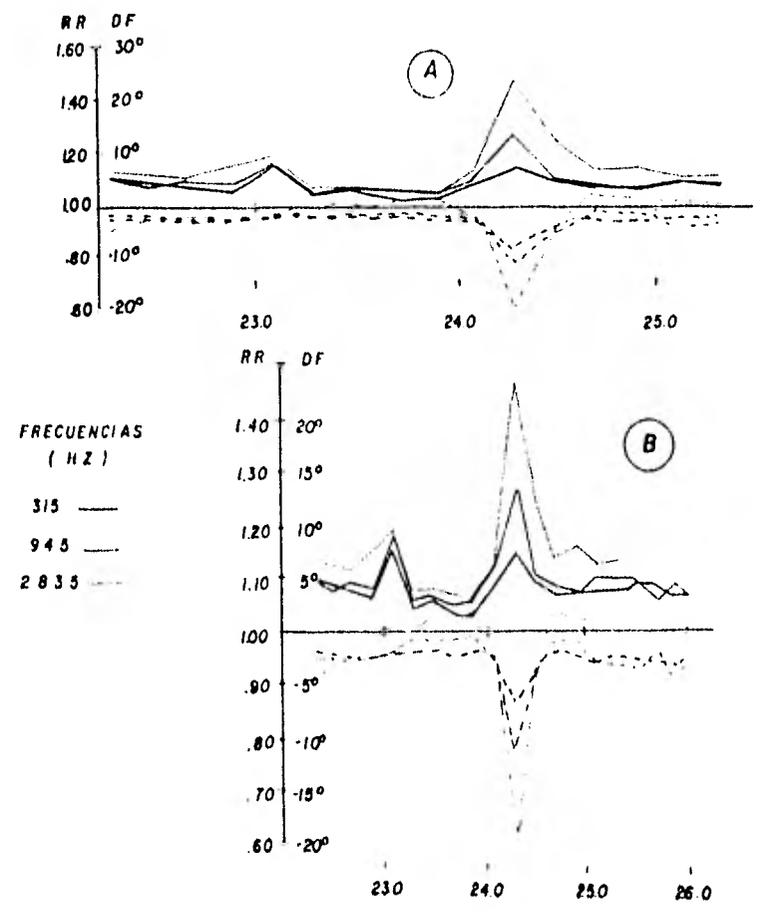


FIG. II 5.1

LA ESCALA VERTICAL SE DETERMINA POR LA RELACIÓN SEÑAL-RUIDO, GENERALMENTE ÉSTA ESCALA ES DE  $1 \text{ cm} = 10''$  PARA LA RELACIÓN Y DE  $1 \text{ cm} = 5^\circ$  PARA LAS DESFASES,

EN LA FIGURA 11.5.2 SE MUESTRAN DOS PERFILES A DISTINTAS ESCALAS, TANTO HORIZONTAL COMO VERTICAL, EN LOS CUALES SE PUEDE APRECIAR QUE EN UNO DE ELLOS LA ANOMALÍA RESALTA MÁS QUE EN EL OTRO, POR OTRA PARTE SE PUEDE VER QUE EL RUIDO SE MINIMIZA AL CAMBIAR DE UNA ESCALA A OTRA. LA ELECCIÓN DE LA ESCALA QUE DA A CRITERIO Y EXPERIENCIA DEL GEOFÍSICO,

FIGURA 11.5.2



A ESCALA HORIZONTAL 1 : 2 800 VERTICAL { 1 cm 20 % RR  
1 cm 10° DF

B ESCALA HORIZONTAL 1 : 5 000 VERTICAL { 1 cm 10 % RR  
1 cm 5° DF

## II.6.-INTERPRETACIÓN.

LA RECOPIACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS, EN EL CAMPO, ASÍ COMO SU PROCESAMIENTO, TIENE COMO OBJETIVO FINAL EL EXPRESAR--LOS EN TÉRMINOS DE PROBABLES ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.

EN ESENCIA ÉSTO CONSTITUYE LA INTERPRETACIÓN, PARA LO CUAL ES IMPORTANTE DIFERENCIAR LAS ANOMALÍAS DE INTERÉS DE AQUELLAS QUE NO LO SON Y QUE SE DEBEN PRINCIPALMENTE A RUIDOS YA SEAN -GEOLÓGICOS, TOPOGRÁFICOS, OPERACIONALES ETC. POR LO QUE ES NECESARIO RECOPIAR TODA LA INFORMACIÓN POSIBLE DEL ÁREA ANTES -DE HACER LA INTERPRETACIÓN.

EL CONCEPTO DE ANOMALÍA INVOLUCRA A CUALQUIER DISTORSIÓN CAUSADA EN LA UNIFORMIDAD DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL MEDIO.

DE ÉSTA DEFINICIÓN PODEMOS CONCLUIR QUE LA ANOMALÍA PUEDE SER PRODUCIDA POR CUERPOS QUE ESTEN ASOCIADOS A ALGÚN TIPO DE YACIMIENTO MINERAL Y POR CUERPOS QUE NO TENGAN INTERÉS DE ACUERDO CON EL OBJETIVO GEOLÓGICO QUE SE PERSIGUE.

POR LO TANTO ES IMPORTANTE QUE LAS ANOMALÍAS OBTENIDAS SE ANALIZEN DEBIDAMENTE PARA PODER IDENTIFICAR AQUELLAS QUE

SON DE INTERÉS DE LAS QUE NO LO SON. PARA ÉSTO HAY QUE CONSIDERAR QUE SI EXISTE UN MAYOR CONTRASTE ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CUERPO DE INTERÉS Y SU ROCA ENCAJONANTE, LA RESPUESTA SERÁ MÁS INTENSA, ADEMÁS LAS DIMENSIONES DEL CUERPO Y EN GENERAL LA GEOMETRÍA INFLUIRÁ NOTORIAMENTE EN LA RESPUESTA, POR ÉSTA RAZÓN ES NECESARIO CONTAR CON UNA BUENA INFORMACIÓN GEOLÓGICA PRINCIPALMENTE.

ASÍ TENEMOS, QUE EN EL MÉTODO TURAM EL PROBLEMA DE LA INTERPRETACIÓN CONSISTE POR UNA PARTE DE LA IDENTIFICACIÓN DE LAS ANOMALÍAS PRODUCIDAS POR CONDUCTORES METÁLICOS, ANOMALÍAS DE INTERÉS, DE LAS DEBIDAS A OTRAS CAUSAS COMO PODRÍAN SER FALLAS CON HUMEDAD.

LAS BASES DE LA INTERPRETACIÓN CLÁSICA DEL MÉTODO TURAM TIENE SUS PRINCIPIOS APLICABLES CUANDO LA ROCA ENCAJONANTE PRESENTA UNA CONDUCTIVIDAD DESPRECIABLE, POR LO QUE LA EXISTENCIA DE DESFASES SE DEBE A CUERPOS CONDUCTORES EN EL SUBSUELO Y NO A EFECTOS TOPOGRÁFICOS.

LOS CONDUCTORES IDÉNTICOS PRODUCIRÁN LAS MISMAS DISTORSIONES EN LA DIFERENCIA DE FASE Y EN LA RELACIÓN DE AMPLITUDES SIN IMPORTAR LA DISTANCIA DEL CUERPO QUE LA PRODUCE A LA FUENTE EMISORA,

EXISTEN VARIAS REGLAS PRÁCTICAS (ORELLANA, 1974) QUE SIRVEN PARA UNA PRIMERA INTERPRETACIÓN CUALITATIVA Y SE DAN A CONTINUACIÓN.

a) LOS EJES DE LAS CONCENTRACIONES DE CORRIENTE SE LOCALIZAN BAJO LOS MÁXIMOS DE RELACIÓN REDUCIDA Y BAJO LOS MÍNIMOS DE DIFERENCIA DE FASE.

b) CALCULADAS LAS PARTES REAL E IMAGINARIA DE LA COMPONENTE ESTUDIADA (HORIZONTAL Ó VERTICAL), LOS EJES DE LAS CONCENTRACIONES DE CORRIENTE SE ENCUENTRAN BAJO LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA COMPONENTE VERTICAL O BAJO EL MÁXIMO DE LA HORIZONTAL.

c) SI EL MÁXIMO DE LA COMPONENTE VERTICAL ESTÁ MÁS CERCA DEL CABLE QUE EL MÍNIMO, EL CUERPO BUZA HACIA ÉSTE Y SE ALEJA DE ÉL CUANDO SUCEDE LO CONTRARIO. ÁL AUMENTAR LA FRECUENCIA, EL EJE SE DESPLAZA EN CONTRA DEL BUZAMIENTO.

d) EL RUMBO Y LONGITUD DEL CUERPO CONDUCTOR SE DETERMINAN SOBRE EL MAPA, UNIENDO LAS POSICIONES HALLADAS PARA EL EJE DE LA CONCENTRACIÓN DE CORRIENTE EN TODOS LOS PERFILES EN QUE SE HAYA DETECTADO.

e) CUANDO EXISTEN VARIOS CONDUCTORES PRÓXIMOS ENTRE SÍ, CADA UNO DE ELLOS PRODUCE UNA INFLEXIÓN EN LA CURVA DE LA COMPONENTE VERTICAL, TALES INFLEXIONES PUEDEN SER DEBIDAS TAMBIÉN A CAMBIOS DE CONDUCTIVIDAD DENTRO DE UN CUERPO EXTENSO.

f) SI EL EMISOR ES DEL TIPO PURAMENTE INDUCTIVO, LA CONDUCTIVIDAD PUEDE ESTIMARSE CUALITATIVAMENTE. CUANDO LA ANOMALÍA DE FASE ES PEQUEÑA O MEDIANA Y LA DE RELACIÓN NULA O MUY PEQUEÑA, LA CONDUCTIVIDAD ES POBRE. LOS CUERPOS DE CONDUCTIVIDAD MEDIA PRESENTAN ANOMALÍA DE RELACIÓN PEQUEÑA Y GRANDE EN LA DE FASE. LOS CONDUCTORES ÓPTIMOS ORIGINAN INTENSAS ANOMALÍAS DE RELACIÓN Y PEQUEÑAS LAS DE FASE.

g) LAS ANOMALÍAS DE Poca importancia se presentan en las frecuencias altas y son casi inapreciables en la frecuencia menor por lo que deben desecharse en general, como correspondientes a conductores superficiales sin interés económico.

Las técnicas antes mencionadas están orientadas a la localización de áreas de interés por medio de las guías geofísicas junto con las geológicas, como se muestra en la figura 11.5.1.

LAS TÉCNICAS CUANTITATIVAS SE PUEDEN ENFOCAR EN FORMA DE DEDUCIR INFORMACIÓN DEL CUERPO O ESTRUCTURA A PARTIR DE LA ANOMALÍA O BIEN, A PARTIR DE UN MODELO GEOLÓGICO, OBTENER SU RESPUESTA Y COMPARARLA CON LA DE CAMPO.

LOS PARÁMETROS QUE SE INTERPRETAN CUANTITATIVAMENTE SON:

LOCALIZACIÓN.- LAS DISTORSIONES DE LAS RELACIONES Y LAS DESFASES EN LOS PERFILES INDICAN EL SITIO DEL FLUJO DE CORRIENTE ANÓMALO. ESTE FLUJO (LLAMADO EJE DE CORRIENTE) SE DEFINE MEJOR CUANDO LA CORRIENTE SE CONCENTRA EN CONDUCTORES TABULARES CON UN FUERTE ECHADO YA QUE EN LOS CONDUCTORES AMPLIOS Y BANDEADOS U HORIZONTALES, LA CORRIENTE ES MÁS DISPERSA.

PROFUNDIDAD.- GENERALMENTE LA PROFUNDIDAD DEL EJE DE CORRIENTE ES IGUAL A LA MITAD DEL ANCHO DE LA ANOMALÍA, SIN EMBARGO, PARA UNA DETERMINACIÓN MÁS EXACTA DE LA PROFUNDIDAD, LOS DATOS DE CAMPO SUELEN DESCOMONERSE EN SU PARTE REAL E IMAGINARIA COMO SE EXPLICARÁ MÁS ADELANTE.

CONDUCTANCIA.- ÉSTA NO ES POSIBLE CALCULARLA SEPARADAMENTE SINO QUE SE DETERMINA JUNTO CON EL ESPESOR DEL CUERPO CONDUCTOR, PRODUCTO  $\sigma t$ .

ECHADO.- SE DETERMINA UTILIZANDO TRANSMISORES A CADA LADO DEL CONDUCTOR Y DE ÉSTA FORMA SE PUEDE DECIR HACIA QUE LADO - BUZA EL CUERPO.

DE ÉSTOS PARÁMETROS LOS MÁS INTERESANTES PARA LA PROGRAMACIÓN DE BARRENOS SON, LA DIRECCIÓN DEL ECHADO DEL CUERPO Y EL REFERENTE A LA PROFUNDIDAD DEL EJE, UN PROCEDIMIENTO PARA ESTIMAR ÉSTE ÚLTIMO SE INDICA A CONTINUACIÓN.

EL CAMPO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR UN CUERPO CONDUCTOR, BAJO LA SUPERFICIE, ESTARÁ DADO POR:

$$H = \frac{I' \mu_0}{2 \pi r} \quad \dots 30$$

DONDE  $I' = KI$  ES LA CORRIENTE INDUCIDA EN EL CONDUCTOR, SIENDO  $K$  UN COEFICIENTE COMPLEJO.

HACIENDO REFERENCIA A LA FIGURA 11.6.1 PODEMOS VER QUE LA COMPONENTE HORIZONTAL Y LA VERTICAL DEL CAMPO MAGNÉTICO ESTARÁN DADAS POR:

$$H_x = H \cos \alpha = \frac{I' \mu_0}{2 \pi} \frac{Z}{X^2 + Z^2} \quad \dots 31$$

$$H_z = H \sin \alpha = \frac{I' \mu_0}{2 \pi} \frac{X}{X^2 + Z^2} \quad \dots 32$$

RESPECTIVAMENTE.

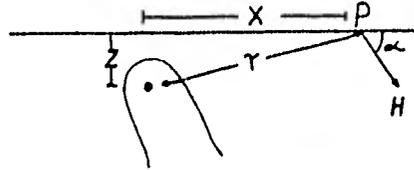


FIG. 11.6.1 CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A UNA CORRIENTE INDUCIDA EN UN CUERPO CONDUCTOR.

ANALIZANDO LAS EXPRESIONES ANTERIORES PODEMOS NOTAR LO SIGUIENTE.

- a) LA COMPONENTE HORIZONTAL  $H_x$  NO CAMBIA DE SIGNO.
- b) EL VALOR MÁXIMO DE  $H_x$  CORRESPONDE A  $X=0$
- c)  $H_z$  PRESENTA UN MÁXIMO Y UN MÍNIMO A DISTANCIAS DEL EJE DE  $-Z$  Y  $Z$  RESPECTIVAMENTE.

EL ANÁLISIS ANTERIOR SE HA HECHO SIN CONSIDERAR AL CAMPO PRIMARIO, SIN EMBARGO, EN LA PRÁCTICA LO QUE SE MIDE ES EL CAMPO TOTAL EL CUAL ESTÁ CONSTITUIDO POR LA SUPERPOSICIÓN DEL CAMPO SECUNDARIO CON EL PRIMARIO.

$$H_z = H_z^P + H_z^S$$

$$H_z = \frac{I \mu_0}{2\pi(x+d)} + \frac{(K_1 + jK_2) I \mu_0}{2\pi} \frac{x}{x^2 + z^2}$$

DE DONDE:

$$\text{Re}H_z = \frac{I \mu_0}{2\pi} \left( \frac{1}{x+d} + \frac{K_1 X}{x^2+z^2} \right) \dots 33a$$

$$\text{Im}H_z = \frac{I \mu_0}{2\pi} \frac{K_2 X}{x^2+z^2} \dots 33b$$

DE ÉSTAS ECUACIONES LA QUE NO TIENE CONTRIBUCIÓN DE OTROS CAMPOS QUE NO SEA EL SECUNDARIO, ES LA CORRESPONDIENTE A LA PARTE IMAGINARIA, POR LO QUE ÉSTA PUEDE DARNOS UNA MEJOR IDEA DE LA RESPUESTA DEL CONDUCTOR. EN CAMBIO LA PARTE REAL ESTÁ AFECTADA TANTO POR EL CAMPO PRIMARIO COMO POR EL SECUNDARIO.

EL PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LAS PARTES REAL E IMAGINARIA, A PARTIR DE LOS DATOS DE CAMPO, SE MUESTRA EN LA TABLA I.

EN LA FIGURA II.6.2 SE MUESTRAN LOS PERFILES DE LAS RELACIONES REDUCIDAS, DIFERENCIA DE FASES Y DE LA PARTE REAL E IMAGINARIA.

TAMBIÉN SE MUESTRAN SOBRE ÉSTOS PERFILES, EL PROCEDIMIENTO QUE SE SIGUE PARA ESTIMAR LA PROFUNDIDAD DEL EJE DE CORRIENTE.

EL CAMPO PRIMARIO ES PRODUCIDO POR UNA BOBINA RECTANGULAR DE  $30a \times 10a$  DONDE  $a=30$  METROS (SEPARACIÓN DE BOBINAS RECEPTORAS).



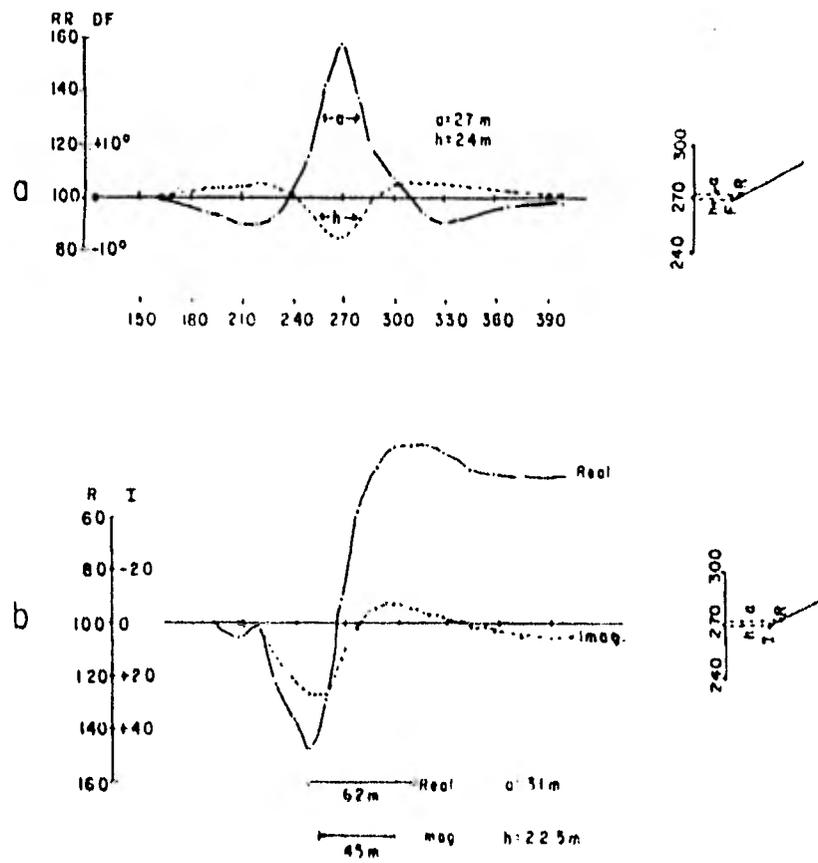


Fig. II 62

LA LÍNEA SE ENCUENTRA ALINEADA CON EL LADO MENOR DE LA -- BOBINA Y LA DENSIDAD DE LECTURAS ES DE 30 METROS, DETALLANDOSE CADA 10 METROS DONDE SE PRESENTA LA ANOMALÍA CON EL FÍN DE DEFINIR EL MÁXIMO DE ÉSTA.

EL ECHADO SE DETERMINA EN BASE A LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LAS PARTES REAL E IMAGINARIA COMO SE PUEDE APRECIAR EN LA FIGURA 11.6.2.

COMO SE DIJO CON ANTERIORIDAD LA CONDUCTIVIDAD NO ES POSIBLE DETERMINARLA SEPARADAMENTE SINO QUE SE ESTIMA JUNTO CON EL ESPESOR DEL CUERPO CONDUCTOR PARA LO CUAL EXISTEN DIAGRAMAS COMO EL MOSTRADO EN LA FIGURA 11.6.3.

EL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR ÉSTO SE REALIZA DE LA SIGUIENTE MANERA.

SI TENEMOS POR EJEMPLO UN CONDUCTOR DE LONGITUD 1000 METROS CON UNA INTENSIDAD EN LA RELACIÓN DE 1.5 Y DE DIFERENCIA DE FASE DE  $-10^\circ$  PARA UNA FRECUENCIA DE 945 HZ PROCEDEREMOS DE LA SIGUIENTE FORMA.

EN LA FIGURA 11.6.3 GRAFICAMOS EL PUNTO A EN BASE A LOS DATOS DE RELACIÓN Y DE DIFERENCIA DE FASE. EN SEGUIDA SE TRAZA UNA LÍNEA RECTA A PARTIR DEL ORIGEN Y QUE PASE POR EL PUNTO



FIG II 6 3

A HASTA INTERSECTAR LA CURVA DE 1000 METROS, PUNTO B, QUE ES LA CORRESPONDIENTE A LA LONGITUD DEL CUERPO.

A PARTIR DEL ORIGEN SE TRAZA UNA CURVA PARALELA A LAS ADYACENTES Y QUE PASE POR EL PUNTO B HASTA INTERSECTAR LA CURVA DISCONTINUA CORRESPONDIENTE A LA FRECUENCIA DE 945 Hz, PUNTO C. ESTE PUNTO QUEDA ENTRE LOS VALORES DE  $\sigma t$  21 Y 15 POR LO QUE -- APROXIMADAMENTE EL VALOR DE  $\sigma t$  PARA ESTE CUERPO CON LONGITUD DE 1000 METROS ES DE 17 MHOS.

OTRA FORMA DE INTERPRETACIÓN CONSISTE EN POSTULAR UN MODELO GEOLÓGICO, CON LOS PARÁMETROS DE INTERÉS, OBTENER UNA RESPUESTA DE ÉSTE Y COMPARARLA CON LA DE CAMPO.

SI EL MODELO NO ES EL INDICADO, SE PRUEBA CON OTRO HASTA TENER UNA RELACIÓN LO MÁS CORRELACIONABLE QUE SE PUEDA CON LA DE CAMPO.

### III.- CAMPO MAGNETICO EN PUNTOS TOPOGRAFICOS DISTINTOS AL DEL EMISOR.

HASTA AHORA SOLO SE HA CONSIDERADO EL CAMPO MAGNÉTICO CUANDO EL RECEPTOR Y EL EMISOR TOPOGRÁFICAMENTE ESTAN AL MISMO NIVEL.

ESTE NO ES SIEMPRE EL CASO YA QUE EN LA REALIDAD SE PRESENTA EL PROBLEMA DE LA TOPOGRAFÍA DONDE EXISTEN DIFERENCIAS EN ELEVACIÓN ENTRE EL EMISOR Y EL RECEPTOR.

EN ÉSTE CAPÍTULO SE PRESENTAN LAS DISTINTAS SITUACIONES - QUE SE PUEDEN PRESENTAR CUANDO SE CALCULA EL CAMPO MAGNÉTICO EN UN PUNTO QUE TOPOGRAFICAMENTE ESTÁ A UN NIVEL DISTINTO AL DE LA FUENTE PRIMARIA.

#### III.1.- CAMPO MAGNÉTICO EN UN PUNTO SITUADO AL MISMO NIVEL DEL EMISOR.

EN EL CAPÍTULO I SE CALCULÓ EL CAMPO MAGNÉTICO EN UN PUNTO DEBIDO A UN CABLE LARGO, ESTA EXPRESIÓN LA REPRODUCIMOS A CONTINUACIÓN, ASÍ COMO LA FIGURA REPRESENTATIVA DE ESTA SITUACIÓN PERO UBICANDOLA EN UN SISTEMA DE COORDENADAS X-Y-Z DE MANO DERECHA.

$$H = \frac{I}{4\pi r} (\text{Sen } \varphi_2 - \text{Sen } \varphi_1)$$

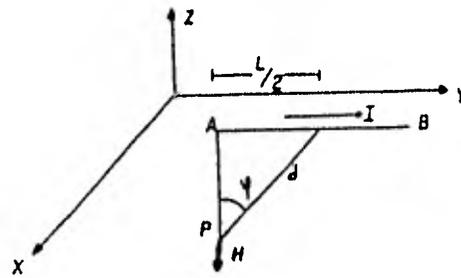


FIG. III. 1

COMO SE PUEDE APRECIAR EN LA FIGURA III.1 EL CAMPO MAGNÉTICO SOLO TIENE UNA COMPONENTE QUE ES LA VERTICAL.

ES DECIR, CUANDO LA FUENTE PRIMARIA Y EL PUNTO DONDE SE CALCULA EL CAMPO, SE LOCALIZA AL MISMO NIVEL SE TIENE QUE,

$$H_z = H$$

DONDE EL SUBÍNDICE  $\bar{z}$  INDICA QUE SE TRATA DE LA COMPONENTE VERTICAL.

III.2.- CAMPO MAGNÉTICO EN UN PUNTO SITUADO A UN NIVEL DISTINTO AL DEL EMISOR.

SI SUPONEMOS QUE EL EMISOR SE LOCALIZA EN UNA SUPERFICIE

PLANA Y EL PUNTO ESTA SITUADO A CIERTA ALTURA RESPECTO A AQUEL, COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA III.2 DONDE SE DIBUJA EL PERFIL DEL TERRENO, EL CAMPO MAGNÉTICO ENTONCES TENDRÁ DOS COMPONENTES.

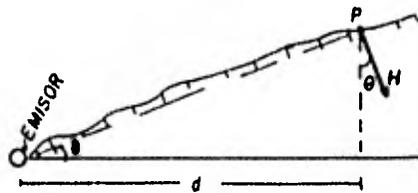


FIG. III . 2

REPRESENTANDO ESTA FIGURA EN NUESTRO SISTEMA QUEDARÁ COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA III.3.

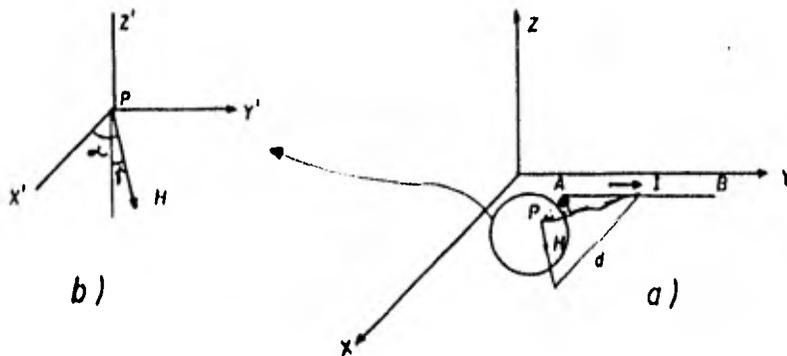


FIG. III . 3

DE LA FIGURA III.3 b), PODEMOS APRECIAR QUE LAS DOS COMPONENTES DEL CAMPO MAGNÉTICO SON LAS PROYECCIONES DE ESTE SOBRE EL EJE DE LAS X Y EL DE LAS Z:

ESTAS EXPRESIONES SON:

$$H_x = \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen } \varphi_2 - \text{Sen } \varphi_1) \text{Cos } \alpha$$

$$H_z = \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen } \varphi_2 - \text{Sen } \varphi_1) \text{Cos } \delta$$

SI PROYECTAMOS EL PLANO FORMADO POR LOS PUNTOS A, B Y P SOBRE EL PLANO X-Z PODREMOS APRECIAR QUE  $\theta = \delta'$  Y QUE  $\text{Cos } \alpha = \text{Sen } \delta'$  POR LO QUE LAS EXPRESIONES ANTERIORES QUEDARÁN:

$$H_x = \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen } \varphi_2 - \text{Sen } \varphi_1) \text{Sen } \theta$$

$$H_z = \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen } \varphi_2 - \text{Sen } \varphi_1) \text{Cos } \theta$$

ESTO SE MUESTRA EN LA FIGURA III, 4

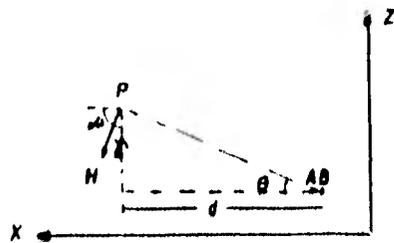


FIG. III . 4

III.3.- CAMPO MAGNÉTICO EN UN PUNTO A UN NIVEL DISTINTO AL DEL EMISOR CON CIERTA INCLINACIÓN RESPECTO A LA HORIZONTAL.

EN LA REALIDAD ESTE CASO ES EL QUE SE PRESENTA CON MÁS FRECUENCIA Y ES CUANDO EL CAMPO MAGNÉTICO TIENE LAS TRES COMPONENTES COMO SE PUEDE APRECIAR EN LA FIGURA III.5.

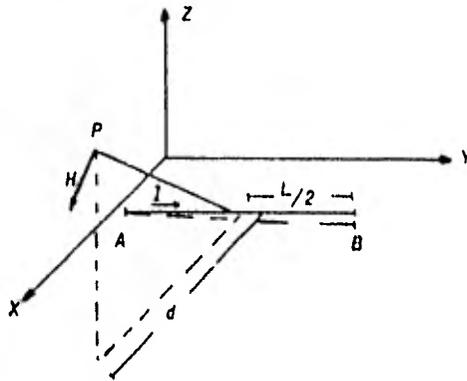


FIG. III-5

ESTE CAMPO MAGNÉTICO LO PODEMOS PROYECTAR SOBRE LOS PLANOS X-Z Y Y-Z, OBSERVANDO QUE SUS TRES COMPONENTES ESTARÁN DADAS POR:

$$H_x = \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen } \gamma_2 - \text{Sen } \gamma_1) \text{Cos } \alpha$$

$$H_y = \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen } \gamma_2 - \text{Sen } \gamma_1) \text{Cos } \beta$$

$$H_z = \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen } \gamma_2 - \text{Sen } \gamma_1) \text{Cos } \gamma$$

ESTAS PROYECCIONES GRÁFICAMENTE SE MUESTRAN EN LA FIGURA III.6.

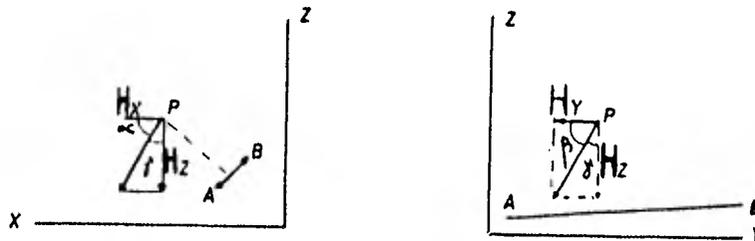


FIG. III-6

NUESTRO PROBLEMA AHORA SE REDUCE EN EXPRESAR LOS COSENOS EN TÉRMINOS DE PARÁMETROS CONOCIDOS.

ESTE PROBLEMA SE NOS FACILITARÁ SI LO TRATAMOS VECTORIALMENTE, PUESTO QUE EL CAMPO MAGNÉTICO ES UN VECTOR.

TAMBIEN PODEMOS REPRESENTAR AL SEGMENTO  $\overline{AB}$  POR MEDIO DE SU VECTOR DE POSICIÓN, ANALOGAMENTE LO HAREMOS PARA LOS SEGMENTOS QUE VAN DEL PUNTO P AL A Y AL B, ESTOS VECTORES LOS DESIGNAREMOS POR  $\overline{AB}$ ,  $\overline{PA}$  Y  $\overline{PB}$ .

EL CAMPO MAGNÉTICO, COMO SE APRECIA EN LAS FIGURAS III.1, III.3 Y III.5, ES PERPENDICULAR AL PLANO FORMADO POR LOS PUNTOS A, B Y P.

EL SENTIDO DEL CAMPO MAGNÉTICO DEPENDE DE LA DIRECCIÓN Y SENTIDO DE LA CORRIENTE CIRCULANDO POR EL CABLE, REPRESENTADO

EN LAS FIGURAS POR EL SEGMENTO AB.

SI CONSIDERAMOS EL SENTIDO DE LA CORRIENTE MOSTRADO EN LAS FIGURAS III.1, III.3 Y III.5, EL CAMPO MAGNÉTICO, TENDRÁ UN SENTIDO BÁSICAMENTE HACIA ABAJO EN EL PUNTO P.

EL SENTIDO Y LA DIRECCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO, MÁS NO LA MAGNITUD, SERÁ LA MISMA QUE LA DEL VECTOR OBTENIDO DEL PRODUCTO VECTORIAL DE LOS VECTORES DE POSICIÓN DE  $\vec{PA}$  CON  $\vec{PB}$  Y NO DEL PRODUCTO VECTORIAL DE  $\vec{PB}$  CON  $\vec{PA}$  YA QUE EL PRODUCTO VECTORIAL NO GOZA DE LA PROPIEDAD CONMUTATIVA.

ESTE VECTOR MATEMÁTICAMENTE ESTARÁ DADO POR:

$$\vec{C} = \vec{PA} \times \vec{PB} = X i + Y j + Z k$$

Y SU DIRECCIÓN Y SENTIDO SON TALES QUE  $\vec{C}$ ,  $\vec{PA}$  Y  $\vec{PB}$  FORMAN UN TRIEDRO A DERECHAS COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA III.7.

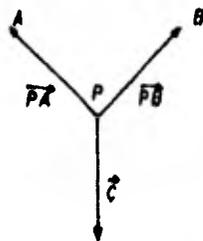


FIG. III.7

LOS COSENOS DIRECTORES DE ESTE VECTOR NOS DARÁN LA DIRECCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO.

HACIENDO REFERENCIA A LA FIGURA III.8, TENEMOS QUE LOS TRIÁNGULOS PQC, PRC Y PSC, SON RECTÁNGULOS EN Q, R Y S RESPECTIVAMENTE.

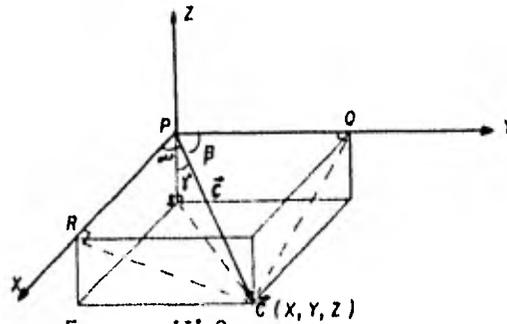


FIGURA III.8

LOS COSENOS DIRECTORES DEL VECTOR  $\vec{C}$ , QUE SON LOS MISMOS DEL CAMPO MAGNÉTICO, ESTAN DADOS POR:

$$\cos \alpha = \frac{x}{|\vec{C}|}$$

$$\cos \beta = \frac{y}{|\vec{C}|}$$

$$\cos \gamma = \frac{z}{|\vec{C}|}$$

$$\text{DONDE } |\vec{C}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\begin{aligned} \text{POR LO TANTO } H_x &= \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen}\varphi_2 - \text{Sen}\varphi_1) \frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \\ H_y &= \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen}\varphi_2 - \text{Sen}\varphi_1) \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \\ H_z &= \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen}\varphi_2 - \text{Sen}\varphi_1) \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \end{aligned}$$

ESTAS ECUACIONES NOS DAN LAS COMPONENTES DEL CAMPO MAGNÉTICO EN EL PUNTO P.

ESTAS ECUACIONES SE PUEDEN PARTICULARIZAR PARA OBTENER LAS ECUACIONES DE LOS INCISOS III,1 Y III,2.

POR EJEMPLO, SI  $X=Y=0$ , TENDREMOS QUE  $H_x=H_y=0$  Y

$$H_z = \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen}\varphi_2 - \text{Sen}\varphi_1)$$

SI  $Y=0$  TENDREMOS QUE  $H_y=0$  Y

$$\begin{aligned} H_x &= \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen}\varphi_2 - \text{Sen}\varphi_1) \frac{X}{\sqrt{X^2 + Z^2}} \\ H_z &= \frac{I}{4\pi d} (\text{Sen}\varphi_2 - \text{Sen}\varphi_1) \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Z^2}} \end{aligned}$$

DONDE  $\cos\alpha = \frac{X}{\sqrt{X^2 + Z^2}}$        $\cos\varphi_1 = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Z^2}}$

EN LOS CASOS ANTERIORES SE HA SUPUESTO AL CABLE COMO UN SOLO SEGMENTO, AB, CON CIERTA INCLINACIÓN EN EL ÚLTIMO DE ELLOS.

ES CLARO QUE EL CABLE NO SOLO TENDRÁ UNA INCLINACIÓN SINO POR EL CONTRARIO, ESTE CABLE DEBERÁ SER DIVIDIDO EN FRACCIONES, O SEGMENTOS CADA UNO CON SU RESPECTIVA INCLINACIÓN, DELINEANDO LO MEJOR POSIBLE EL PERFIL DEL TERRENO.

DE ESTA FORMA TENDREMOS QUE EL CAMPO TOTAL EN EL PUNTO P ESTARÁ DADO POR LA INTEGRACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A CADA SEGMENTO DE LA LONGITUD TOTAL DEL CABLE O BIEN DE LA BOBINA, SEGÚN SEA LA MODALIDAD DEL EMISOR QUE SE HAYA ESCOGIDO.

EVIDENTEMENTE UNOS SEGMENTOS CONTRIBUIRAN CON LAS TRES COMPONENTES DEL CAMPO MAGNÉTICO, O BIEN CON MENOS DEPENDIENDO DE LA INCLINACIÓN QUE TENGA Y DE SI SE ENCUENTRA AL MISMO NIVEL QUE EL PUNTO DONDE SE CALCULA EL CAMPO, COMO SE EXPLICÓ EN LOS INCISOS ANTERIORES.

TAMBIEN CADA SEGMENTO ADICIONARÁ O SUSTRARÁ UNA FRACCIÓN DE DETERMINADA COMPONENTE DEL CAMPO, DEPENDIENDO DEL SENTIDO DE LA CORRIENTE QUE FLUYE POR EL EMISOR, BOBINA CABLE ATERRIZADO, ETC.

#### III.4.- CAMPO MAGNÉTICO EN UN PUNTO DEBIDO A UN CONJUNTO DE SEGMENTOS.

COMO SE PODRA NOTAR, EN LOS INCISOS ANTERIORES EL PUNTO P SE LOCALIZABA DENTRO DEL SEGMENTO AB, DE TAL FORMA QUE SE PODIA TRAZAR UNA PERPENDICULAR DE ESTA AL PUNTO P, ESTA PERPENDICULAR NOS REPRESENTA LA DISTANCIA DEL CABLE AL PUNTO DONDE SE CALCULA EL CAMPO, Y LA DENOTAMOS POR  $d$ .

ESTA DISTANCIA SE MIDE EN EL CAMPO POR LO QUE NO REPRESENTA MAYOR PROBLEMA PARA UTILIZARLA EN EL CÁLCULO DEL CAMPO MAGNÉTICO.

SIN EMBARGO, CUANDO LA LONGITUD TOTAL DEL CABLE DEL CIRCUITO EMISOR SE DIVIDE EN SEGMENTOS, ES CLARO QUE NO SE PODRÁ REALIZAR LO ANTERIOR, PARA ESTE CASO LO INDICADO ES TRAZAR UNA LÍNEA QUE VA DE LA MITAD DEL SEGMENTO AL PUNTO DE OBSERVACIÓN.

ANALIZANDO ESTA SITUACIÓN, EN FORMA VECTORIAL SE NOS FACILITARÁ GRANDEMENTE LOS CÁLCULOS, REPRESENTAREMOS AL EJE DE LAS Z COMO LAS COTAS DE CADA PUNTO DE LOS SEGMENTOS Y DEL PUNTO DE OBSERVACIÓN, EL EJE DE LAS X SERÁ PARALELO A LAS LÍNEAS DE LECTURA, ES DECIR SERÁ LA DISTANCIA MÍNIMA DEL PUNTO DONDE SE CALCULA EL CAMPO AL CABLE EMISOR, EL EJE DE LAS Y SERÁ PERPENDICULAR A LOS DOS EJES ANTERIORES,

ASIMISMO, REPRESENTAREMOS A LOS SEGMENTOS AB, PA Y PB POR SUS VECTORES DE POSICIÓN QUE VAN DE A HACIA B, DE P HACIA A Y DE P HACIA B, RESPECTIVAMENTE.

DE ESTA FORMA VEMOS QUE PODEMOS OBTENER LOS TÉRMINOS  $\text{SEN } \varphi_2 - \text{SEN } \varphi_1$  POR MEDIO DEL PRODUCTO ESCALAR DE DOS VECTORES.

DE LA FIGURA III.9, TENEMOS QUE  $\text{COS } \theta_1 = \text{SEN } \varphi_1$  Y  $\text{COS } \theta_2 = \text{SEN } \varphi_2$ .

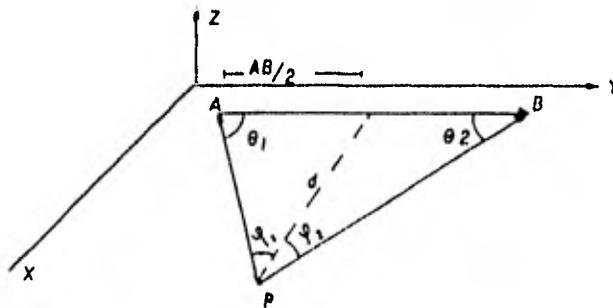


FIG. III. 9

AHORA BIEN: 
$$\text{Cos } \theta_1 = \frac{\vec{PA} \cdot \vec{AB}}{|\vec{PB}| \cdot |\vec{AB}|}$$

$$\text{Cos } \theta_2 = \frac{\vec{PB} \cdot \vec{AB}}{|\vec{PB}| \cdot |\vec{AB}|}$$

$$\therefore \text{Cos } \theta_2 - \text{Cos } \theta_1 = \frac{\vec{PB} \cdot \vec{AB}}{|\vec{PB}| \cdot |\vec{AB}|} - \frac{\vec{PA} \cdot \vec{AB}}{|\vec{PA}| \cdot |\vec{AB}|} = \text{Sen } \varphi_2 - \text{Sen } \varphi_1$$

LA DISTANCIA  $d$ , LA PODEMOS TAMBIEN DETERMINAR POR MEDIO DEL ANÁLISIS VECTORIAL.

SABEMOS QUE LA MAGNITUD DEL VECTOR  $\vec{C}$ , NOS DA EL ÁREA DEL PARALELOGRAMO FORMADO POR LOS VECTORES  $\vec{PA}$  Y  $\vec{PB}$ .

ADEMÁS TENEMOS QUE:

$$\text{AREA DEL PARALELOGRAMO} = d |\vec{AB}|$$

$$\text{IGUALANDO: } \vec{C} = d |\vec{AB}|$$

$$\text{DE DONDE: } d = \frac{|\vec{C}|}{|\vec{AB}|}$$

SUSTITUYENDO EN LAS ECUACIONES DE LAS COMPONENTES DEL CAMPO MAGNÉTICO TENEMOS,

$$H_x = \frac{I}{4\pi} (\text{Sen } \varphi_2 - \text{Sen } \varphi_1) \frac{|\vec{AB}|}{|\vec{C}|} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

$$H_y = \frac{I}{4\pi} (\text{Sen } \varphi_2 - \text{Sen } \varphi_1) \frac{|\vec{AB}|}{|\vec{C}|} \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

$$H_z = \frac{I}{4\pi} (\text{Sen } \varphi_2 - \text{Sen } \varphi_1) \frac{|\vec{AB}|}{|\vec{C}|} \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

ESTAS ECUACIONES, FINALMENTE QUEDARÁN DE LA SIGUIENTE FORMA, UNA VEZ QUE SE HACEN LAS SUSTITUCIONES ADECUADAS Y SE EXPRESAN SOLO EN FORMA VECTORIAL SUS PARÁMETROS.

$$H_x = \frac{I}{4\pi} \left[ \frac{\vec{PB} \cdot \vec{AB}}{\vec{PB} \cdot \vec{AB}} - \frac{\vec{PA} \cdot \vec{AB}}{\vec{PA} \cdot \vec{AB}} \right] \frac{\vec{AB}}{C} x$$

$$H_Y = \frac{I}{4\pi} \left[ \frac{\vec{PB} \cdot \vec{AB}}{PB \cdot AB} - \frac{\vec{PA} \cdot \vec{AB}}{PA \cdot AB} \right] \frac{AB}{C^2} Y$$

$$H_Z = \frac{I}{4\pi} \left[ \frac{\vec{PB} \cdot \vec{AB}}{PB \cdot AB} - \frac{\vec{PA} \cdot \vec{AB}}{PA \cdot AB} \right] \frac{AB}{C^2} Z$$

EL TÉRMINO  $\frac{I}{4\pi}$  ES UNA CONSTANTE, LOS PARÁMETROS INDICADOS CON UNA FLECHA ARRIBA SON VECTORES Y LOS QUE NO LA TIENEN SON MAGNITUDES.

LAS EXPRESIONES ANTERIORES SON PARA EL CÁLCULO DEL CAMPO - MAGNÉTICO, EN UN PUNTO P, DEBIDO AL SEGMENTO AB, POR LO QUE EL - CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A TODO EL EMISOR, YA SEA CABLE LARGO ATE- RRIZADO O BOBINA, ESTARÁ DADO POR LA SUMA DEL CAMPO MAGNÉTICO DE BIDO A CADA SEGMENTO DEL EMISOR.

POR EJEMPLO, SI SUPONEMOS QUE NUESTRO EMISOR ES UNA BOBINA RECTANGULAR, LA CUAL DIVIDIMOS EN N SEGMENTOS, ENTONCES EL CAMPO MAGNÉTICO EN UN PUNTO P, DEBIDO A LA BOBINA ESTARÁ DADO POR LA - EXPRESIÓN.

$$H_P = \frac{I}{4\pi} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\vec{PB}_i \cdot \vec{AB}_i}{PB_i \cdot AB_i} - \frac{\vec{PA}_i \cdot \vec{AB}_i}{PA_i \cdot AB_i} \right] \frac{AB_i}{C^2} \mu_i$$

DONDE  $\mu_i = X_i + Y_i + Z_i$  ES UN VECTOR UNITARIO EN LA DI- RECCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO.

#### IV.- EFECTO TOPOGRAFICO EN LOS DATOS DEL METODO TURAN.

##### IV.1.- GENERALIDADES.

EN EL CAPÍTULO ANTERIOR SE PRESENTARON LAS BASES PARA CALCULAR EL CAMPO MAGNÉTICO EN UN PUNTO, CONSIDERANDO LA RUGOSIDAD DEL TERRENO.

EL CAMPO MAGNÉTICO EN UN PUNTO, COMO SE RECORDARÁ, ESTÁ DADO POR LA INTEGRACIÓN DE LAS FRACCIONES DEL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL QUE CADA SEGMENTO EN QUE SE DIVIDE EL EMISOR APORTA AL PUNTO.

ESTE CÁLCULO RESULTARÁ SUMAMENTE TEDIOSO Y LARGO SI SE REALIZA MANUALMENTE, ESPECIALMENTE SI EL CIRCUITO EMISOR SE DIVIDE EN UN NÚMERO CONSIDERABLE DE SEGMENTOS.

ADEMÁS EL CAMPO SE TIENE QUE CALCULAR PARA CADA PUNTO DE OBSERVACIÓN DE LA LÍNEA, ASÍ POR EJEMPLO, SI TENEMOS UN CIRCUITO EMISOR DIVIDIDO EN 20 SEGMENTOS Y NUESTRA LÍNEA DE ESTUDIO CONTIENE UN TOTAL DE 20 PUNTOS DE OBSERVACIÓN, TENEMOS QUE PARA CALCULAR EL CAMPO MAGNÉTICO EN EL PRIMER PUNTO, SE TENDRÍA QUE EFECTUAR UN TOTAL DE 20 OPERACIONES ENTRE SUMAS, RESTAS, MULTIPLICACIONES Y DIVISIONES, EMPLEANDO LA ECUACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO

DEDUCIDA EN EL CAPÍTULO ANTERIOR.

PARA CALCULAR EL CAMPO A LO LARGO DEL PERFIL DE LA LÍNEA SE TENDRÍAN QUE REALIZAR  $20 \times 20$  OPERACIONES Y SI SE TUVIERA UN TOTAL DE 10 LÍNEAS DE LECTURA EL TOTAL DE OPERACIONES AUMENTARÍA A  $20 \times 20 \times 10 = 4000$  LO QUE NOS TOMARÍA UN TIEMPO CONSIDERABLE EN EFECTUARLAS.

¡FORTUNADAMENTE CON LA AYUDA DE UNA COMPUTADORA DIGITAL - ÉSTAS OPERACIONES SE PUEDEN REALIZAR EN UN TIEMPO BREVE.

EN EL APÉNDICE I SE PRESENTA UN PROGRAMA, ESCRITO EN FORTRAN IV, PARA CALCULAR EL CAMPO MAGNÉTICO Y ELÉCTRICO EN PUNTOS DISTANTES DE LA FUENTE EMISORA, DIVIDIDA EN SEGMENTOS.

EN EL APÉNDICE II SE MUESTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS --- CUANDO SE UTILIZA EL PROGRAMA CON LOS DATOS MOSTRADOS EN LA PRIMERA PÁGINA DE ÉSTE APÉNDICE.

ESTE PROGRAMA FUE UTILIZADO PARA CALCULAR LOS CAMPOS MAGNÉTICOS Y ELÉCTRICOS A LO LARGO DE PERFILES REPRESENTATIVOS DE CRESTAS VALLES Y LLANOS, DEBIDO A BOBINAS EMISORAS RECTANGULARES LAS CUALES MUESTRAN LOS CASOS QUE SE PUEDEN PRESENTAR CON MÁS FRECUENCIA EN LA REALIDAD.

LOS PERFILES FUERON UBICADOS EN CUATRO POSICIONES DIFERENTES A LO LARGO DEL LADO MAYOR DE LA BOBINA, DESDE EL CENTRO DE ÉSTA HASTA EL EXTREMO.

PARA EFECTOS DEL PRESENTE TRABAJO SOLO SE TOMÓ EN CONSIDERACIÓN LA COMPONENTE VERTICAL DEL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL YA QUE EN EL MÉTODO TURAM ES ÉSTA LA COMPONENTE QUE GENERALMENTE SE MIDE.

DE AQUÍ EN ADELANTE NOS REFERIREMOS AL CAMPO MAGNÉTICO - VERTICAL SÓLO COMO CAMPO MAGNÉTICO A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE OTRA COSA.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS DIFERENTES BOBINAS EMISORAS UTILIZADAS COMO MODELOS SE PRESENTAN EN UNA SERIE DE GRÁFICAS, LAS CUALES SE COMPARAN CON LAS OBTENIDAS EN UN MODELO DONDE TANTO LA BOBINA COMO LA LÍNEA DE LECTURA SE LOCALIZAN AL MISMO NIVEL.

ESTE ANÁLISIS SE REALIZA PARA CADA PERFIL EN CADA POSICIÓN DE LAS LÍNEAS A LO LARGO DE LA MITAD DEL LADO MAYOR DE LA BOBINA EMISORA.

#### IV.2.- BOBINA LOCALIZADA EN UN PLANO.

PARA EL CASO DE UN PERFIL PLANO, TENDREMOS EL CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A UNA BOBINA Y LÍNEA SITUADA AL MISMO NIVEL, ASÍ SE TENDRÁN LOS CAMPOS MAGNÉTICOS QUE NORMALMENTE SE UTILIZAN PARA NORMALIZAR LOS DATOS DEL MÉTODO TURAM. LA CURVA DE DECAIMIENTO DE ÉSTE CASO PARTICULAR SE COMPARA CON LOS DEMÁS CASOS.

CUANDO LA LÍNEA SE SITÚA A LA MITAD DE LA BOBINA, EL CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO AL PERFIL PLANO, ES MÁS INTENSO EN LAS TRES --- CUARTA PARTES MÁS PRÓXIMAS AL EMISOR, RESPECTO A LOS PERFILES 2 Y 3, QUE CORRESPONDEN A UNA CRESTA Y VALLE RESPECTIVAMENTE (FIGURA IV.2.1). EN ESTOS ÚLTIMOS EL GRADIENTE DEL CAMPO MAGNÉTICO ES MAYOR QUE EN EL PERFIL PLANO, PRINCIPALMENTE EN LA PROXIMIDAD DEL EMISOR.

SE OBSERVA QUE EN LA CURVA A, CORRESPONDIENTE AL PERFIL PLANO, EL DECAIMIENTO DEL CAMPO MAGNÉTICO SE EFECTÚA DE UNA MANERA - SUAVE, EN TANTO EN LOS OTROS SE REALIZA DE UNA FORMA MÁS BRUSCA, PRESENTANDO "SALTOS" DONDE EL PERFIL TOPOGRÁFICO CAMBIA DE PENDIENTE.

EN CADA CAMBIO DE PENDIENTE DEL PERFIL, SE OBSERVA UN CAMBIO BRUSCO EN LA CURVA DE DECAIMIENTO DE LA INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO, SIENDO MÁS NOTORIO EL CAMBIO EN LAS TRES CUARTAS PARTES DE LA LÍNEA MÁS PRÓXIMAS AL EMISOR,

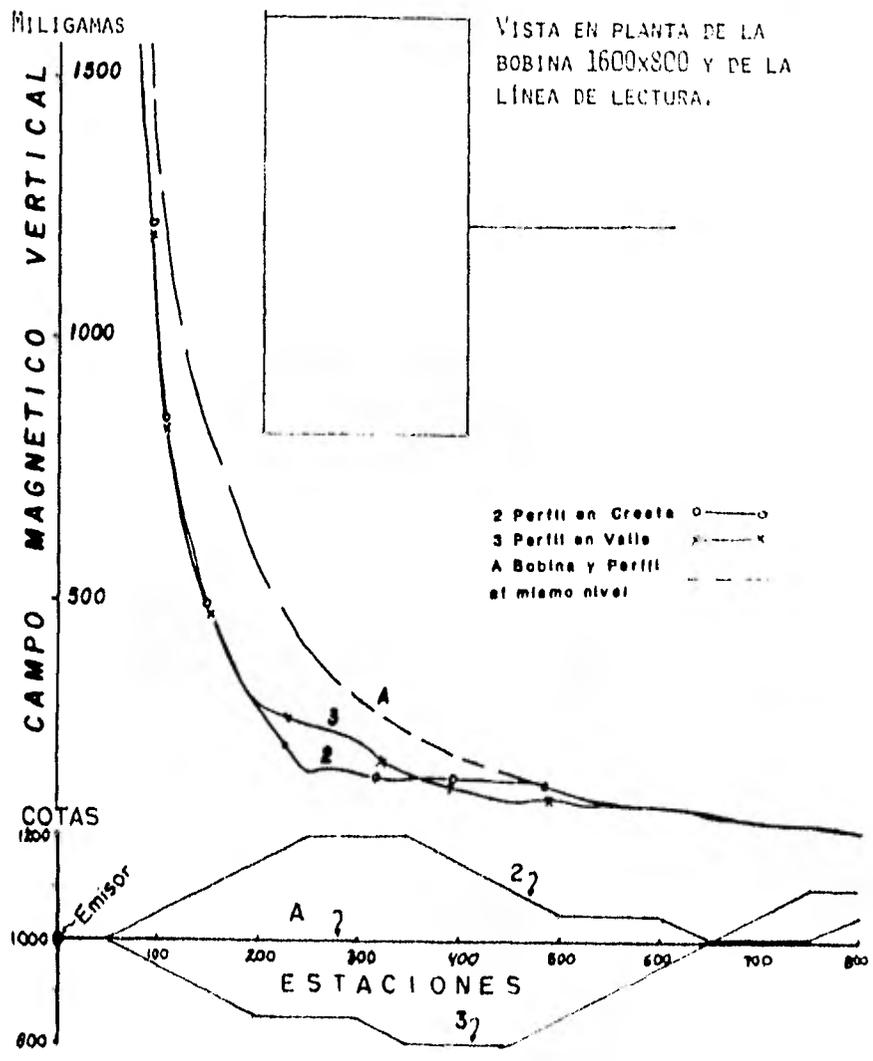


FIGURA N. 2.1

HACIA EL FINAL DE LA LÍNEA EL CAMPO TIENDE A HACERSE MÁS UNIFORME PERO MENOS INTENSO, POR LO QUE LOS CAMBIOS DE PENDIENTE DE LOS PERFILES TIENEN UN EFECTO POCO APRECIABLE SOBRE EL CAMPO MAGNÉTICO.

CUANDO NUESTRA LÍNEA DE LECTURA LA UBICAMOS DESPLAZADA DE LA MITAD DEL LADO MAYOR DE LA BOBINA (FIGURA IV.2.2), EL CAMPO MAGNÉTICO EN LA PROXIMIDAD DEL EMISOR TIENE UN DECAIMIENTO MÁS PRONUNCIADO QUE CUANDO SE SITÚA AL CENTRO.

LAS ALTERACIONES QUE SUFRE EL CAMPO MAGNÉTICO SE HACEN MÁS EVIDENTES EN LOS CAMBIOS DE PENDIENTE DEL PERFIL.

RESPECTO A LA LÍNEA CENTRAL EN REALIDAD HAY Poca DIFERENCIA, DEBIDO PRINCIPALMENTE A SU PROXIMIDAD CON ELLA.

CUANDO LA LÍNEA, EN LA CUAL SE CALCULA EL CAMPO MAGNÉTICO, ESTÁ PRÓXIMA A LA ESQUINA DE LA BOBINA EMISORA, LA INTENSIDAD -- DE AQUEL ES MENOR RESPECTO AL DE LAS LÍNEAS CENTRALES (FIG. IV.2.3).

LOS PERFILES NO PLANOS PRODUCEN CAMPOS MAGNÉTICOS MENOS INTENSOS QUE LOS PERFILES PLANOS EN LA PROXIMIDAD DE LA BOBINA Y CAMBIOS BRUSCOS EN LA CURVA DE DECAIMIENTO DEL CAMPO MAGNÉTICO.

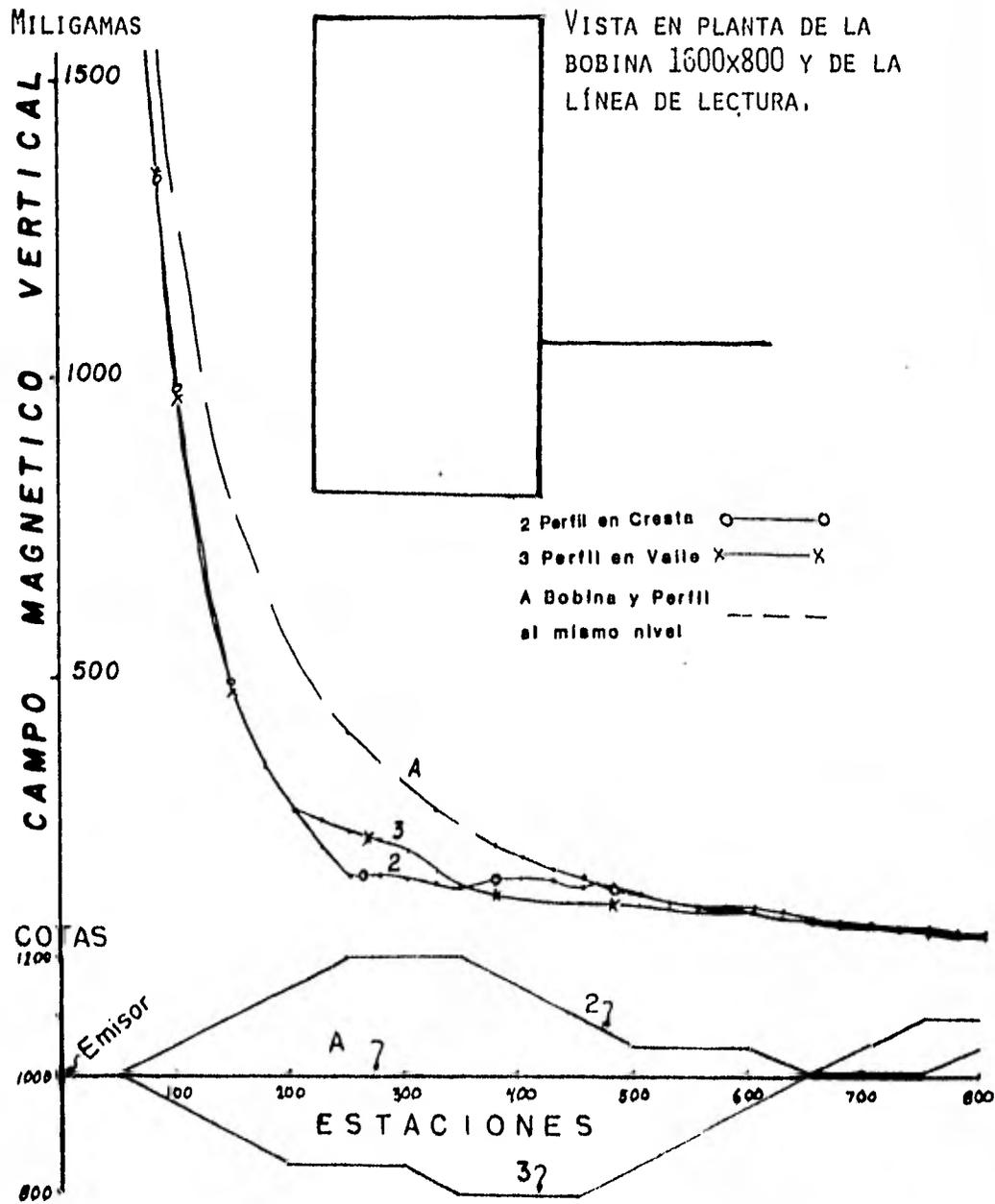


FIGURA IV.2.2

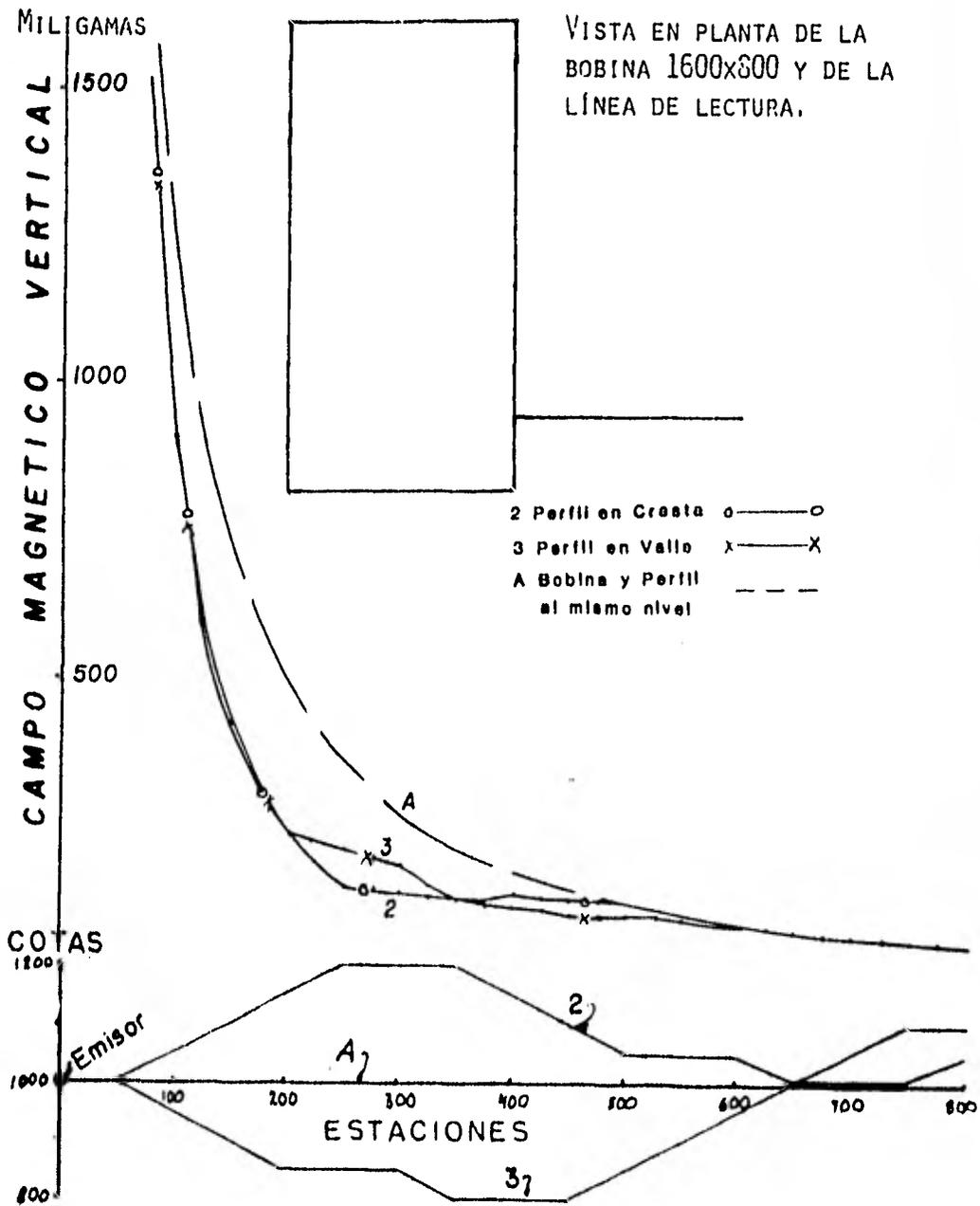


FIGURA IV.2.3

ESTAS ANORMALIDADES EN EL CAMPO MAGNÉTICO SON MÁS NOTORIAS EN LAS LÍNEAS CENTRALES QUE EN LA DE LOS EXTREMOS, EN ÉSTAS ÚLTIMAS LAS ALTERACIONES PRESENTES EN LAS LÍNEAS CENTRALES SE MANIFIESTAN LIGERAMENTE Y NO SON TAN CRÍTICAS COMO PARA AQUELLAS (FIGURA IV.2.4).

LA RAZÓN POR LA CUAL EL CAMPO MAGNÉTICO ES MÁS INTENSO, EN EL PERFIL PLANO, RESPECTO A LOS PERFILES EN LOS QUE SE CONSIDERAN SITUACIONES TOPOGRÁFICAS, ES DEBIDO A QUE EN EL PRIMERO EL CAMPO MAGNÉTICO VERTICAL ES IGUAL AL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL Y EN LOS SEGUNDOS EL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL SE DESCOMPONE EN DOS COMPONENTES, UNA HORIZONTAL, PARALELA A LAS LÍNEAS DE LECTURA Y EN UNA VERTICAL.

HASTA AQUÍ SE HA VISTO QUE LA INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO ES FUNCIÓN DE LA POSICIÓN DE LAS LÍNEAS RESPECTO AL EMISOR Y DE LA DISTANCIA DEL EMISOR AL PUNTO DONDE SE CALCULA EL CAMPO, ASÍ COMO DE LA TOPOGRAFÍA DE LA LÍNEA DE LECTURA EN LA PROXIMIDAD DEL EMISOR.

LAS ALTERACIONES EN LA CURVA DE DECAIMIENTO DE LA INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO, SON OCASIONADAS POR LOS CAMBIOS DE PENDIENTE EN LA TOPOGRAFÍA DEL PERFIL, SIENDO ÉSTO MÁS NOTORIO EN LA PROXIMIDAD DEL EMISOR.

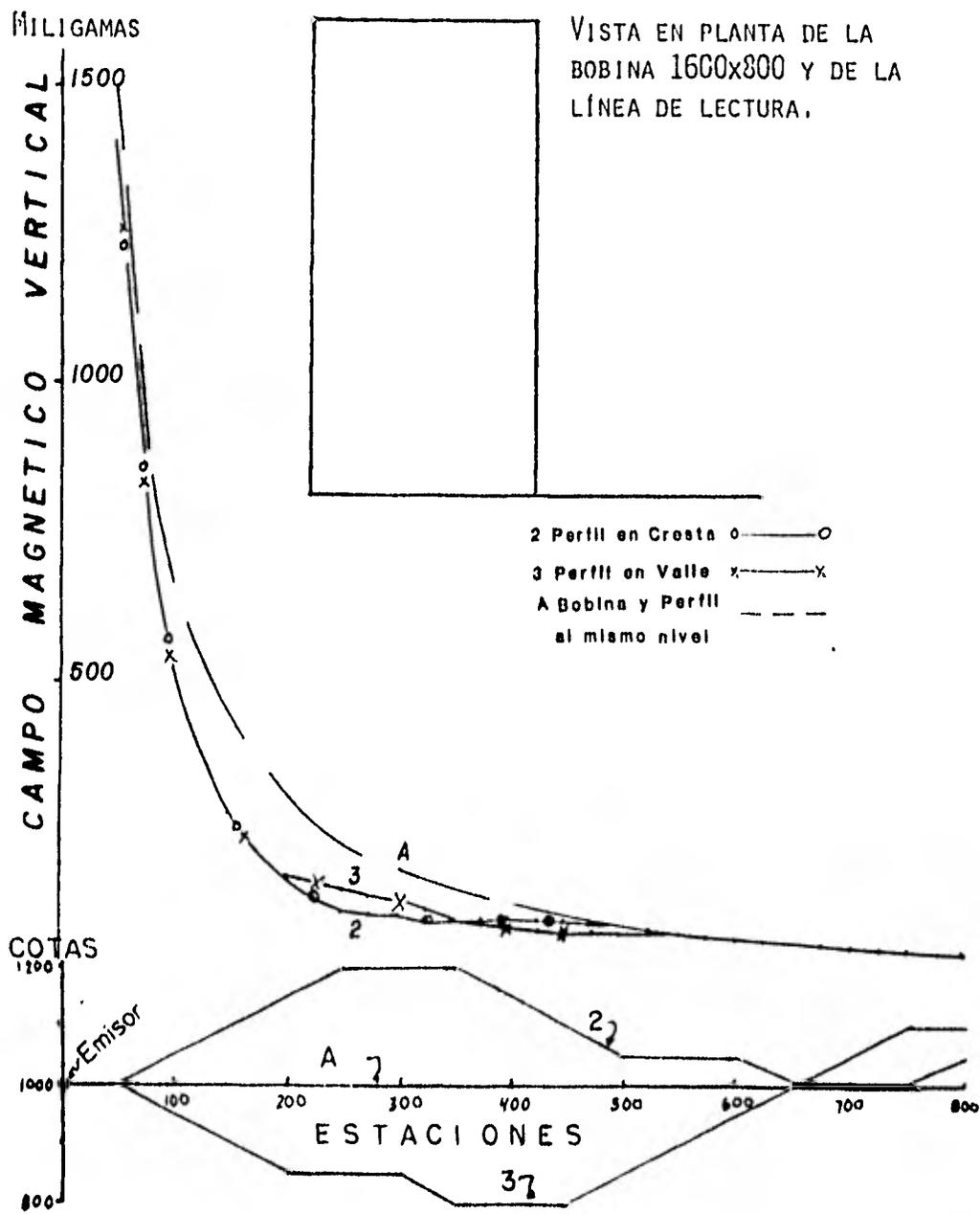


FIGURA IV.2.4

CON ÉSTE MODELO SE PUDO ESTUDIAR LOS EFECTOS QUE LA TOPOGRAFIA DE LAS LÍNEAS DE ESTUDIO INTRODUCE EN LA CURVA DEL CAMPO MAGNÉTICO, A CONTINUACIÓN SE PRESENTAN LOS RESULTADOS MÁS SIGNIFICATIVOS QUE SE OBTIENEN AL CONSIDERAR LA TOPOGRAFÍA EN LA PROPIA BOBINA TRANSMISORA, UTILIZANDO LOS MISMOS PERFILES TOPOGRÁFICOS QUE PARA EL CASO ANTERIOR.

#### IV.3.- BOBINA LOCALIZADA EN UNA PENDIENTE.

CUANDO NUESTRA BOBINA EMISORA SE LOCALIZA CON LOS LADOS MENORES, LOS PARALELOS A LAS LÍNEAS DE LECTURA, CON CIERTA PENDIENTE, YA SEA HACIA ARRIBA O HACIA ABAJO, RESPECTO AL PERFIL PLANO, LAS ALTERACIONES QUE SUFRE EL CAMPO MAGNÉTICO, EXPLICADAS EN EL INCISO ANTERIOR, SE HACEN MÁS EVIDENTES SOBRE TODO EN LAS LÍNEAS CENTRALES.

SI OBSERVAMOS LAS FIGURAS IV.3.1 Y IV.3.2 PODEMOS APRECIAR COMO EN LAS ESTACIONES 250, 350 Y 500 EXISTE UN CAMBIO DE PENDIENTE EN LA TOPOGRAFÍA DEL PERFIL 2, REPRESENTATIVO DE UNA CRESTA, CORRESPONDIENDO TAMBIÉN UNA ALTERACIÓN EN SU CURVA DE DECAIMIENTO DEL CAMPO MAGNÉTICO EN DICHAS ESTACIONES. UNA SITUACIÓN ANÁLOGA OCURRE CON EL PERFIL 3 Y CURVA 3, REPRESENTATIVO DE UN VALLE, EN LAS ESTACIONES 200, 300, 350 Y 450.

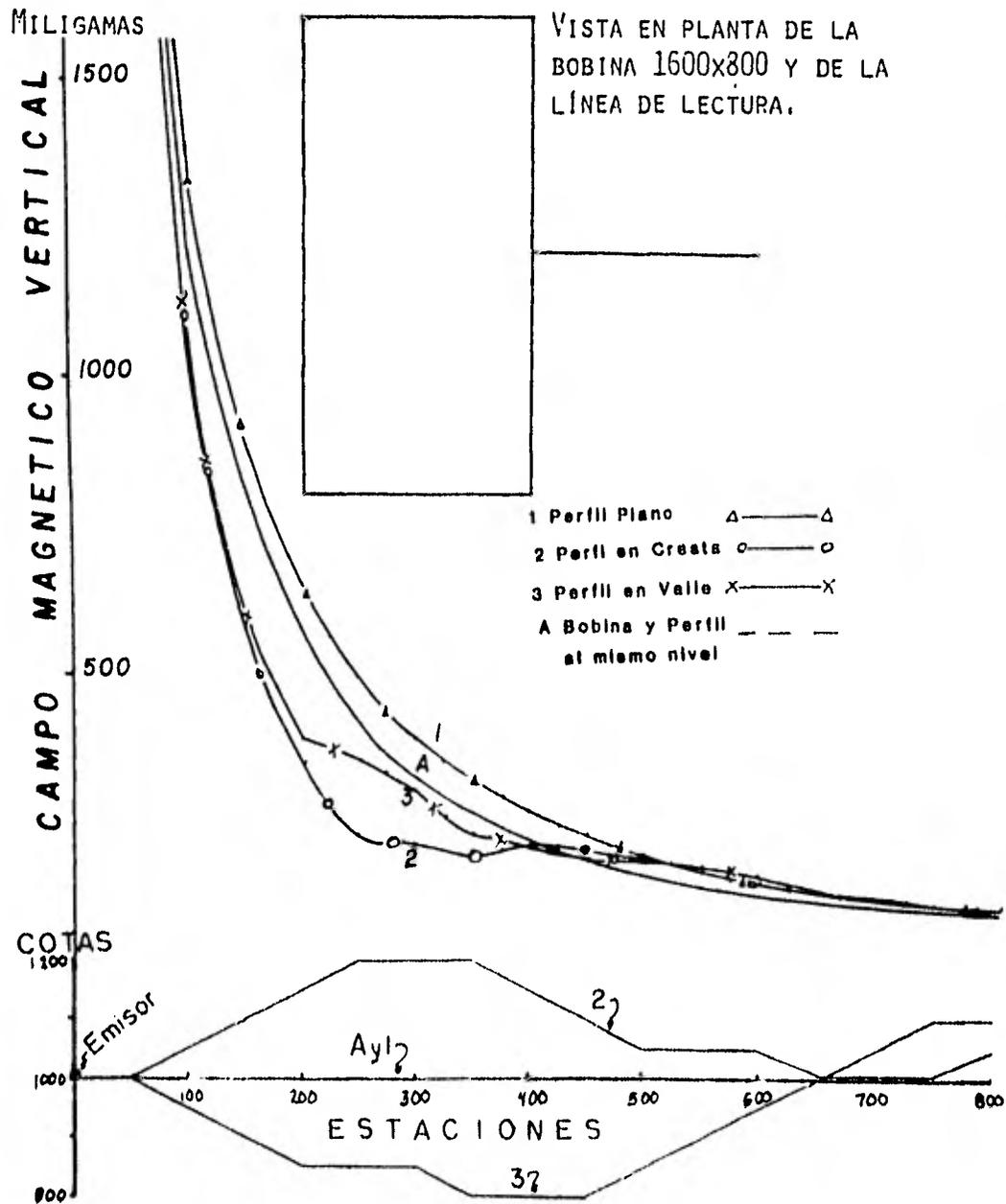


FIGURA IV.3.1 CAMPO MAGNÉTICO EN LA LÍNEA CENTRAL DE UNA BOBINA PENDIENTE HACIA ABAJO

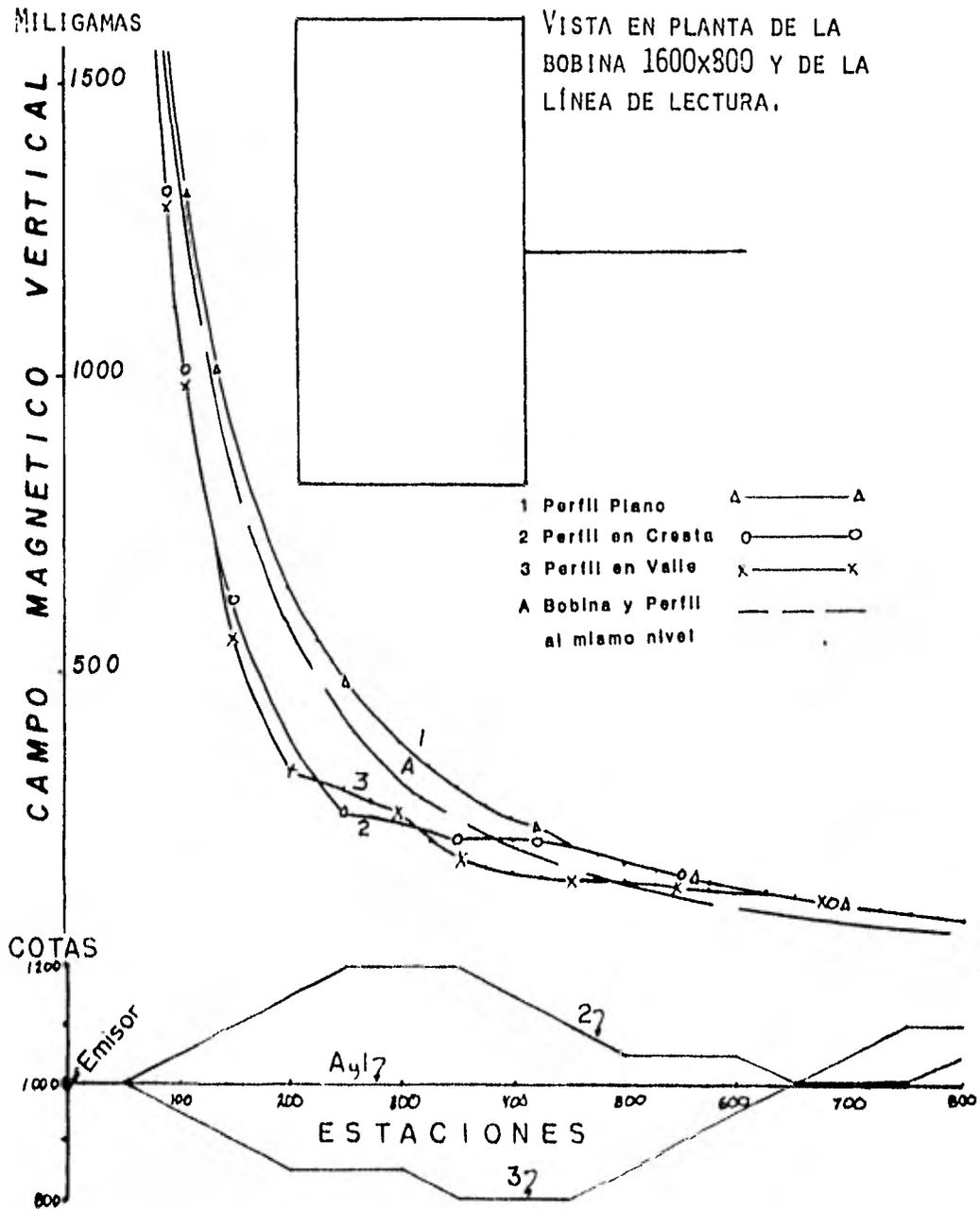


FIGURA IV.3.2 CAMPO MAGNÉTICO EN LA LÍNEA CENTRAL DE UNA BOBINA PENDIENTE ARRIBA,

LA CURVA 1, QUE CORRESPONDE AL PERFIL PLANO, TIENE UN DECAIMIENTO ANÁLOGO AL QUE SE OBTIENE CUANDO NO SE CONSIDERA LA TOPOGRAFÍA EN LA BOBINA NI EN EL PERFIL, CURVA A, LA DIFERENCIA ENTRE ÉSTAS CURVAS ES RESPECTO A LA INTENSIDAD, LA CUAL ES MAYOR CUANDO SE CONSIDERA LA TOPOGRAFÍA EN LA BOBINA EMISORA.

HACIA LOS EXTREMOS DE LA BOBINA, EN GENERAL EL CAMPO MAGNÉTICO, SOBRE LAS LÍNEAS DE LECTURA, ES MENOS INTENSO QUE EN LA PARTE CENTRAL, COMO CONSECUENCIA DE ESTO, LOS CAMBIOS DE PENDIENTE EN LA TOPOGRAFÍA DE LAS LÍNEAS DE ESTUDIO TIENEN EFECTOS POCO APRECIABLES EN LA CURVA DEL CAMPO MAGNÉTICO (FIGURA IV.3.3 Y IV.3.4).

EN ÉSTAS FIGURAS VEMOS QUE SOLO EL PERFIL 3, CORRESPONDIENTE A UN VALLE, INTRODUCE ALTERACIONES EN LA CURVA 3, EN LAS ESTACIONES 200 Y 300, QUE ES DONDE OCURREN LOS CAMBIOS DE PENDIENTE EN LA TOPOGRAFÍA. EL PERFIL 2, DE UNA CRESTA, INTRODUCE ALTERACIONES AL CAMPO MAGNÉTICO EN LA ESTACIÓN 250 DE LA CURVA 2, PERO NO ES TAN MARCADO COMO EN LAS LÍNEAS CENTRALES.

EN GENERAL, LAS CURVAS DE DECAIMIENTO DEL CAMPO MAGNÉTICO SON ANÁLOGAS A LOS CASOS ANTERIORES, EN CUANTO A FORMA, VARIANDO SOLO EN INTENSIDAD UNA RESPECTO A LA OTRA, LO CUAL ES LÓGICO SI CONSIDERAMOS QUE EL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL CAMBIA DE DIRECCIÓN DEPENDIENDO DEL LUGAR DONDE SEA CALCULADO Y DEL TIPO DE --

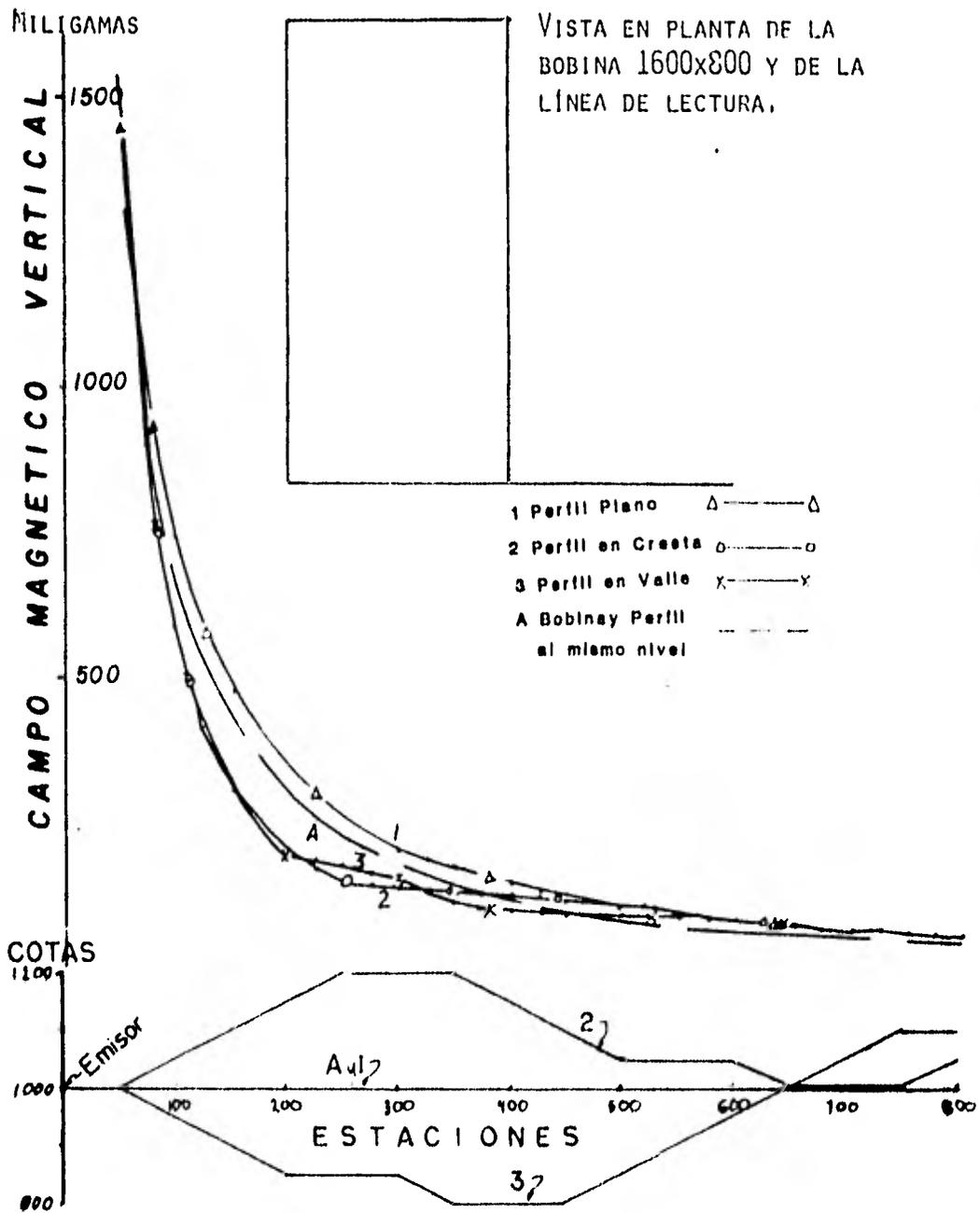


FIGURA IV.3.3, CAMPO MAGNÉTICO EN LA LÍNEA DEL EXTREMO DE UNA BOBINA PENDIENTE ARRIBA.

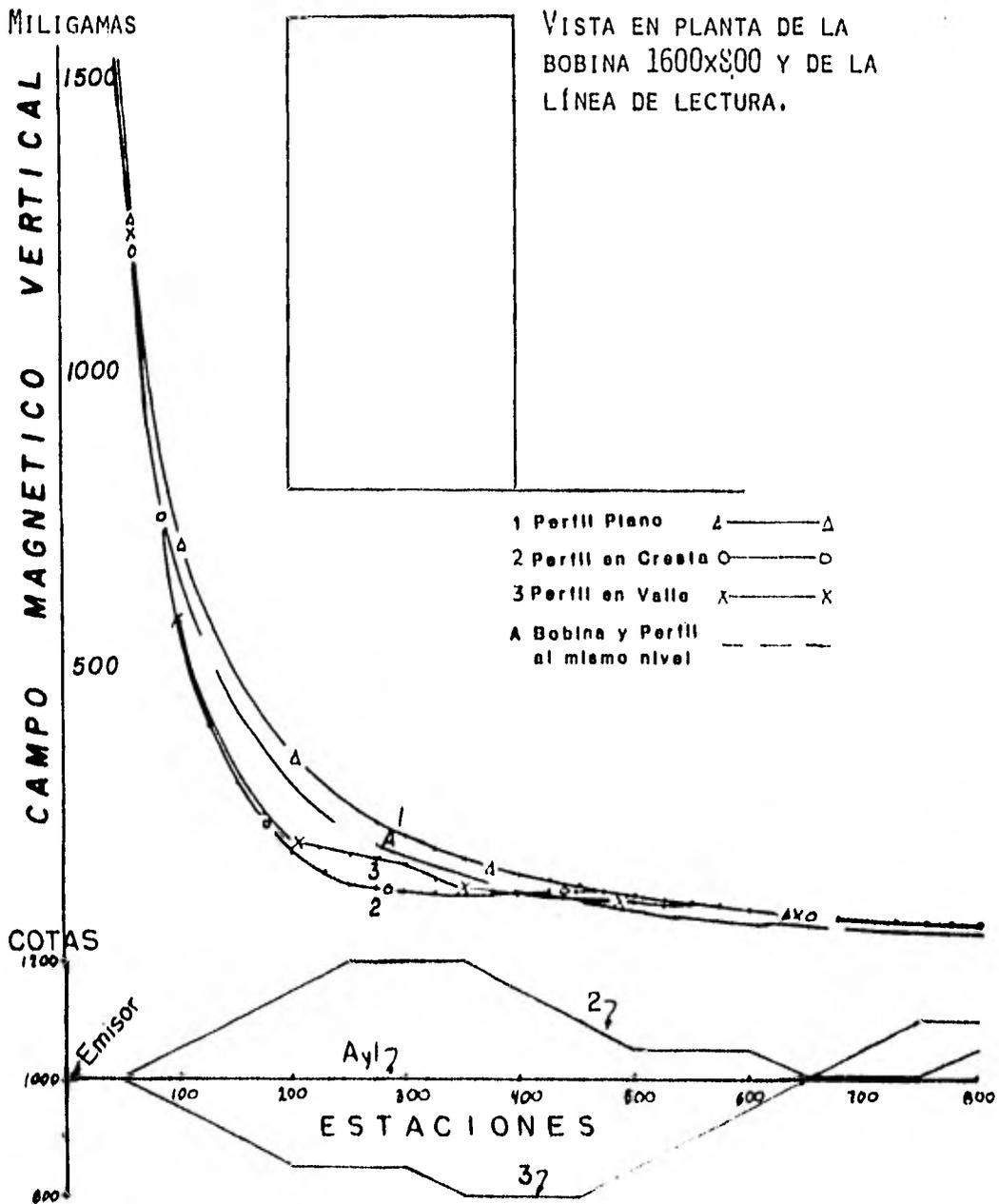


FIGURA IV.3.4. CAMPO MAGNÉTICO EN LA LÍNEA DEL EXTREMO DE UNA BOBINA PENDIENTE ABAJO.

TRANSMISOR EMPLEADO, ESTO TRAERA COMO CONSECUENCIA QUE EN ALGUNOS CASOS LA COMPONENTE VERTICAL TIENDA A SER IGUAL AL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL, POR LO QUE SE MANIFESTARÁ CON UNA MAYOR INTENSIDAD.

#### IV.4.- BOBINA LOCALIZADA EN UN VALLE.

CUANDO LA BOBINA SE LOCALIZA CON SU LADO MAYOR EN UN VALLE, FIGURA IV.4.1, LOS CAMBIOS EN EL CAMPO MAGNÉTICO DE LOS DISTINTOS PERFILES, DE LA LÍNEA CENTRAL, SON ANÁLOGOS A LOS CASOS ANTERIORES.

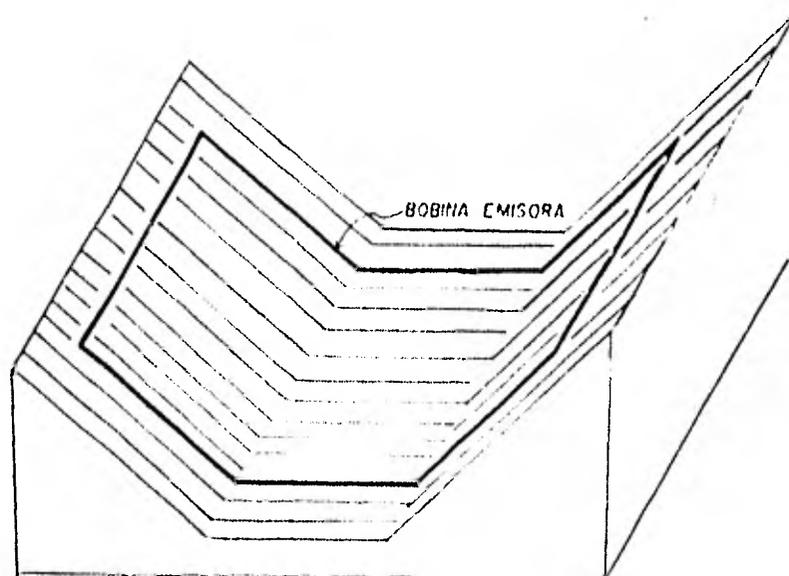


FIGURA IV.4.1, BOBINA LOCALIZADA EN UN VALLE.

EN LA LÍNEA CENTRAL, FIGURA IV.4.2, LA CURVA DEL CAMPO MAGNÉTICO DEBIDA A LOS PERFILES PLANOS (CURVAS Y PERFILES A Y 1), TIENEN GRAN SEMEJANZA EN CUANTO A FORMA E INTENSIDAD, INDEPENDIENTEMENTE DE LA SITUACIÓN TOPOGRÁFICA DEL TRANSMISOR, YA SEA EN VALLE O PLANO. SIN EMBARGO, PARA LOS PERFILES 2 Y 3, REPRESENTATIVOS DE CRESTAS Y VALLES RESPECTIVAMENTE, LOS CAMBIOS DE PENDIENTE EN LA TOPOGRAFÍA DE ELLOS INTRODUCEN ALTERACIONES EN EL CAMPO MAGNÉTICO VERTICAL (CURVAS 2 Y 3 RESPECTIVAMENTE).

CONFORME LAS LÍNEAS DE ESTUDIO LAS VAMOS SITUANDO HACIA - EL EXTREMO DE LA BOBINA, OCURREN CAMBIOS PAULATIVOS EN LAS CURVAS DE DECAIMIENTO DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LOS DISTINTOS PERFILES, DE TAL FORMA QUE EN LA LÍNEA DEL EXTREMO DE LA BOBINA, FIGURA IV.4.3, SE APRECIA UNA DIFERENCIA EN INTENSIDAD ENTRE LAS CURVAS DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LOS PERFILES PLANOS CUANDO SE CONSIDERA LA TOPOGRAFÍA EN LA BOBINA, CURVA 1, Y CUANDO NO SE CONSIDERA, CURVA A.

POR OTRA PARTE, SE PUEDE OBSERVAR QUE EN LA LÍNEA DEL EXTREMO, FIGURA IV.4.3, LOS PERFILES 2 Y 3 CORRESPONDIENTES A UNA CRESTA Y A UN VALLE RESPECTIVAMENTE, NO INTRODUCEN ALTERACIONES AL CAMPO MAGNÉTICO, CURVAS 2 Y 3, DONDE PRESENTAN CAMBIOS DE PENDIENTE EN LA TOPOGRAFÍA, COMO LO HACEN EN LA LÍNEA CENTRAL, FIGURA IV.4.2.

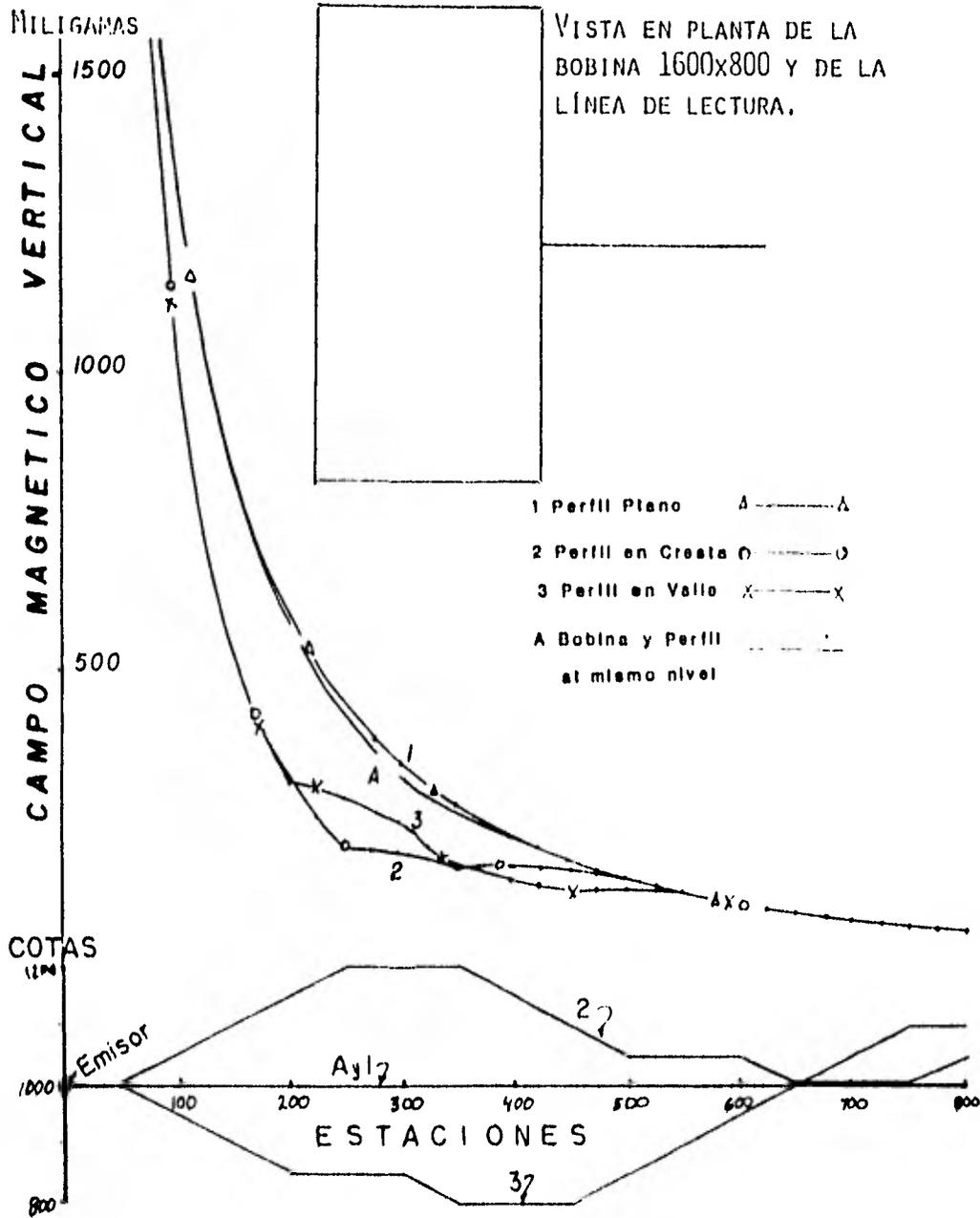


FIGURA IV.4.2

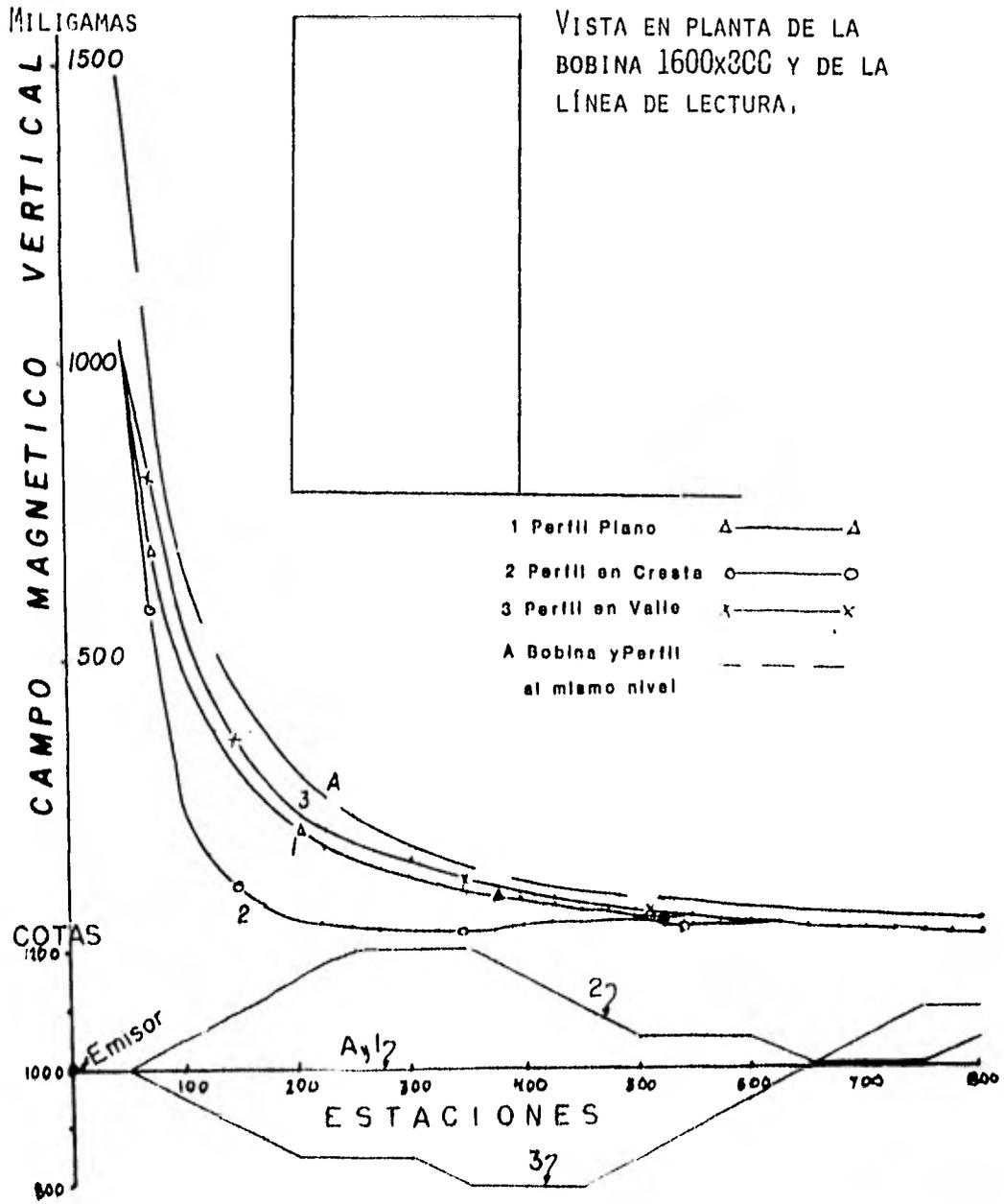


FIGURA IV.4.3

EN LA LÍNEA DEL EXTREMO DE LA BOBINA, FIGURA IV.4.3, LAS DIFERENCIAS MÁS APRECIABLES ENTRE LOS DISTINTOS PERFILES, SON RESPECTO AL GRADIENTE DE LA INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO EN LA PROXIMIDAD DEL EMISOR.

LA INTENSIDAD DE LA CURVA 3, CORRESPONDIENTE AL PERFIL EN VALLE 3, EN EL EXTREMO DE LA BOBINA, FIGURA IV.4.3, LLEGA A SER MAYOR QUE LA CURVA 1, ES DECIR, EL PERFIL REPRESENTATIVO DE UN VALLE EN EL EXTREMO DE LA BOBINA LLEGA A "INVERTIR" SU INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO RESPECTO AL PERFIL QUE REPRESENTA A UN TERRENO SIN RUGOSIDAD, CONSIDERANDO LA TOPOGRAFÍA EN LA BOBINA, COMPARANDO LAS CURVAS 3 Y 1 CON LAS QUE SE OBTIENEN CUANDO LA LÍNEA SE LOCALIZA AL CENTRO DE LA BOBINA, FIGURA IV.4.2.

EL GRADIENTE DEL CAMPO MAGNÉTICO DEL PERFIL 2, REPRESENTATIVO DE UNA CRESTA, ES TAN PRONUNCIADO EN LA PROXIMIDAD DEL EMISOR QUE TIENDE A FORMAR UN ÁNGULO RECTO DONDE EL CAMPO EMPIEZA HACERSE CONSTANTE.

CUANDO EL PERFIL DONDE SE CALCULA EL CAMPO ES UN VALLE, -- PERFIL 3 FIGURA IV.4.3, AL IGUAL QUE EL EMISOR, LA CAÍDA DEL -- CAMPO MAGNÉTICO ES ANÁLOGA A LAS CORRESPONDIENTES DE LOS PERFILES PLANOS, CURVAS 1 Y A, CON Y SIN CONSIDERACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA EN LA BOBINA EMISORA, VARIANDO ÚNICAMENTE EN INTENSIDAD.

#### IV.5.- BOBINA LOCALIZADA EN UNA CRESTA.

SI LA BOBINA EMISORA ESTÁ LOCALIZADA CON EL LADO MAYOR EN UNA CRESTA, FIGURA IV.5.1, OCURREN CAMBIOS MUY INTERESANTES EN LA CURVA DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LOS DISTINTOS PERFILES RESPECTO AL CASO ANTERIOR.

ESTOS CAMBIOS SE MANIFIESTAN MEJOR EN LA LÍNEA LOCALIZADA EN EL EXTREMO DE LA BOBINA MÁS QUE EN LA DEL CENTRO, DONDE LOS CAMPOS MAGNÉTICOS SON ANÁLOGOS AL CASO ANTERIOR.

ESTO LO PODEMOS VER COMPARANDO LA FIGURA IV.4.2 CON LA FIGURA IV.5.2, DONDE UNA ES RÉPLICA DE LA OTRA Y CORRESPONDEN AL CAMPO MAGNÉTICO A LO LARGO DE LA LÍNEA CENTRAL.

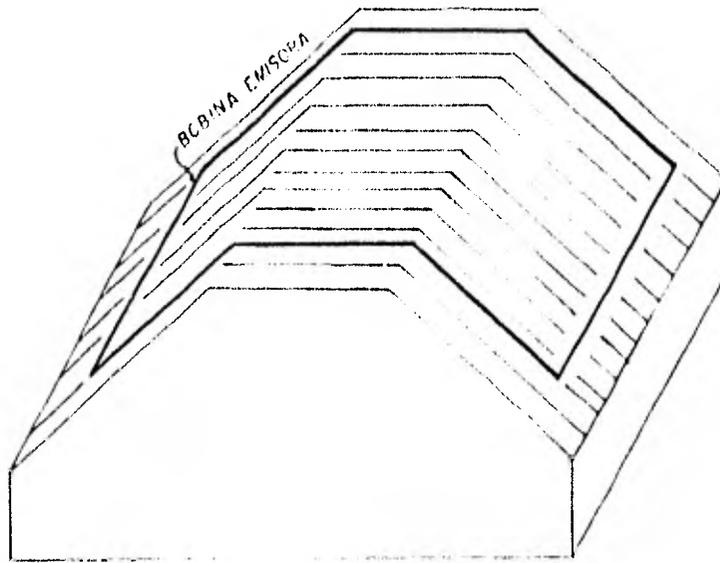


FIGURA IV.5.1 BOBINA LOCALIZADA EN UNA CRESTA.

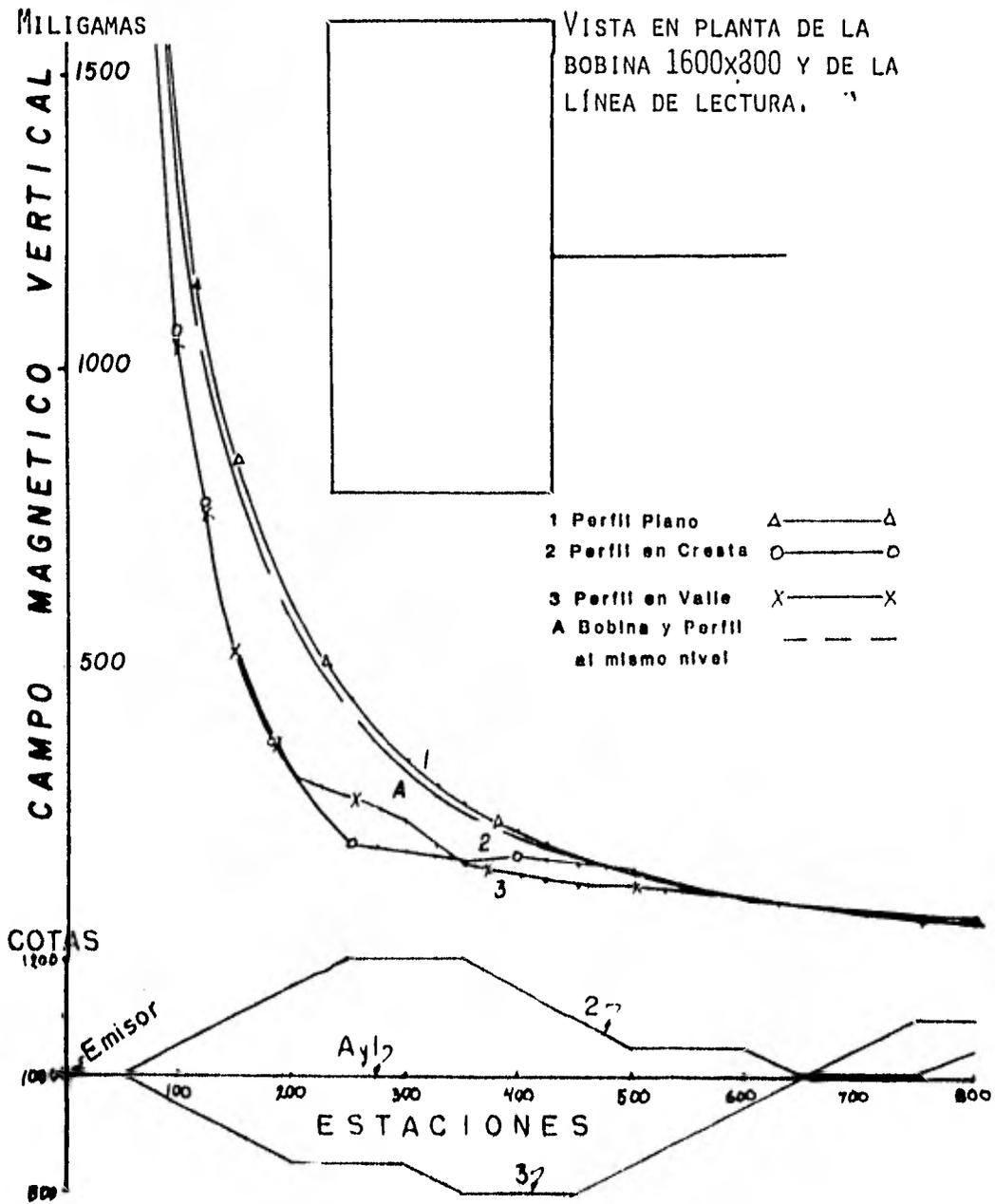


FIGURA IV.5.2

CUANDO LA LÍNEA SE LOCALIZA CERCA DEL CENTRO DE LA BOBINA, DONDE ÉSTA TIENE UN CAMBIO DE PENDIENTE EN LA TOPOGRAFÍA, EL CAMPO MAGNÉTICO DE LOS PERFILES 2 Y 3, REPRESENTATIVO DE UNA CRESTA Y VALLE, INVIERTEN SU INTENSIDAD UNO RESPECTO AL OTRO CUANDO SE PASA DE UNA BOBINA SITUADA EN UNA CRESTA A UNA LOCALIZADA EN UN VALLE, FIGURAS IV.5.3 Y IV.5.4, SIENDO MÁS INTENSO EL DEL PERFIL QUE REPRESENTA LA SITUACIÓN CONTRARIA DE LA BOBINA.

ASÍ POR EJEMPLO, EN EL CASO DE UNA BOBINA EN CRESTA EL CAMPO MAGNÉTICO DEL PERFIL 3, ES MÁS INTENSO QUE EL REPRESENTATIVO DE UNA CRESTA, CURVA Y PERFIL 2, Y POR EL CONTRARIO CUANDO LA BOBINA SE LOCALIZA EN UN VALLE, EL CAMPO MAGNÉTICO DEL PERFIL QUE REPRESENTA A UNA CRESTA ES MÁS INTENSO QUE EL DEL VALLE.

EN AMBOS CASOS, LAS ALTERACIONES QUE SUFRE LA CURVA DE DECAIMIENTO DEL CAMPO MAGNÉTICO, A LO LARGO DE LA LÍNEA, SON DEBIDAS A LOS CAMBIOS DE PENDIENTE EN EL PERFIL, SIENDO MÁS EVIDENTES EN EL PERFIL 3, CURVA 3, REPRESENTATIVO DE UN VALLE, SIN IMPORTAR LA SITUACIÓN DE LA BOBINA.

CUANDO TANTO EL PERFIL COMO LA BOBINA SE LOCALIZAN EN UN VALLE O CRESTA EL CAMPO MAGNÉTICO EN LA PROXIMIDAD DEL EMISOR TIENE UN GRADIENTE TAN PRONUNCIADO QUE TIENDE A FORMAR UN ÁNGULO RECTO.

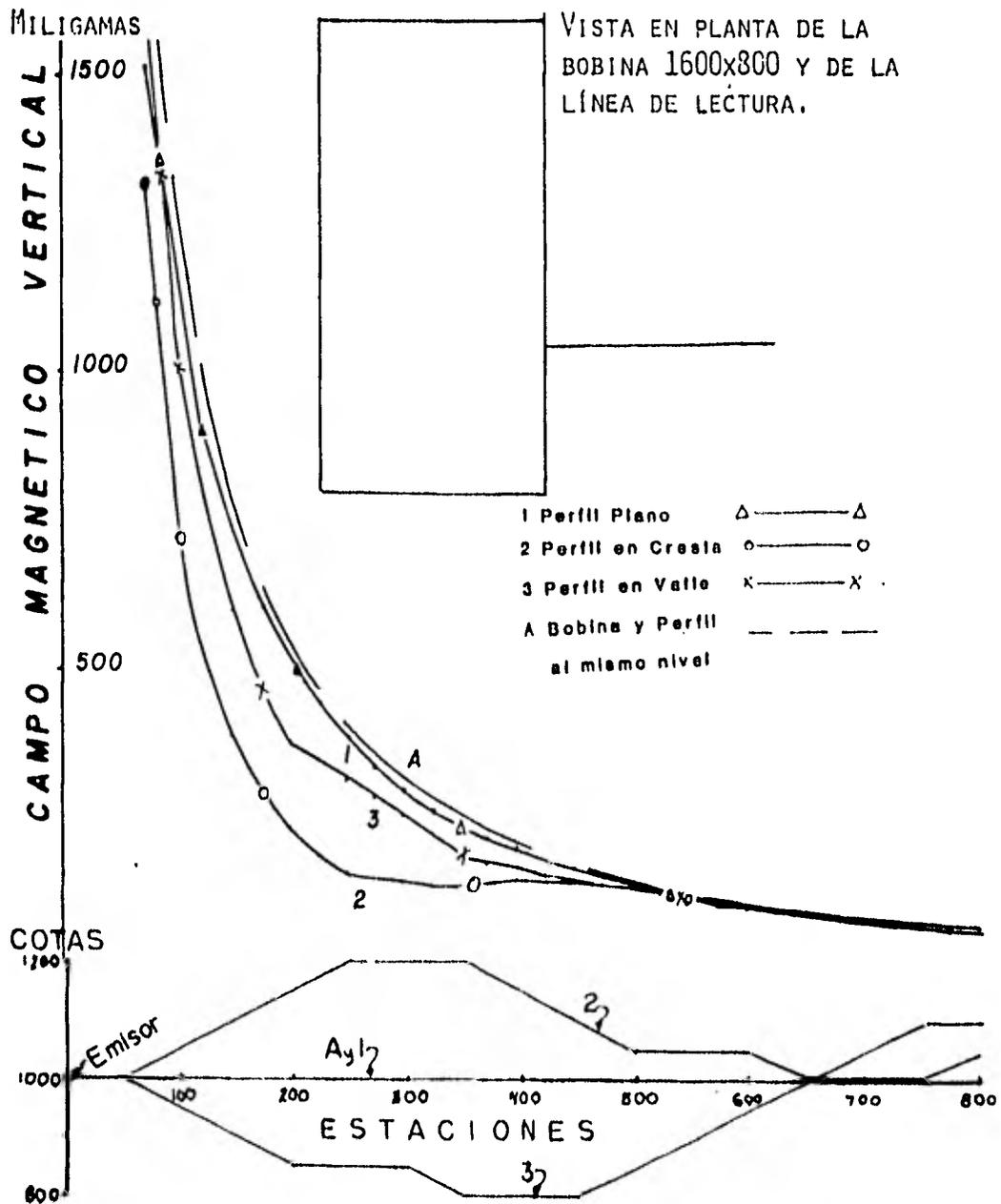


FIGURA IV.5.3, CAMPOS MAGNÉTICOS A LO LARGO DE LOS DISTINTOS PERFILES CUANDO LA BOBINA SE LOCALIZA EN UNA CRESTA.

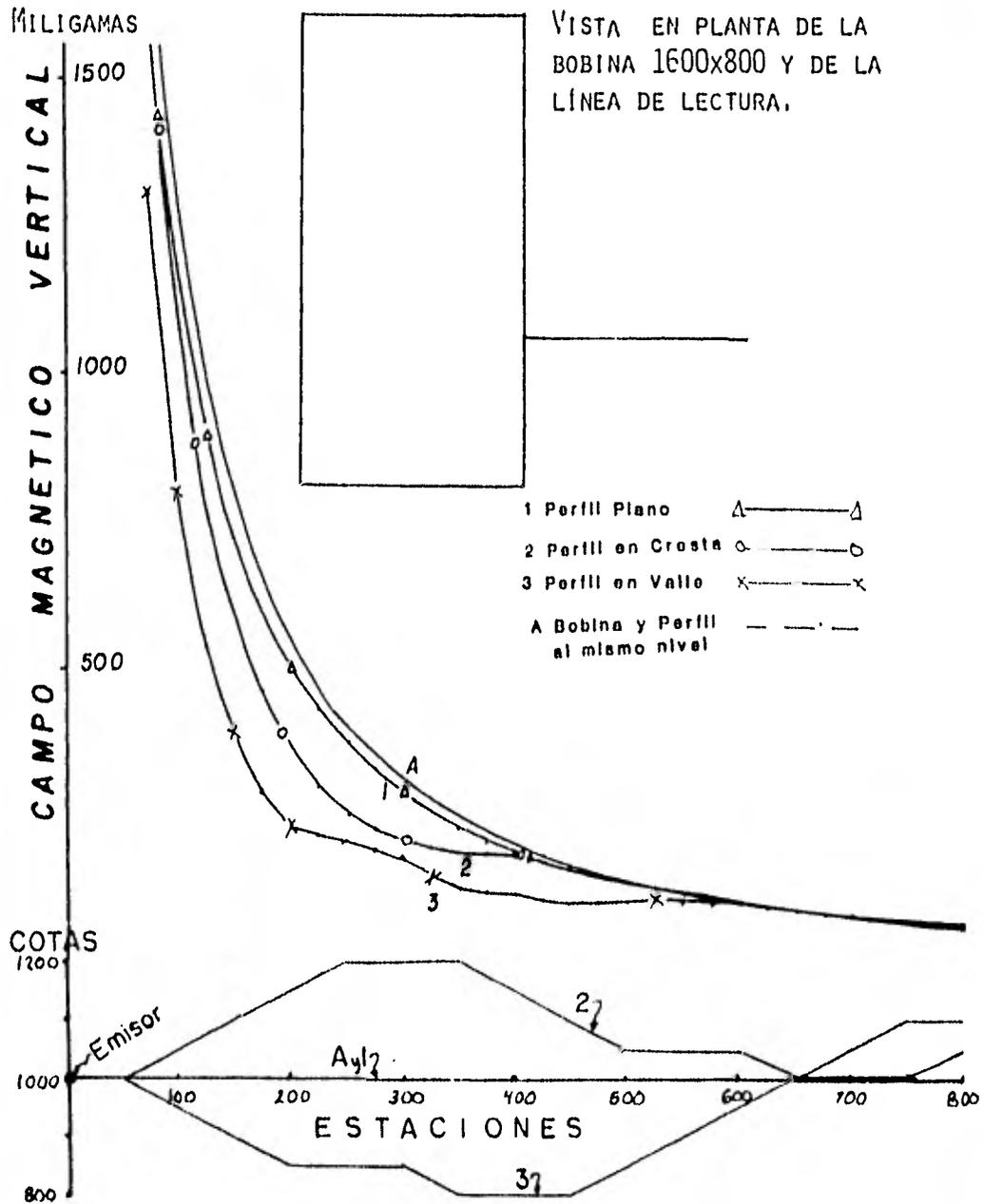


FIGURA V.5.4. CAMPOS MAGNÉTICOS A LO LARGO DE LOS DISTINTOS PERFILES CUANDO LA BOBINA SE LOCALIZA EN UN VALLE.

FINALMENTE, CUANDO LA LÍNEA ESTÁ PRÓXIMA A LA ESQUINA DE LA BOBINA EMISORA, EL GRADIENTE DEL CAMPO MAGNÉTICO EN LA PROXIMIDAD DE AQUELLA ES MUCHO MÁS FUERTE QUE CUANDO LA LÍNEA SE LOCALIZA EN LA PARTE CENTRAL, FIGURA IV.5.5.

HACIA EL EXTREMO DE LA BOBINA, LAS ALTERACIONES DEL CAMPO MAGNÉTICO PRODUCIDAS POR LOS CAMBIOS DE PENDIENTE EN EL PERFIL DEL TERRENO QUE EN LOS CASOS ANTERIORES ERAN NOTORIAS, SE MINIMIZAN HASTA PRÁCTICAMENTE DESAPARECER, FIGURA IV.5.6, SIN EMBARGO, EL GRADIENTE DEL CAMPO MAGNÉTICO ES YA EXAGERADAMENTE FUERTE EN LA PROXIMIDAD DEL EMISOR PARA EL PERFIL QUE REPRESENTA LA SITUACIÓN DE ÉSTE, POR EJEMPLO, CUANDO EL PERFIL Y LA BOBINA SE LOCALIZAN EN UN VALLE O EN UNA CRESTA.

COMO SE HA VISTO HASTA AHORA EN TODOS LOS MODELOS PRESENTADOS, EL CAMPO MAGNÉTICO EN LA PARTE CENTRAL DEL EMISOR ES MÁS INTENSO QUE EN EL EXTREMO.

ES INTERESANTE HACER NOTAR QUE EN LOS DOS ÚLTIMOS MODELOS DE BOBINAS EMISORAS PRINCIPALMENTE EN LAS LÍNEAS QUE QUEDAN SITUADAS AL EXTREMO DE LA BOBINA, EL CAMPO MAGNÉTICO DE UN PERFIL Y BOBINA EN UN PLANO, CURVA A, ES MÁS INTENSO QUE LOS OTROS CASOS Y HACIA EL FINAL DE LA LÍNEA, EL CAMPO MAGNÉTICO DE LOS DISTINTOS PERFILES ES MÁS UNIFORME Y NO EXISTEN ALTERACIONES APRECIABLES.

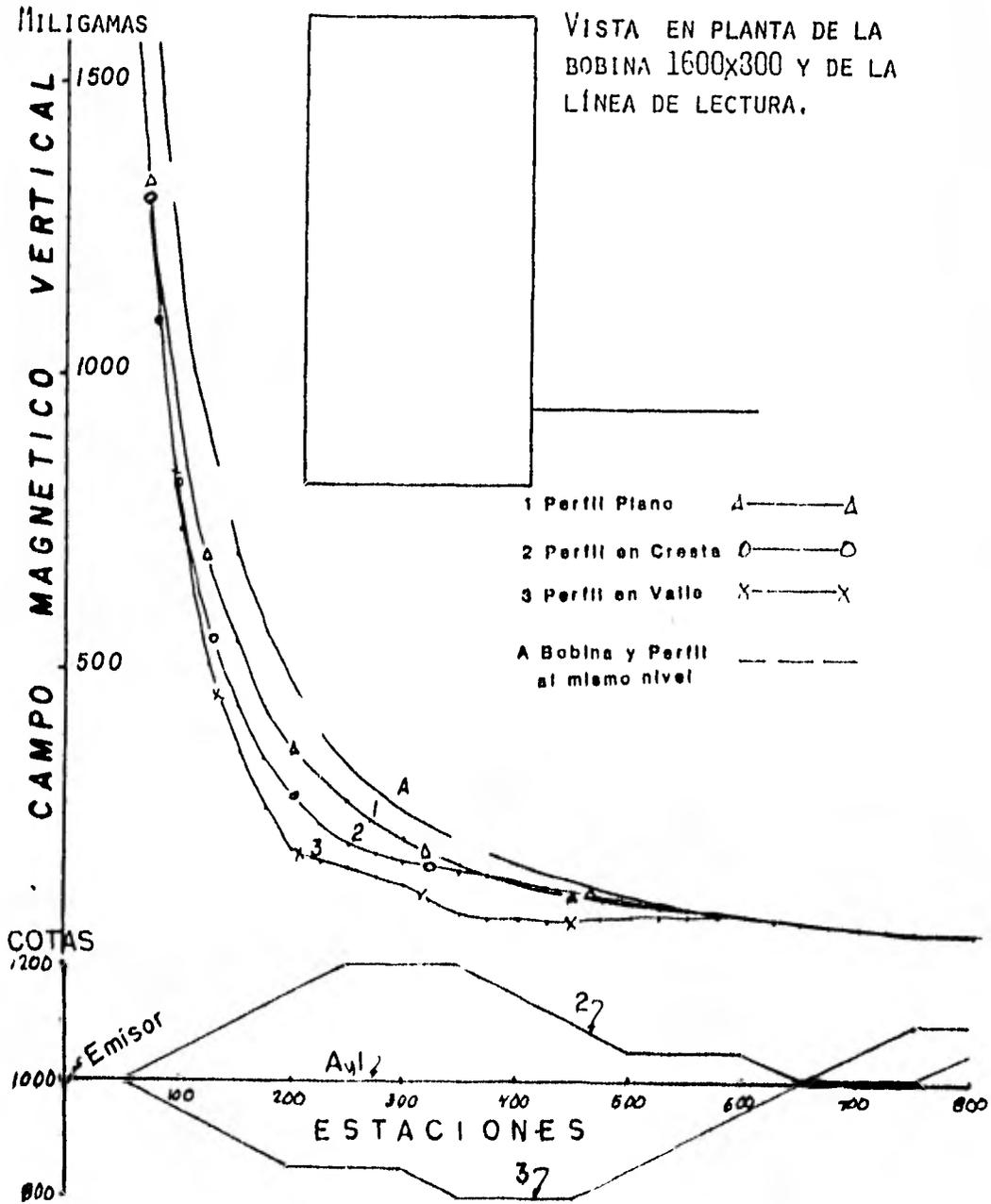


FIGURA IV.5.5.

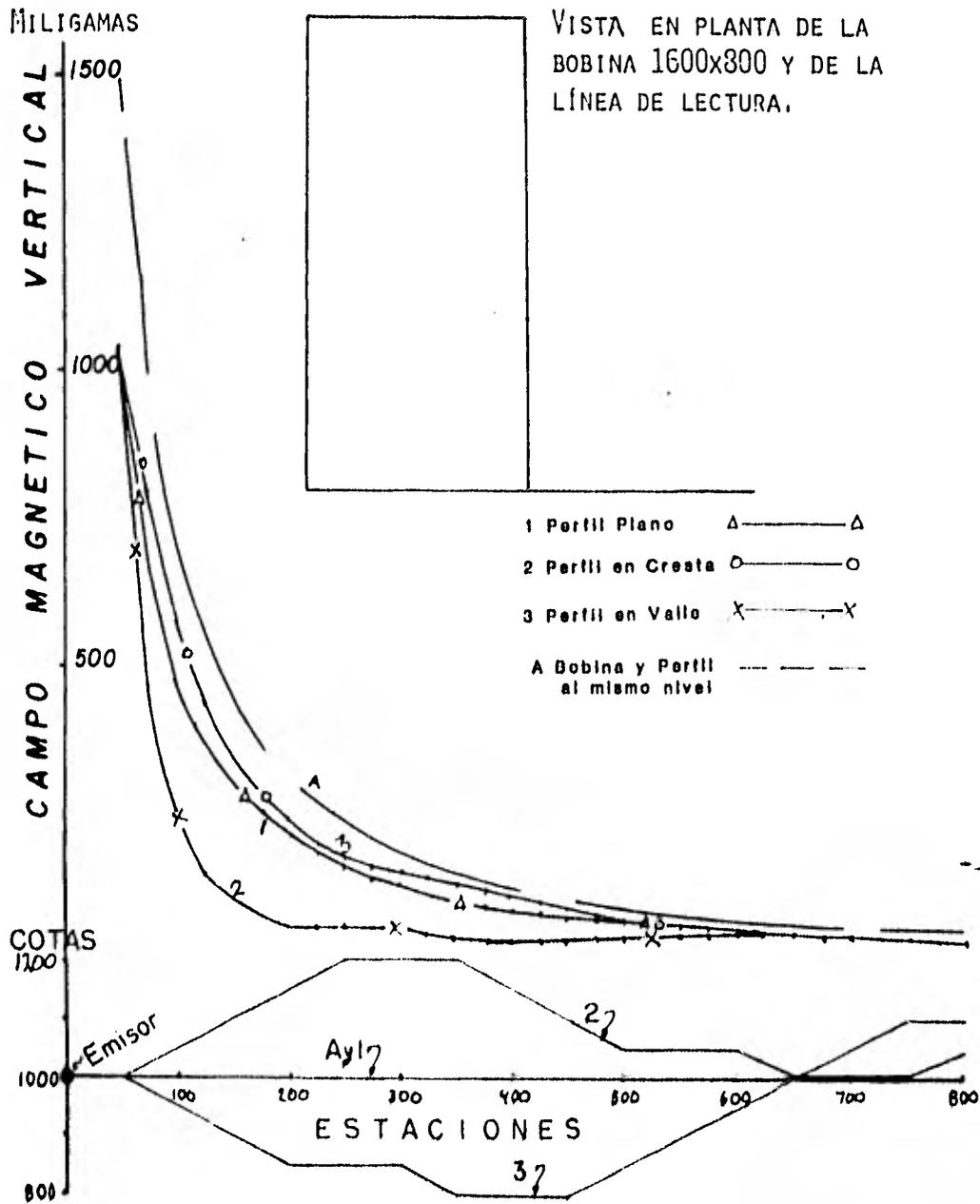


FIGURA IV.5.6.

ESTO ES IMPORTANTE PORQUE SI SE PRESENTA UNA ANOMALÍA CERCA DEL EMISOR, AL ESTIMAR LOS PARÁMETROS SE INCURRIRÁ EN ERRORES, INCLUSO PUEDE DARSE EL CASO DE QUE AL NORMALIZAR LOS DATOS POR MEDIO DE LA CONSIDERACIÓN DE UN CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A UNA BOBINA Y PERFIL PLANO, SE ENMASCAREN ANOMALÍAS DEBIDAS A CUERPOS DE INTERÉS QUE SE ENCUENTREN PRÓXIMOS AL EMISOR.

#### IV.6.- MODELO DE APLICACIÓN TEÓRICA.

A CONTINUACIÓN SE PRESENTA UN EJEMPLO EN EL QUE SE HA CALCULADO UNAS RELACIONES TEÓRICAS QUE SE CONSIDERARÁN, EN ESTE INCISO, COMO SI FUERAN OBTENIDAS EN EL CAMPO, EN UN LEVANTAMIENTO EFECTUADO SOBRE EL PERFIL TOPOGRÁFICO MOSTRADO EN LA PARTE INFERIOR DE LAS FIGURAS IV.6.1 A IV.6.6.

EL EMISOR AL IGUAL QUE EN LOS INCISOS ANTERIORES, SE LOCALIZA EN DISTINTOS MODELOS TOPOGRÁFICOS, VALLE, CRESTA ETC. EN TODOS LOS CASOS MOSTRADOS AQUÍ, SE SUPONE AUSENCIA DE CUERPOS CONDUCTORES EN EL SUBSUELO Y POR LO TANTO DE CAMPOS SECUNDARIOS.

LAS RELACIONES QUE SE CONSIDERAN COMO DE CAMPO SE HAN REDUCIDO COMO REGULARMENTE SE HACE EN EL PROCESADO DE LOS DATOS DE TURAM, ES DECIR, SE DIVIDEN ENTRE LAS RELACIONES NORMALES OBTENIDAS AL CONSIDERAR EL EMISOR Y LA LÍNEA AL MISMO NIVEL.

LAS RELACIONES TEÓRICAS SE CALCULARON SOBRE TRES LÍNEAS, L-CENTRAL, LOCALIZADA A LA MITAD DEL LADO MAYOR DE LA BOBINA, L-EXTREMO QUE SE ENCUENTRA ALINEADA CON EL LADO MENOR DE LA BOBINA Y L-INTERMEDIA QUE ESTÁ ENTRE LAS DOS ANTERIORES A DISTANCIAS IGUALES DE ELLAS.

CUANDO EL EMISOR PRESENTA EN LOS LADOS MENORES CIERTA PENDIENTE, YA SEA HACIA ARRIBA O HACIA ABAJO, RESPECTO A LA ESTACIÓN DE LECTURA MÁS PRÓXIMA A ÉL, LAS RELACIONES REDUCIDAS QUE SE OBTIENEN AL NORMALIZAR NUESTRAS RELACIONES DE CAMPO, "MEDIDAS" SOBRE NUESTRO PERFIL SINTÉTICO, SE MUESTRAN EN LAS FIGURAS IV.6.1 Y IV.6.2 RESPECTIVAMENTE, LA ZONA ACHURADA ES LO QUE SE PUEDE CONSIDERAR COMO RUIDO TOPOGRÁFICO.

EN LAS FIGURAS IV.6.1 Y IV.6.2 PODEMOS VER QUE EN LA PENDIENTE DEL PERFIL TOPOGRÁFICO, ENTRE LAS ESTACIONES 240 Y 300, SE PRESENTA UNA ANOMALÍA DE R.R. DE MÁS DE 110% PARA EL EMISOR PENDIENTE ARRIBA Y DE 110% PARA EL EMISOR PENDIENTE ABAJO.

ADEMÁS SE PUEDE APRECIAR QUE EN LOS VALLES DEL PERFIL TOPOGRÁFICO DE LA LÍNEAS DE LECTURA, EXISTE UNA DISMINUCION EN LAS RELACIONES REDUCIDAS, POR LO QUE ES PROBABLE QUE EN ÉSTAS SITUACIONES LA RESPUESTA DE CUERPOS CONDUCTORES, CUANDO ÉSTOS SE LOCALIZEN EN VALLES, SEA ENMASCARADA O ATENUADA DEBIDO A LA TOPOGRAFÍA.

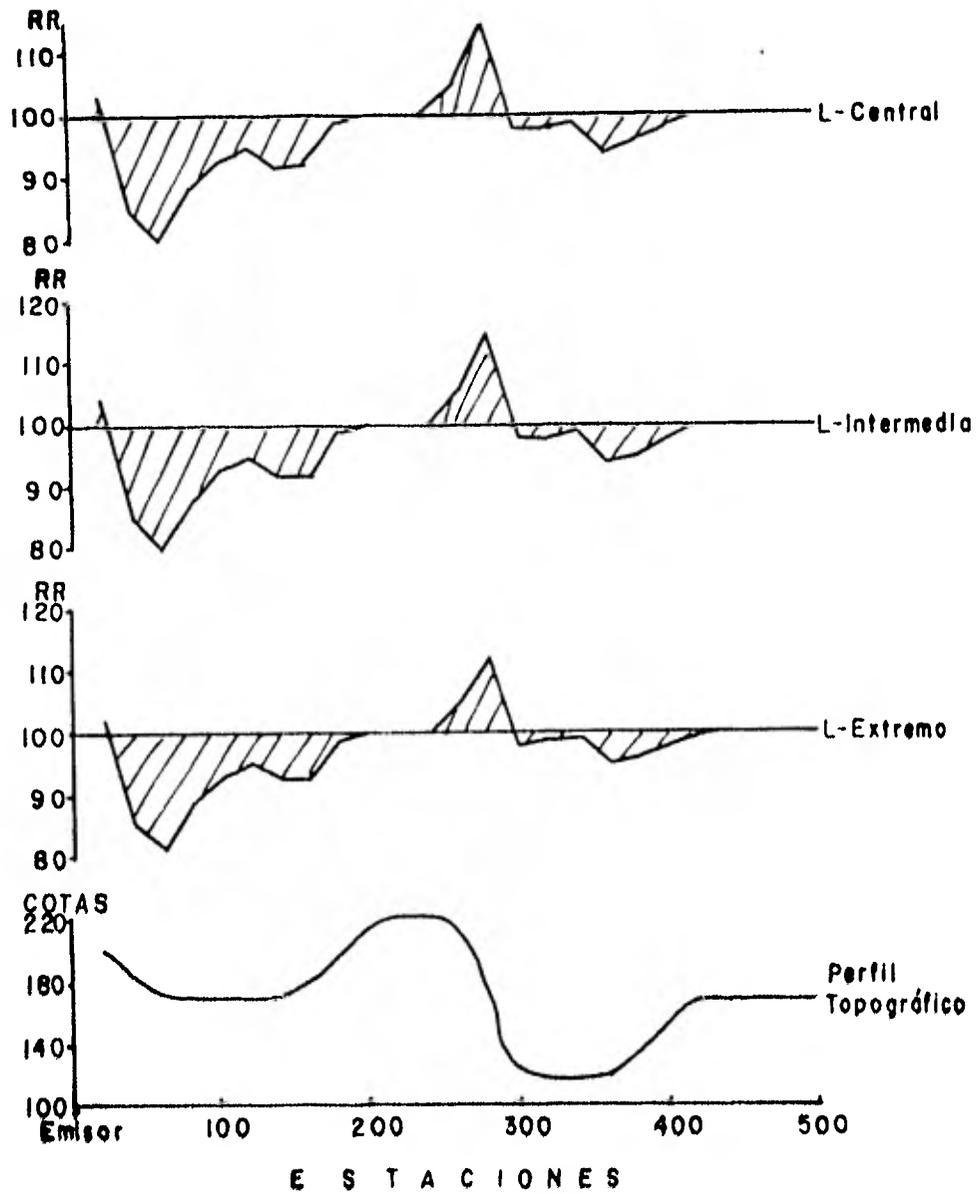


FIGURA IV.6.1 R.R. CUANDO SE UTILIZA UNA BOBINA PENDIENTE ARRIBA COMO EMISOR,

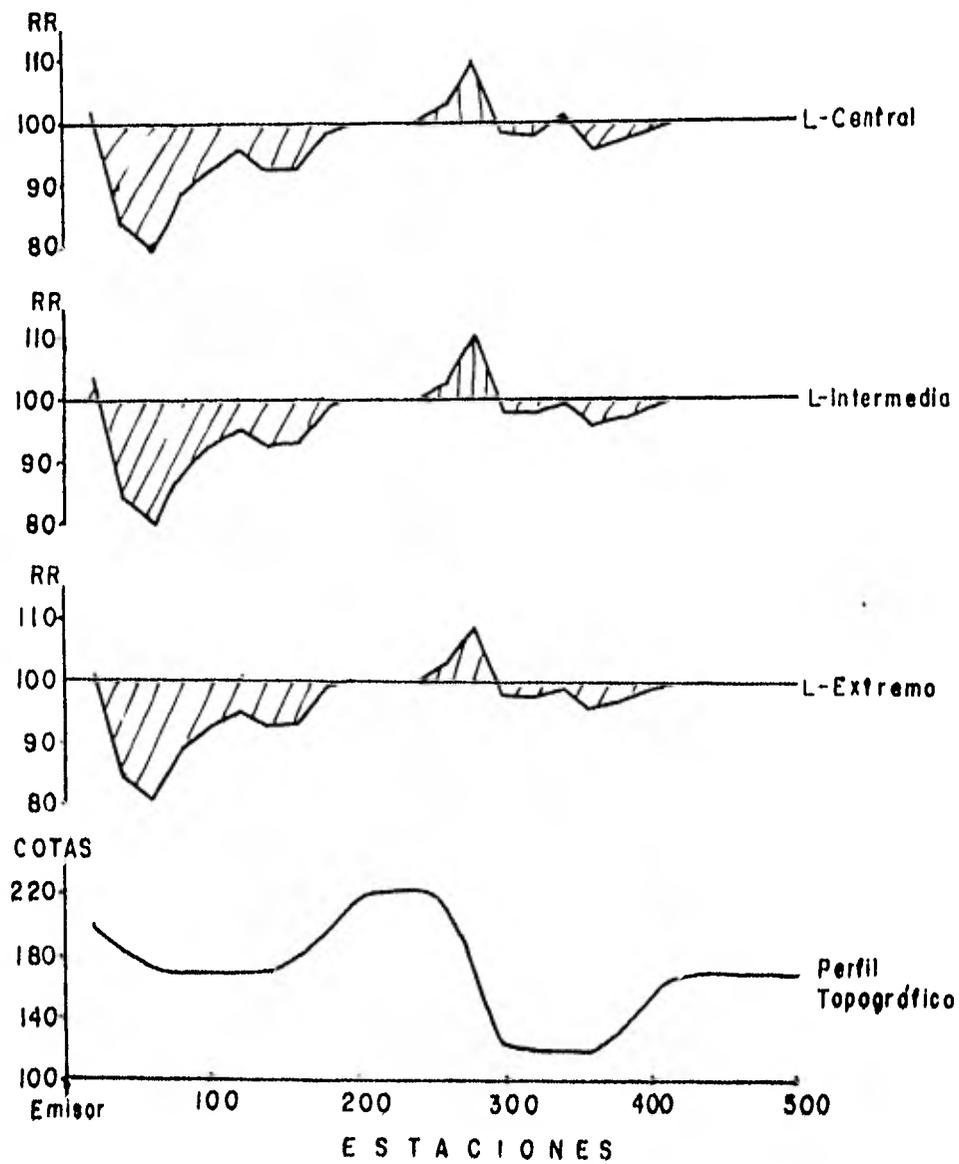


FIGURA IV.6.2 R.R. CUANDO SE UTILIZA UNA BOBINA PENDIENTE ABAJO COMO EMISOR.

SI EL EMISOR SE LOCALIZA EN UN VALLE, LAS ANOMALÍAS QUE SE PRESENTAN EN LOS CASOS ANTERIORES SE SIGUEN MANIFESTANDO, SOBRE TODO EN LAS LÍNEAS L-CENTRAL Y L-INTERMEDIA, FIGURA IV.6.3, NO ASÍ EN LA LÍNEA L-EXTREMO DONDE INVIERTE SU INTENSIDAD, SIN EMBARGO, EN ÉSTA LÍNEA SE PRESENTA UNA ANOMALÍA EN LA PENDIENTE DEL PERFIL TOPOGRÁFICO QUE ESTÁ COMPRENDIDA ENTRE LAS ESTACIONES 140 Y 200 Y OTRA APENAS APRECIABLE EN LA ESTACIÓN 400.

EN EL CASO DE UNA BOBINA EN CRESTA, NO EXISTE DIFERENCIA ALCUNA RESPECTO A LOS CASOS ANTERIORES, FIGURA IV.6.4, EXCEPTO EN LA LÍNEA L-EXTREMO DONDE LA INTENSIDAD DE LA ANOMALÍA LLEGA A SER MAYOR A 120%.

HASTA AQUÍ SE HA PODIDO CONSTATAR LO EXPUESTO EN LOS INCISOS ANTERIORES, EN EL SENTIDO DE QUE LA TOPOGRAFÍA, DE LA LÍNEA DE ESTUDIO, ES LA MÁS VIABLE A INTRODUCIR RUIDO EN LOS DATOS DE TURAM, NO ASÍ LA TOPOGRAFÍA DEL EMISOR LA CUAL AFECTA A LA INTENSIDAD DE LA ANOMALÍA MAS NO SU FORMA.

SI LA TOPOGRAFÍA DE LA LÍNEA DE ESTUDIO DE ÉSTOS MODELOS, LA INVERTIMOS DE TAL FORMA QUE LA PENDIENTE, DONDE SE OBTUVO LA ANOMALÍA EN LOS CASOS ANTERIORES, EMPIEZE A SUBIR DEL LADO DEL EMISOR, VEREMOS QUE DICHA ANOMALÍA DESAPARECE E INVIERTE SU INTENSIDAD A MENOS DE 100%, FIGURAS IV.6.5 Y IV.6.6.

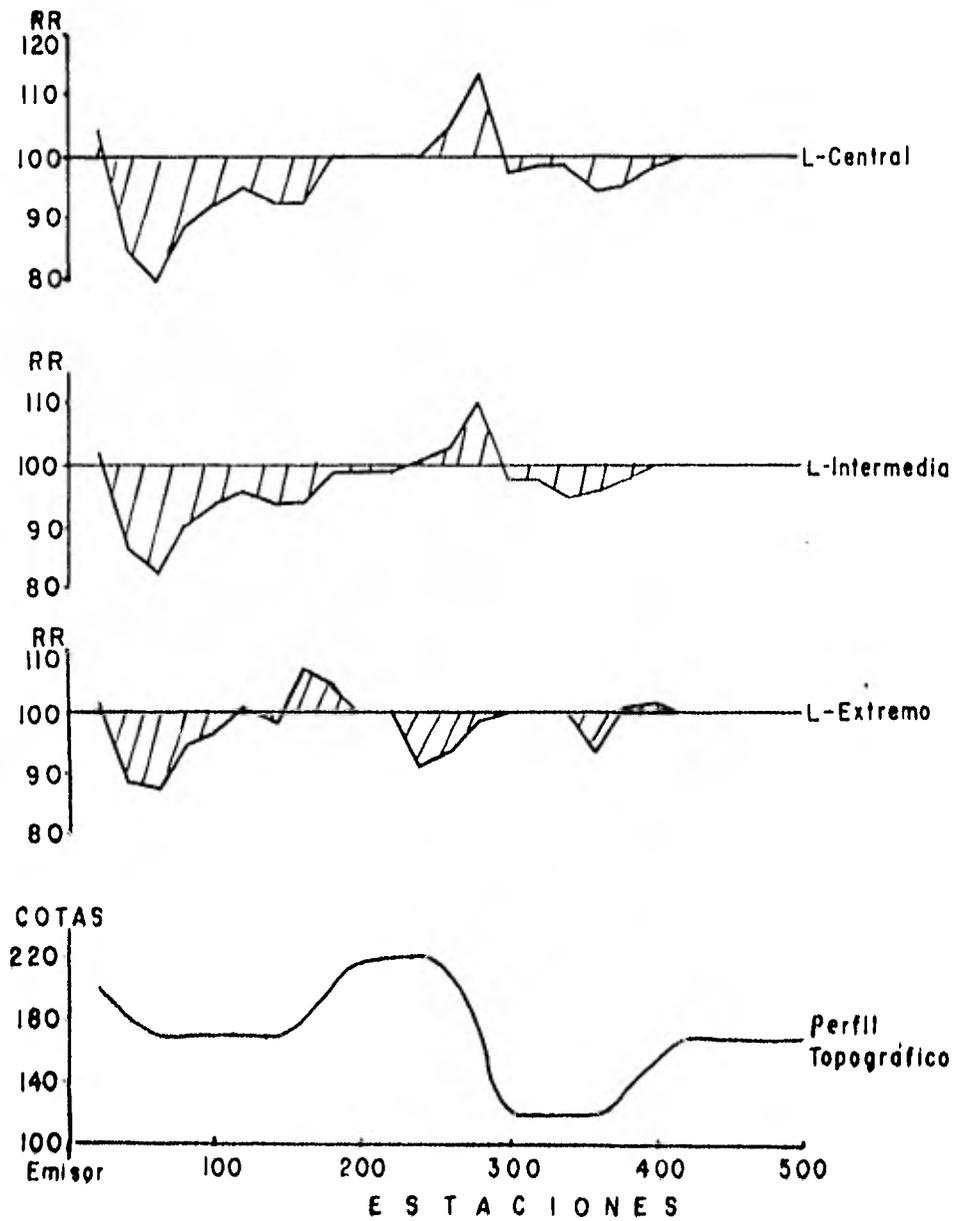


FIGURA IV,6,3 R,R, CUANDO SE UTILIZA UNA BOBINA EN VALLE COMO EMISOR,

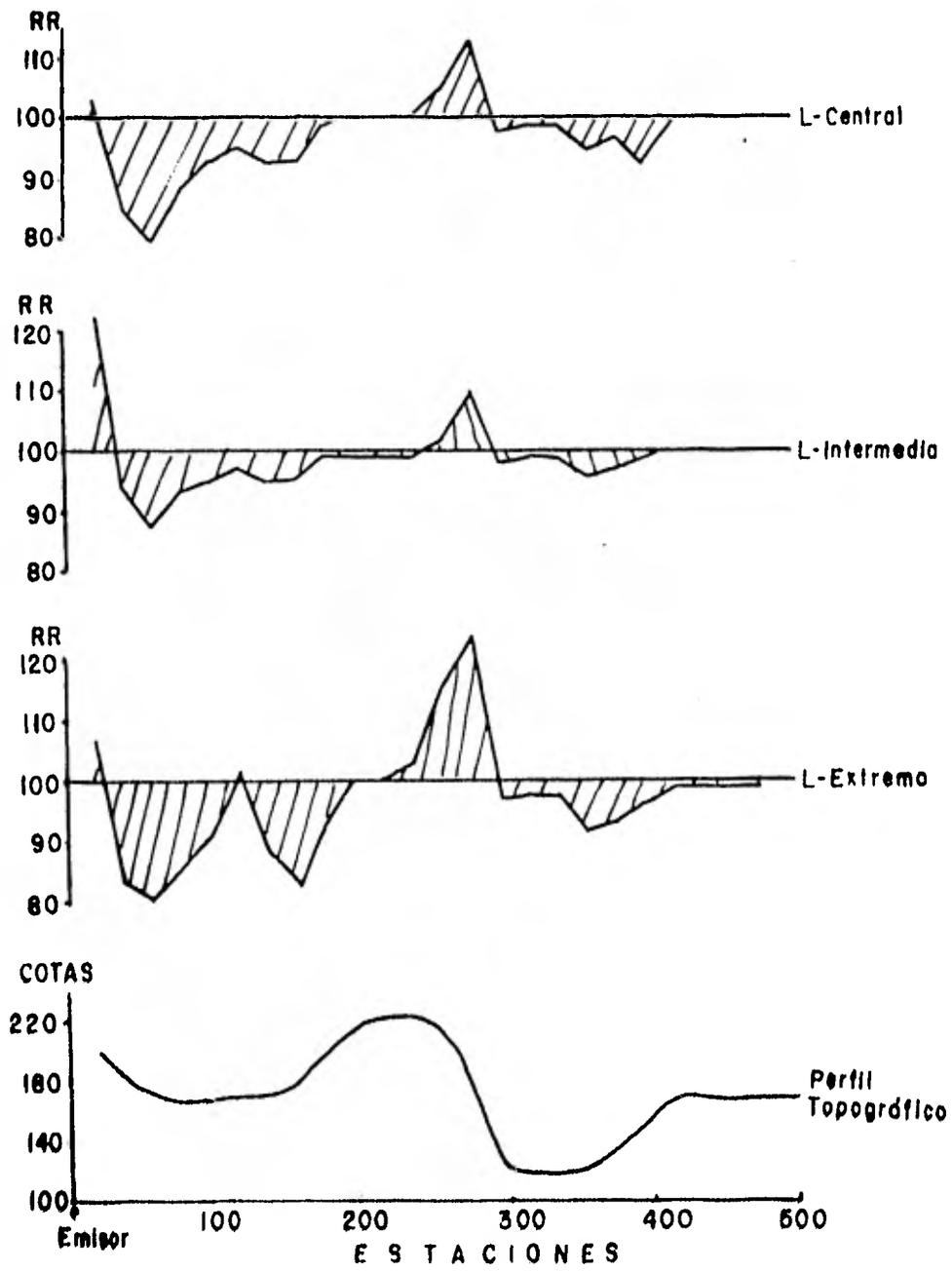


FIGURA IV,6,4 R,R, CUANDO SE UTILIZA UNA BOBINA EN CRESTA COMO EMISOR,

SIN EMBARGO, CUANDO SE UTILIZA UN EMISOR EN VALLE, EN LA LÍNEA L-EXTREMO SE MANIFIESTA UNA ANOMALÍA, FIGURA IV.6.5, QUE NO SE PRESENTABA EN EL CASO ANTERIOR, POR LO QUE DE TODAS FORMAS EXISTE UNA INVERSIÓN EN LOS DATOS.

ADEMÁS, PUEDE APRECIARSE EN LAS FIGURAS IV.6.5 Y IV.6.6 DOS ANOMALÍAS QUE EN LOS CASOS ANTERIORES NO SE PRESENTABAN, DE ÉSTAS ANOMALÍAS LA QUE SE PRESENTA CON MAYOR INTENSIDAD ES LA QUE ESTÁ MÁS PRÓXIMA AL EMISOR.

DE LO ANTERIOR PODEMOS VER QUE TAMBIÉN ES IMPORTANTE EL BUZAMIENTO DE LA PENDIENTE DEL PERFIL TOPOGRÁFICO DE LA LÍNEA DE LECTURA, SI EL BUZAMIENTO SE ALEJA DEL EMISOR ES SEGURO QUE SE MANIFIESTE UNA ANOMALÍA PRODUCIDA POR LA TOPOGRAFÍA, LA INTENSIDAD DE ÉSTA ANOMALÍA DEPENDERÁ, ENTRE OTROS FACTORES, DE LA INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE, SIENDO MÁS INTENSA MIENTRAS MAYOR INCLINACIÓN TENGA.

SI LA PENDIENTE DEL TERRENO SE ACERCA AL EMISOR, EXISTE LA POSIBILIDAD DE QUE LAS RESPUESTAS DE LOS CONDUCTORES, LOCALIZADOS EN UNA PENDIENTE DE ÉSTE TIPO, SEA ENMASCARADA O ATENUADA SEGÚN SEA LA INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE DEL TERRENO.

LA CAUSA DE LO ANTERIOR TIENE SU EXPLICACIÓN EN LOS CAMPOS POTENCIALES QUE SE ESTÁN MIDIENDO, CUANDO LA PENDIENTE SE ALEJA

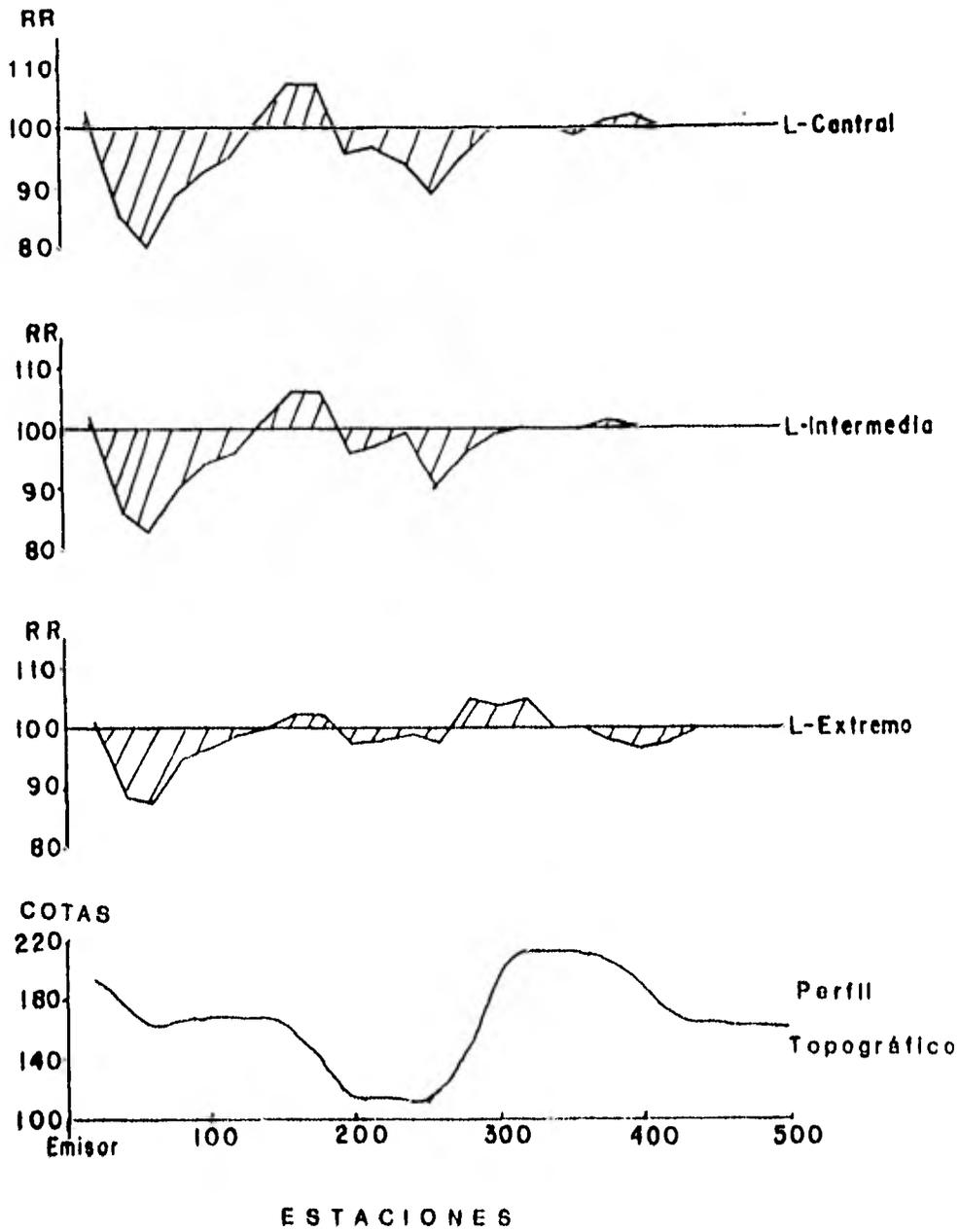


FIGURA IV.6.5 R.R. CUANDO SE UTILIZA UNA BOBINA EN VALLE COMO EMISOR,

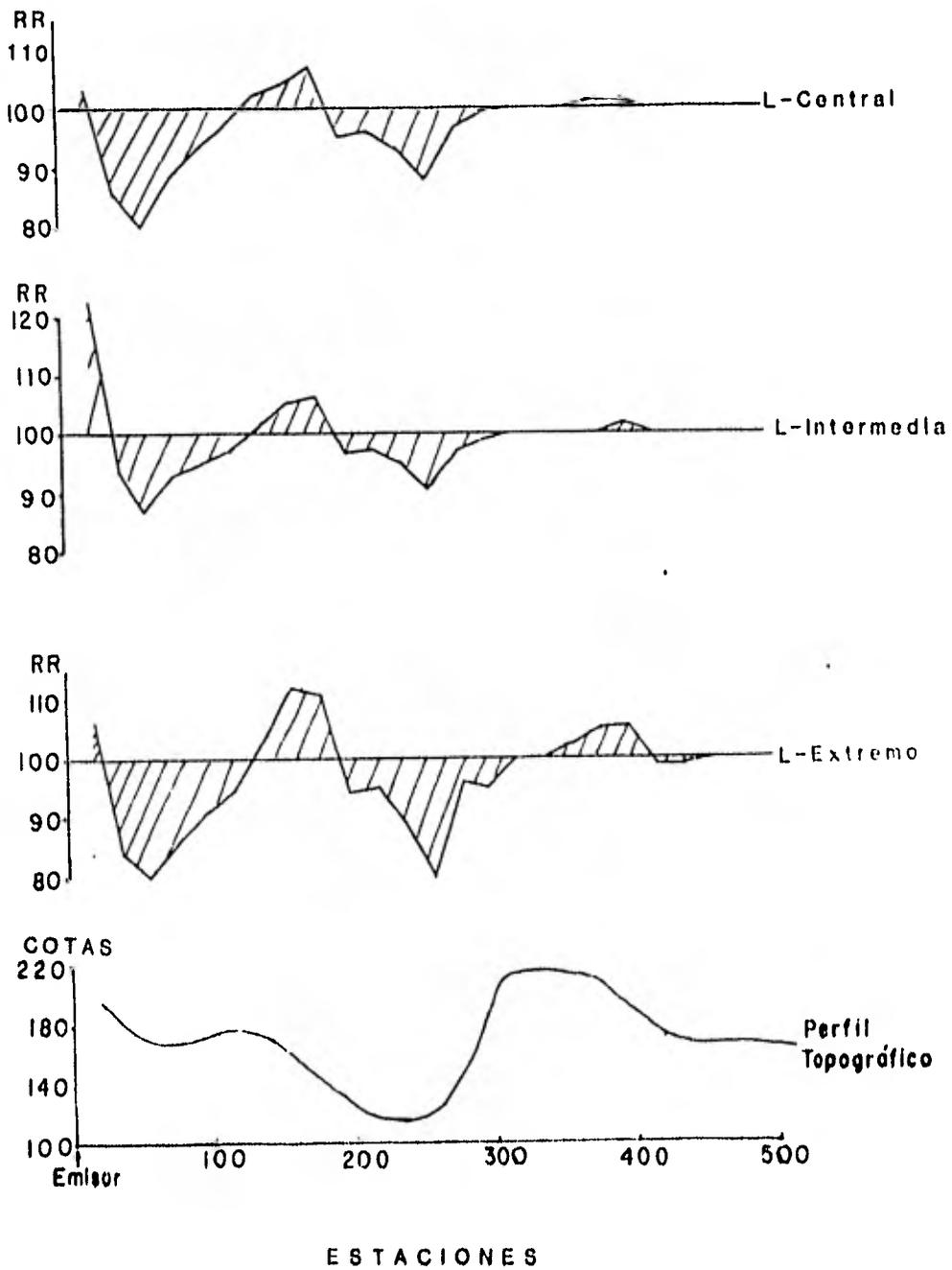


FIGURA IV.6.6 R.R. CUANDO SE UTILIZA UNA BOBINA EN CRESTA COMO EMISOR.

DEL EMISOR, EL POTENCIAL, EN AUSENCIA DE CAMPOS SECUNDARIOS, EN LA BOBINA MÁS PRÓXIMA AL EMISOR SERÁ MAYOR QUE EL DE LA BOBINA SECUNDARIA, LA MÁS ALEJADA DEL EMISOR, POR LO QUE LA RELACIÓN REDUCIDA TENDRÁ UNA INTENSIDAD POR ENCIMA DEL 100%, CUANDO - SUCEDE LO CONTRARIO LA RELACIÓN REDUCIDA SERÁ MENOR A UN 100%.

#### IV.7.- APLICACIÓN EN UN CASO REAL.

EL EJEMPLO QUE AQUÍ SE PRESENTA FUE TOMADO DE UN ESTUDIO REALIZADO POR EL C.R.M. EN EL ESTADO DE PUEBLA, A 16 KM (EN LÍNEA RECTA) AL SE. DE LA CIUDAD DE IZÚCAR DE MATAMOROS, EN UN ÁREA QUE CUBRE UNA SUPERFICIE APROXIMADA DE 1.24 KM<sup>2</sup>, LÁMINA 1.

GEOLOGÍA.- EL ÁREA DE ESTUDIO ESTÁ CONSTITUIDA POR TOBAS ANDESÍTICAS DEL TERCIARIO Y CONGLOMERADO CALCÁREO-CUARCÍFERO -- CON MATRIZ ARCILLOSA, PRESENTANDO AL N<sup>W</sup> DERRAMES DE LAYA DE TIPO ANDESÍTICO, LÁMINA 2.

EL MINERAL EXPLOTABLE EN LA MINA EL NUEVO REFUGIO ES PLOMO, EL CUAL SE PRESENTA EN FORMA DE VETA EMPLAZADA A LO LARGO DE UNA FALLA E-W SITUADA DENTRO DE UN PÓRFIDO ANDESÍTICO Y EN OCASIONES EN EL CONTACTO DE ÉSTE CON EL CONGLOMERADO.

GEOFÍSICA.- LAS LÍNEAS QUE SE TRAZARON PARA EL LEVANTAMIENTO DEL ÁREA SE PRESENTAN TAMBIÉN EN LA LÁMINA 2 Y SE UTILIZÓ COMO EMISOR UNA BOBINA DE 800x1600 M., SITUADA AL SUR DE LAS ESTACIONES DE LECTURA, CUYAS LÍNEAS CONSERVAN UN RUMBO NORTE-SUR ASTRONÓMICO.

LAS MEDICIONES SE EFECTUARON CON UN EQUIPO SCINTREX, MODELO SE-71, CON EL CUAL SE PUEDEN LEER FRECUENCIAS DE 200, 400 Y 800 HZ., UTILIZANDO BOBINAS RECEPTORAS CON NÚCLEO DE AIRE.

EN LAS LÁMINAS 3,4 Y 5 SE MUESTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS SOBRE LAS LÍNEAS CUYO PERFIL TOPOGRÁFICO MUESTRAN DIFERENTES SITUACIONES QUE RESULTAN INTERESANTES PARA EL PRESENTE TRABAJO.

SE HAN GRAFICADO LAS RELACIONES REDUCIDAS UTILIZANDO LAS RELACIONES NORMALES QUE REGULARMENTE SE UTILIZAN (S/TOP.), BOBINA Y LÍNEA AL MISMO NIVEL, Y CONSIDERANDO LA TOPOGRAFÍA (C/TOP.) EN LA BOBINA EMISORA Y EN LAS LÍNEAS DE ESTUDIO, CON EL FÍN DE HACER UNA COMPARACIÓN ENTRE ÉSTAS. EL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS RELACIONES REDUCIDAS DE CADA LÍNEA SE MUESTRAN EN LAS TABLAS 2,3 Y 4.

LÍNEA 60.- EL PERFIL TOPOGRÁFICO DE ÉSTA LÍNEA MUESTRA UNA SERIE DE CRESTAS Y VALLES QUE INTRODUCEN DIFERENCIAS APRECIABLES ENTRE LAS RELACIONES REDUCIDAS OBTENIDAS CON EL EMISOR Y RECEPTOR

LOCALIZADOS EN UN MISMO PLANO Y LAS QUE SE OBTIENEN AL CONSIDERAR EL EFECTO TOPOGRÁFICO, LÁMINA 3.

ESTAS DIFERENCIAS SON MÁS APRECIABLES DONDE EXISTE EL CAMBIO DE PENDIENTE DE CRESTA A VALLE, ESTACIONES 240 A 280 Y 500 A 580 POR EJEMPLO.

CABE HACER NOTAR QUE EN LA ESTACIÓN 570, A LA FRECUENCIA DE 200 Hz, SE APRECIA QUE AL CONSIDERAR LA TOPOGRAFÍA EN LA REDUCCIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO, SE ELIMINA EN GRAN CANTIDAD EL RUIDO OCASIONADO POR ÉSTA.

LÍNEA 136.- BÁSICAMENTE ESTÁ SOBRE UNA CRESTA CON UNA PENDIENTE CONSTANTE EN LA PRIMERA MITAD DE LA LÍNEA, LÁMINA 4. LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS DISTINTAS RELACIONES REDUCIDAS C/TOP, Y S/TOP, SOLO SE MANIFIESTAN EN LA PROXIMIDAD DEL EMISOR, CONFORME SE ALEJA DE ÉSTE, LA INTENSIDAD DE LA ANOMALÍA CAMBIA, - NO ASÍ SU FORMA LA CUAL ES SIMILAR PARA LOS DOS CASOS.

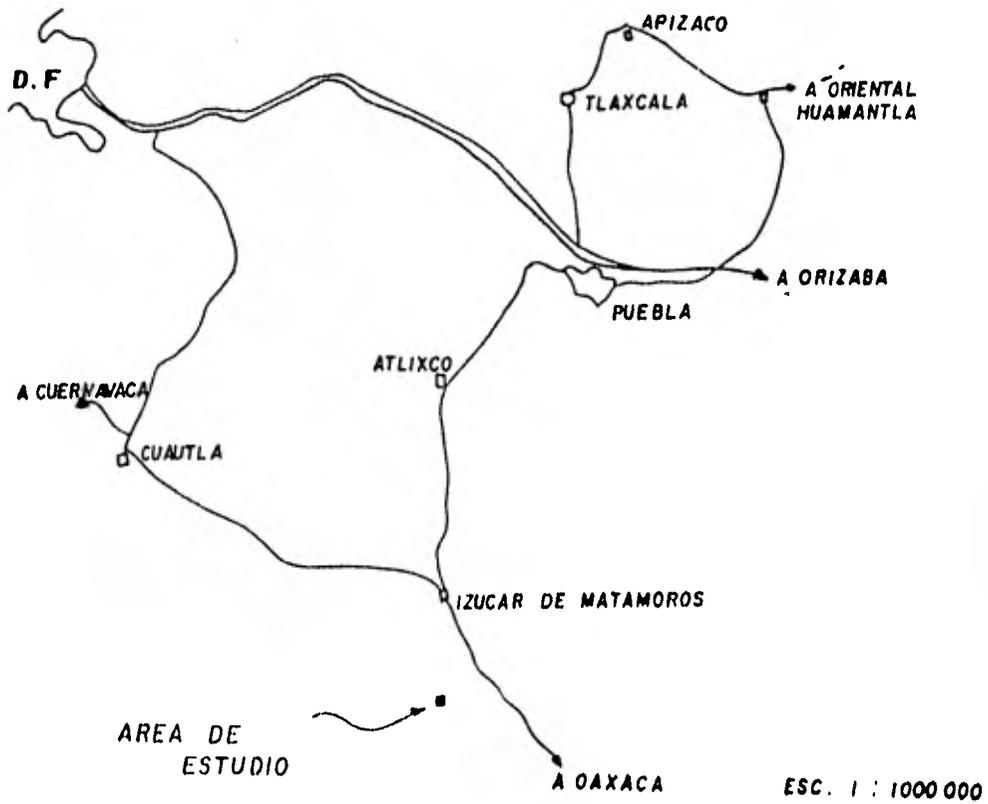
LÍNEA 155.- PRESENTA EN LA TOPOGRAFÍA CAMBIOS DE PENDIENTE INTERESANTES YA QUE ÉSTOS SON LOS QUE MÁS AFECTAN EN EL PROCESADO DE LOS DATOS. REFIRIENDONOS A LA LÁMINA 5, VEMOS QUE LAS MAYORES DIFERENCIAS ENTRE LAS RELACIONES REDUCIDAS OBTENIDAS CON LOS DIFERENTES PROCEDIMIENTOS AQUÍ TRATADOS, SE ENCUENTRAN PRECISAMENTE DONDE EL PERFIL TOPOGRÁFICO PRESENTA CAMBIOS DE PENDIENTE, E-200, E-380 Y E-500.

HACIA EL FINAL DE LA LÍNEA SE PRESENTA OTRO CAMBIO DE PENDIENTE QUE NO INTRODUCE DIFERENCIAS APRECIABLES ENTRE LAS RELACIONES REDUCIDAS SIN IMPORTAR LA RELACIÓN NORMAL QUE SE UTILIZE, ESTO ES DEBIDO A LA DISTANCIA QUE EXISTE HASTA EL EMISOR.

ADEMÁS, AL IGUAL QUE EN LAS LÍNEAS ANTERIORES, EXISTEN DIFERENCIAS APRECIABLES ENTRE LAS DISTINTAS RELACIONES REDUCIDAS, EN LA PROXIMIDAD DEL EMISOR.

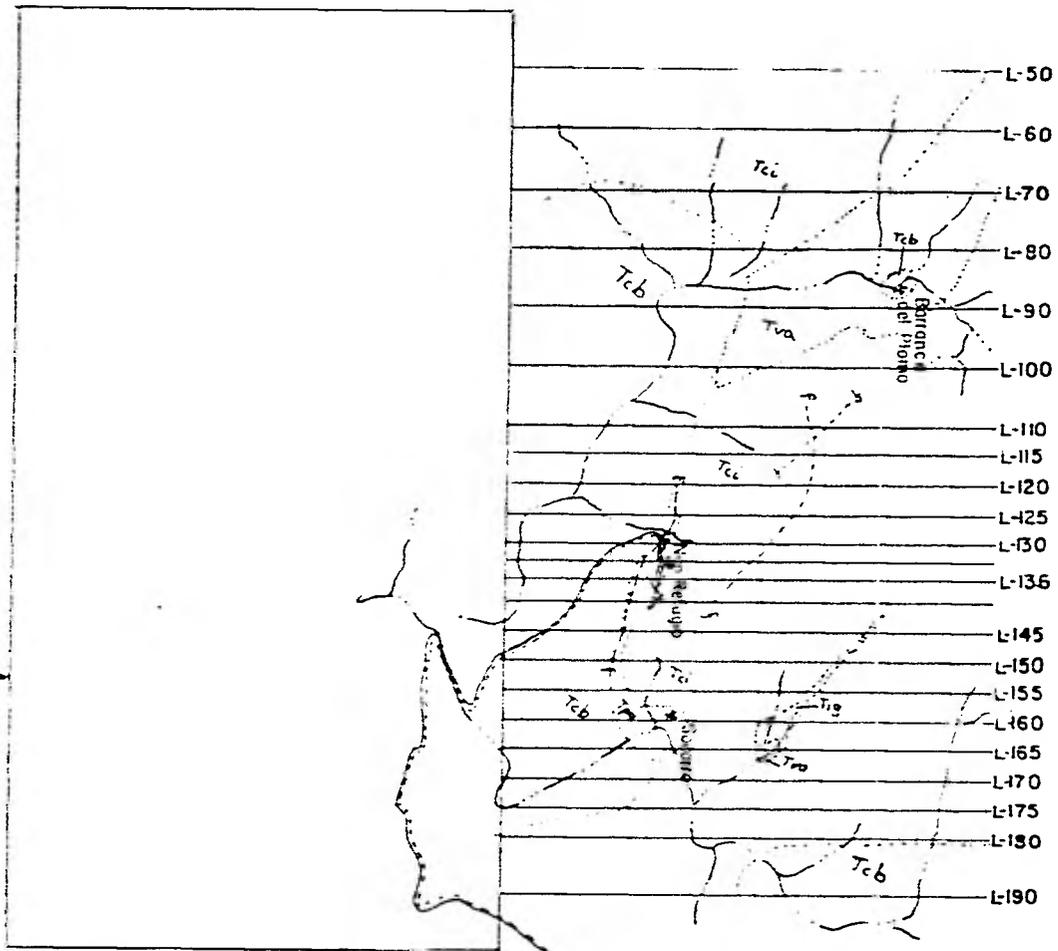
CONCLUSIONES.- EN LAS LÍNEAS QUE SE MUESTRAN EN EL EJEMPLO, SE PUEDE OBSERVAR QUE LAS MAYORES DIFERENCIAS ENTRE LAS RELACIONES REDUCIDAS, CON Y SIN CONSIDERAR LA TOPOGRAFÍA, OCURREN CUANDO EXISTE UN CAMBIO DE PENDIENTE EN EL PERFIL TOPOGRÁFICO Y CUANDO LA PENDIENTE BUZA ALEJÁNDOSE DEL EMISOR, TAL Y COMO ERA DE ESPERARSE POR LO EXPUESTO EN LOS INCISOS ANTERIORES.

A PRIMERA VISTA LAS DIFERENCIAS PODRÍAN PARECER INSIGNIFICANTES, SIN EMBARGO, SI TOMAMOS EN CUENTA QUE DE LOS DATOS DE LAS RELACIONES REDUCIDAS SE PARTE PARA ESTIMAR CUANTITATIVAMENTE LOS PARÁMETROS, CAPÍTULO II.6, VEREMOS QUE EN LA REALIDAD - ÉSTAS DIFERENCIAS PUEDEN INCURRIR EN ERRORES AL ESTIMAR DICHS PARÁMETROS.



CROQUIS DE LOCALIZACION

LAMINA - 1



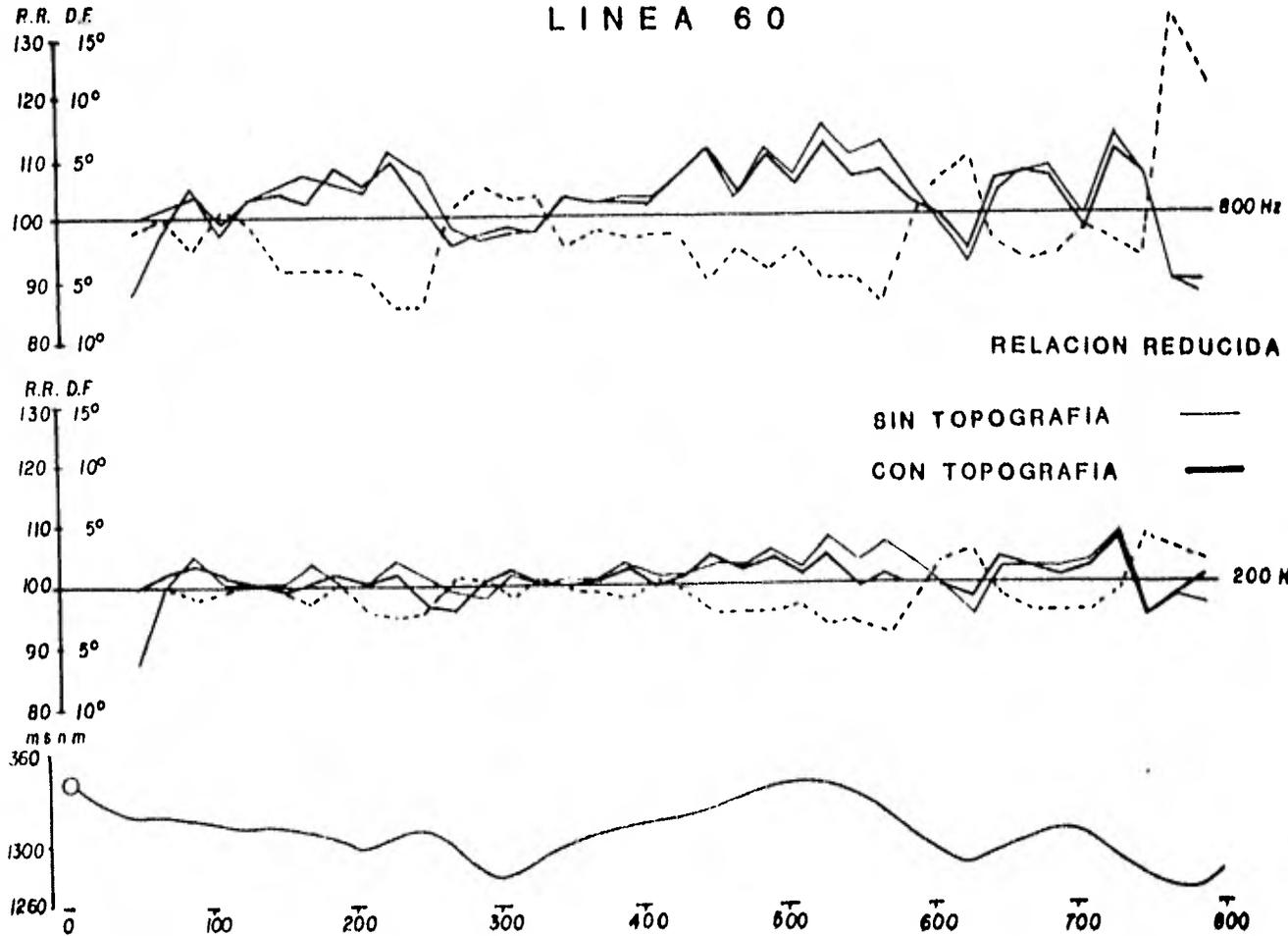
**EXPLICACION**

- DBPA MINERA
- DESARROLLO DE MINA
- CONTACTO GEOLOGICO
- FALLA PRINCIPAL
- CONTINENTAL BALSAS
- PORFIDO ANDESITICO
- TOBAS ANDESITICAS
- VOCANICO ANDESITICO
- INTRUSIVO GRANODIORITICO
- BRECHA
- ARROJO
- MEAS DE ESTUDIO
- BOHIRA EMISORA (1600 X 800)

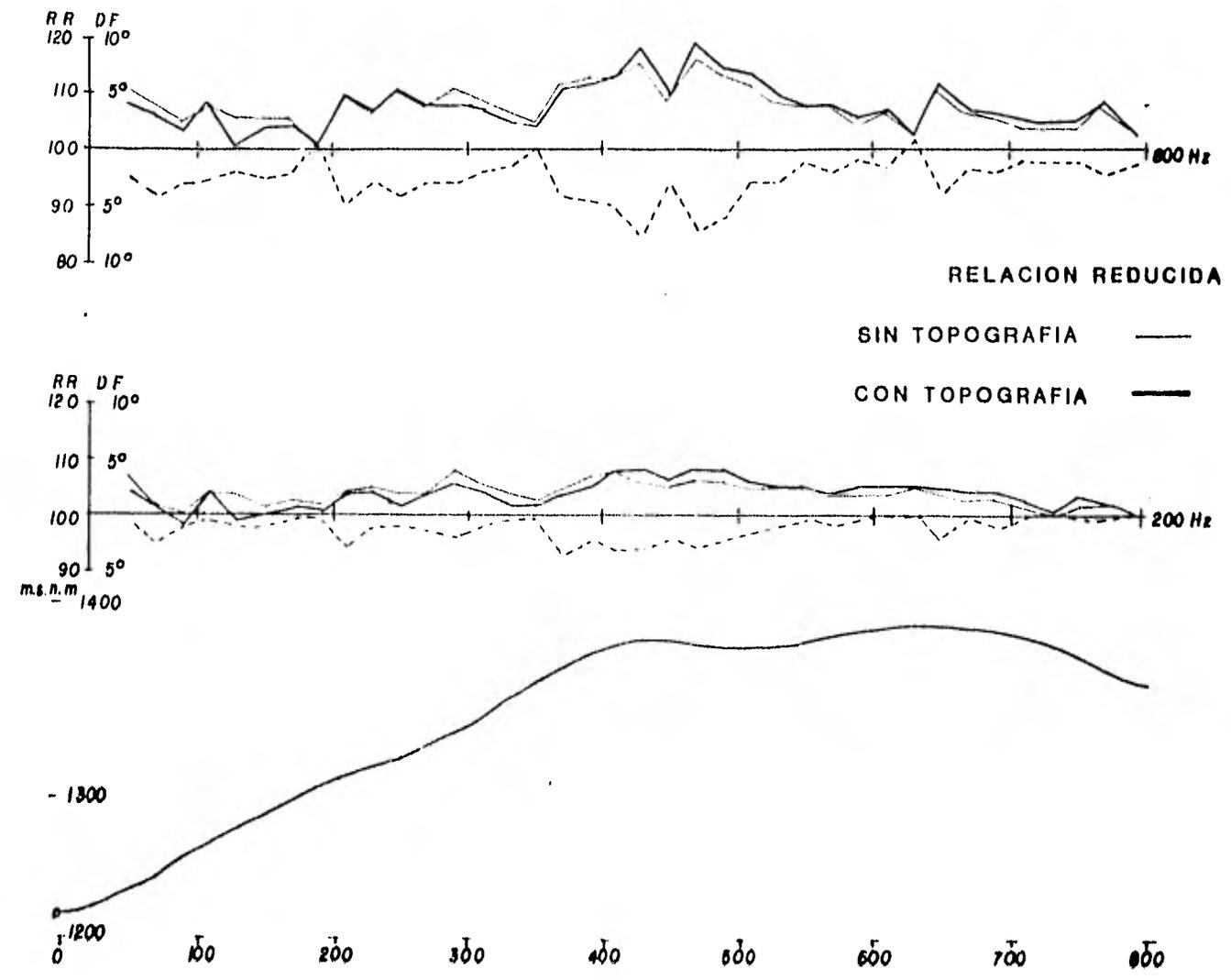
Esc 1:100 000  
  
 metros

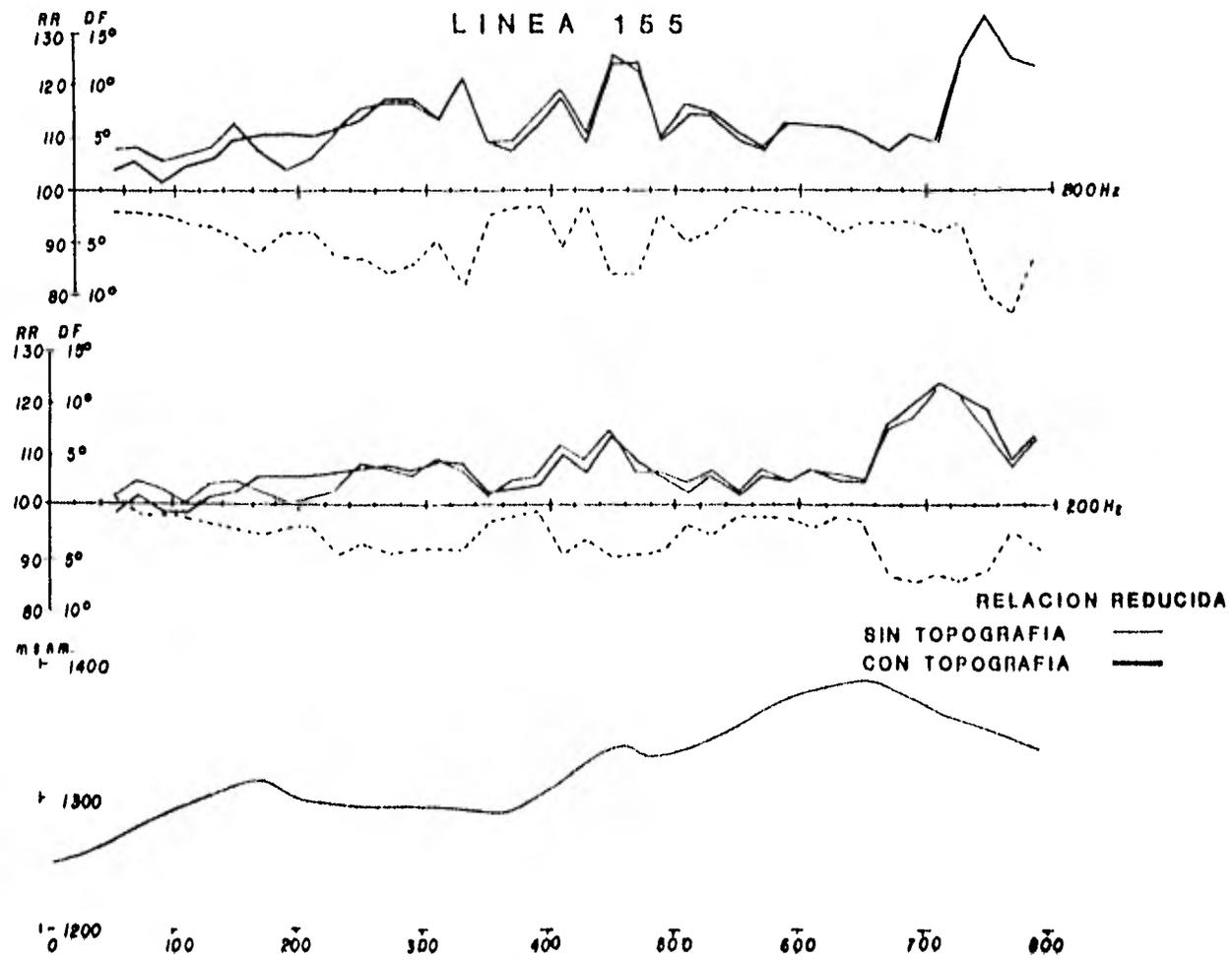
**UNIVERSIDAD DE**  
**INGENIERIA**  
**PLANO GEOLOGICO Y**  
**LINEAS DE GEOFISICA**  
**AREA: San Lucas Colucan**  
 Mpio: Izucar de Matamoros Pa  
 ACC. Laminas 2

# LINEA 60



L I N E A 136





T A B L A 2

118

L I N E A 6 0

ESTACION	FRECUENCIA ( HZ )	RELACION DE CAMPO (%)	RELACION NORMAL (S/TOP.)	RELACION REDUCIDA (S/TOP.%)	RELACION NORMAL (C/TOP.)	RELACION REDUCIDA (C/TOP. %)
40	200	139	1.5943	87	1.4027	99
	800	140		88		100
60	200	140	1.4136	99	1.3788	102
	800	139		98		101
80	200	139	1.3218	105	1.3396	104
	800	140		106		105
100	200	126	1.2656	106	1.2393	102
	800	123		97		99
120	200	123	1.2273	100	1.2317	100
	800	128		104		104
140	200	120	1.1994	100	1.2130	99
	800	127		106		105
160	200	123	1.1780	104	1.2342	100
	800	127		108		103
180	200	113	1.1610	97	1.1234	101
	800	123		106		109
200	200	115	1.1472	100	1.1497	100
	800	121		105		105
220	200	118	1.1358	104	1.1589	102
	800	127		112		110
240	200	115	1.1261	102	1.1905	97
	800	123		109		103
260	200	111	1.1179	99	1.1579	96
	800	111		99		96
280	200	110	1.1107	98	1.1017	100
	800	108		97		98
300	200	113	1.1045	102	1.0958	103
	800	108		98		99
320	200	110	1.0990	100	1.0970	100
	800	108		98		98
340	200	110	1.0941	101	1.0951	100
	800	114		104		104

## T A B L A 2

## L I N E A 6 0

119

ESTACION	FRECUENCIA ( HZ )	RELACION DE CAMPO (%)	RELACION NORMAL (S/TOP.)	RELACION REDUCIDA (S/TOP.%)	RELACION NORMAL (C/TOP.)	RELACION REDUCIDA (C/TOP.%)
360	200	110	1.0898	101	1.0895	101
	800	112		103		103
380	200	113	1.0858	104	1.0930	103
	800	113		104		103
400	200	110	1.0823	102	1.0967	100
	800	113		104		103
420	200	109	1.0791	101	1.0674	102
	800	115		107		108
440	200	112	1.0762	104	1.0708	105
	800	120		112		112
460	200	111	1.0735	103	1.0828	103
	800	113		105		104
480	200	114	1.0710	106	1.0854	105
	800	120		112		111
500	200	110	1.0688	103	1.0834	102
	800	115		108		106
520	200	115	1.0667	108	1.0936	105
	800	124		116		113
540	200	111	1.0647	104	1.1069	100
	800	118		111		107
560	200	114	1.0629	107	1.1131	102
	800	120		113		108
580	200	110	1.0612	104	1.1049	100
	800	114		107		103
600	200	105	1.0596	99	1.0503	100
	800	106		100		100
620	200	101	1.0581	95	1.0305	98
	800	98		93		95
640	200	109	1.0567	103	1.0393	105
	800	111		105		107
660	200	109	1.0554	103	1.0568	103
	800	114		108		108
680	200	109	1.0542	103	1.0731	102
	800	115		109		107

T A B L A 2  
L I N E A 6 0

ESTACION	FRECUENCIA ( HZ )	RELACION DE CAMPO (%)	RELACION NORMAL (S/TOP.)	RELACION REDUCIDA (S/TOP.%)	RELACION NORMAL (C/TOP.)	RELACION REDUCIDA (C/TOP.%)
700	200	110	1.0530	104	1.0704	103
	800	105		100		98
720	200	115	1.0519	109	1.0687	108
	800	120		114		112
740	200	100	1.0508	95	1.0487	95
	800	112		107		107
760	200	103	1.0498	98	1.0519	98
	800	95		90		90
780	200	102	1.0488	97	1.0136	101
	800	91		87		90
800	200	105	1.0479	100	1.0379	101
	800	98		94		94

T A B L A 3

121

L I N E A 1 3 6

ESTACION	FRECUENCIA ( HZ )	RELACION DE CAMPO (%)	RELACION NORMAL (S/TOP.)	RELACION REDUCIDA (S/TOP.%)	RELACION NORMAL (C/TOP.)	RELACION REDUCIDA (C/TOP.%)
40	200	166	1.5544	107	1.5948	104
	800	172		111		108
60	200	141	1.3814	102	1.4003	101
	800	149		108		106
80	200	130	1.2947	100	1.3250	98
	800	136		105		103
100	200	129	1.2426	104	1.2355	104
	800	134		108		108
120	200	126	1.2078	104	1.2768	99
	800	128		106		100
140	200	121	1.1828	102	1.2063	100
	800	125		106		104
160	200	120	1.1640	103	1.1805	102
	800	123		106		104
180	200	117	1.1493	102	1.1543	101
	800	115		100		100
200	200	118	1.1375	104	1.1381	104
	800	125		110		110
220	200	118	1.1278	105	1.1358	104
	800	121		107		107
240	200	116	1.1197	104	1.1322	102
	800	126		111		110
260	200	116	1.1127	104	1.1146	104
	800	120		108		108
280	200	120	1.1067	108	1.1361	106
	800	123		111		108
300	200	117	1.1015	106	1.1212	104
	800	120		109		107
320	200	114	1.0969	104	1.1174	102
	800	117		107		105
340	200	113	1.0928	103	1.1090	102
	800	115		105		104

ESTACION	FRECUENCIA ( HZ )	RELACION DE CAMPO (%)	RELACION NORMAL (S/TOP. )	RELACION REDUCIDA (S/TOP.%)	RELACION NORMAL (C/TOP. )	RELACION REDUCIDA (C/TOP.%)
360	200	114	1.0891	105	1.0949	104
	800	122		112		111
380	200	116	1.0857	107	1.1029	105
	800	123		113		112
400	200	117	1.0827	108	1.0791	108
	800	122		113		113
420	200	114	1.0799	106	1.0579	108
	800	125		116		118
440	200	113	1.0773	105	1.0659	106
	800	117		109		110
460	200	114	1.0750	106	1.0558	108
	800	126		117		119
480	200	114	1.0728	106	1.0587	108
	800	127		114		115
500	200	112	1.0708	105	1.0563	106
	800	120		112		114
520	200	112	1.0689	105	1.0621	105
	800	117		109		110
540	200	112	1.0671	105	1.0635	105
	800	115		108		108
560	200	111	1.0654	104	1.0632	104
	800	115		108		108
580	200	111	1.0638	104	1.0585	105
	800	112		105		106
600	200	111	1.0624	104	1.0574	105
	800	114		107		108
620	200	111	1.0609	105	1.0551	105
	800	109		103		103
640	200	110	1.0596	104	1.0525	105
	800	118		111		112
660	200	109	1.0583	103	1.0504	104
	800	113		107		108

T A B L A 3

123

L I N E A 1 3 6

ESTACION	FRECUENCIA ( HZ )	RELACION DE CAMPO (%)	RELACION NORMAL (S/TOP.)	RELACION REDUCIDA (S/TOP.%)	RELACION NORMAL (C/TOP.)	RELACION REDUCIDA (C/TOP.%)
680	200	109	1.0571	103	1.0506	104
	800	112		106		107
700	200	108	1.0560	102	1.0496	103
	800	110		104		105
720	200	105	1.0549	100	1.0457	100
	800	110		104		105
740	200	108	1.0538	102	1.0466	103
	800	110		104		105
760	200	107	1.0528	102	1.0468	102
	800	114		108		109
780	200	105	1.0519	100	1.0468	100
	800	108		103		103
800	200	109	1.0509	104	1.0483	104
	800	105		100		100

T A B L A 4

124

L I N E A 1 5 5

ESTACION	FRECUENCIA ( HZ )	RELACION DE CAMPO (%)	RELACION NORMAL, (S/TOP.)	RELACION REDUCIDA (S/TOP.%)	RELACION NORMAL, (C/TOP.)	RELACION REDUCIDA (C/TOP.%)
40	200	160	1.5610	102	1.6139	99
	800	168		108		104
60	200	145	1.3871	105	1.4158	102
	800	150		108		106
80	200	134	1.2998	103	1.3526	99
	800	138		106		102
100	200	125	1.2473	100	1.2637	99
	800	133		107		105
120	200	126	1.2121	104	1.2401	102
	800	131		108		106
140	200	125	1.1868	105	1.2133	103
	800	134		113		110
160	200	120	1.1677	103	1.1340	106
	800	126		108		111
180	200	115	1.1527	100	1.0857	106
	800	120		104		111
200	200	115	1.1406	101	1.7388	106
	800	121		106		111
220	200	116	1.1306	103	1.6960	107
	800	127		112		112
240	200	121	1.1222	108	1.1271	107
	800	130		116		114
260	200	119	1.1150	107	1.1062	108
	800	131		117		118
280	200	118	1.1088	106	1.1062	107
	800	130		117		118
300	200	120	1.1033	109	1.1047	109
	800	126		114		114
320	200	118	1.0984	107	1.0944	108
	800	134		122		122
340	200	112	1.0941	102	1.0916	103
	800	120		110		110

T A B L A 4  
L I N E A 1 5 5

ESTACION	FRECUENCIA ( HZ )	RELACION DE CAMPO (%)	RELACION NORMAL (S/TOP.)	RELACION REDUCIDA (S/TOP.%)	RELACION NORMAL (C/TOP.)	RELACION REDUCIDA (C/TOP.%)
360	200	115	1.0902	105	1.1099	104
	800	120		110		108
380	200	115	1.0867	106	1.1025	104
	800	125		115		113
400	200	121	1.0835	112	1.1035	110
	800	130		120		118
420	200	118	1.0805	109	1.1038	107
	800	120		111		109
440	200	124	1.0778	115	1.0866	114
	800	136		126		125
460	200	115	1.0753	107	1.0559	109
	800	132		123		125
480	200	115	1.0730	107	1.0815	106
	800	119		111		110
500	200	112	1.0709	105	1.0851	103
	800	125		117		115
520	200	114	1.0689	107	1.0790	106
	800	124		116		115
540	200	110	1.0670	103	1.0775	102
	800	119		112		110
560	200	114	1.0653	107	1.0758	106
	800	116		109		108
580	200	112	1.0636	105	1.0663	105
	800	120		113		113
600	200	114	1.0620	107	1.0659	107
	800	120		113		113
620	200	112	1.0606	106	1.0646	105
	800	120		113		113
640	200	111	1.0592	105	1.0594	105
	800	118		111		111
660	200	122	1.0579	115	1.0509	116
	800	114		108		108

T A B L A 4

126

L I N E A 1 5 5

ESTACION	FRECUENCIA ( HZ )	RELACION DE CAMPO (%)	RELACION NORMAL (S/TOP.)	RELACION REDUCIDA (S/TOP.%)	RELACION NORMAL (C/TOP.)	RELACION REDUCIDA (C/TOP.%)
680	200	125	1.0566	118	1.0423	120
	800	117		111		112
700	200	130	1.0554	123	1.0449	124
	800	115		109		110
720	200	128	1.0543	121	1.0492	122
	800	132		125		126
740	200	125	1.0532	119	1.0474	119
	800	140		133		134
760	200	114	1.0522	108	1.0470	109
	800	132		125		126
780	200	119	1.0512	113	1.0466	114
	800	130		124		124
800	200	115	1.0503	109	1.0503	109
	800	119		113		113

## CONCLUSIONES

LA MAYORÍA DE LAS TÉCNICAS EN GEOFÍSICA SE BASA, TANTO EN EL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS COMO EN LA INTERPRETACIÓN, EN EL SUPUESTO DE UNA SUPERFICIE PLANA, POR LO QUE AL NO CONSIDERAR - LA TOPOGRAFÍA SE INCURRIRÁ EN ERRORES, LOS CUALES EN ALGUNOS - CASOS PUEDEN RESULTAR CRÍTICOS.

SI AL PROCESAR LOS DATOS DE TURAM NO SE CONSIDERA LA TOPOGRAFÍA, ÉSTA PUEDE ENMASCARAR ANOMALÍAS DE INTERÉS O BIEN PUEDE RESALTAR AQUELLAS QUE SON DEBIDAS PRINCIPALMENTE A RUIDO.

AL HACER LA INTERPRETACIÓN, EN TURAM, LA TOPOGRAFÍA PUEDE PROVOCAR QUE AL ESTIMAR LAS PROFUNDIDADES DE LOS CUERPOS DE INTERÉS, ÉSTAS SEAN ERRÓNEAS.

COMO SE HA PODIDO CONSTATAR EN EL PRESENTE TRABAJO, EN EL MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO, SISTEMA TURAM, ES CONVENIENTE TENER - UN BUEN CONTROL DE LA TOPOGRAFÍA, SOBRE TODO AL REALIZAR LA INTERPRETACIÓN YA QUE ÉSTA SE HACE A PARTIR DE LAS RELACIONES REDUCIDAS, CAPÍTULO 11.6.

ES OBYIO QUE ÉSTO TRAERÁ COMO CONSECUENCIA UN INCREMENTO EN LOS COSTOS DEL TRABAJO DE CAMPO, DEBIDO A QUE SE REQUIERE

EL TRAZO Y LA NIVELACIÓN DE LAS LÍNEAS, SIN EMBARGO, LA NIVELACIÓN QUE SE NECESITA NO ES TAN PRECISA COMO PARA OTROS MÉTODOS, EFECTUÁNDOSE CON MAYOR RAPIDEZ Y MENOR COSTO RESPECTO A AQUELLOS.

EL AUMENTO EN LOS COSTOS DEL TRABAJO DE CAMPO ES EN CIERTA FORMA JUSTIFICABLE, SI AL REDUCIR LOS DATOS CONSIDERANDO LA TOPOGRAFÍA SE EVITA DAR BARRENOS SOBRE ANOMALÍAS PRODUCIDAS POR EFECTOS DE LA TOPOGRAFÍA Y NO POR CUERPOS DE INTERÉS GEOLÓGICO-ECONÓMICO.

EN ÉSTE TRABAJO SE PRESENTÓ UN ANÁLISIS DE COMO VARÍA EL CAMPO MAGNÉTICO A LO LARGO DE LOS PERFILES DE ESTUDIO CUYOS RESULTADOS SE PUEDEN RESUMIR EN LOS SIGUIENTES PUNTOS.

LA TOPOGRAFÍA AFECTA PRINCIPALMENTE EN LAS TRES CUARTAS PARTES MÁS PRÓXIMAS AL EMISOR, SIENDO MAS EVIDENTE EN LA PRIMERA MITAD YA QUE ES AQUÍ DONDE EL GRADIENTE DE LA CURVA DE DECAIMIENTO DEL CAMPO MAGNÉTICO ES MAS PRONUNCIADO.

EN LA PROXIMIDAD DEL EMISOR, EL CAMPO MAGNÉTICO SOBRE PERFILES RUGOSOS (CON TOPOGRAFÍA) ES EN GENERAL MENOS INTENSO QUE EN LOS PERFILES PLANOS.

LA TOPOGRAFÍA PRODUCE RUIDO QUE PUEDE OSCURECER ANOMALÍAS DEBIDAS A SULFUROS Y AFECTA AL ESTIMAR LA PROFUNDIDAD, ECHADO Y AL PRODUCTO  $\sigma t$  DEBIDO A QUE SE OBTIENEN A PARTIR DE LOS DATOS REDUCIDOS.

LA TOPOGRAFÍA, DONDE SE LOCALIZA LA BOBINA EMISORA, AFECTA A LA INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO Y NO PRODUCE DISTORSIONES EN ÉL COMO LO HACE LA TOPOGRAFÍA DE LAS LÍNEAS DE LECTURA.

EL BUZAMIENTO DE LA PENDIENTE DE LA TOPOGRAFÍA DE LA LÍNEA ES CAPAZ DE PRODUCIR ANOMALÍAS CUANDO AQUEL SE ALEJA DEL EMISOR Y OSCURECERLAS CUANDO SUCEDE LO CONTRARIO.

UN PROCEDIMIENTO DE CAMPO PARA TRATAR ÉSTE PROBLEMA, SI NO SE REDUCEN LOS DATOS CONSIDERANDO LA TOPOGRAFÍA, CONSISTE EN CAMBIAR DE POSICIÓN AL EMISOR.

CUANDO NO EXISTEN CAMBIOS DE PENDIENTE SIGNIFICATIVOS, EN LA TOPOGRAFÍA DE LAS LÍNEAS DE LECTURA, LOS RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE TURAM SERÁN ANÁLOGOS A LOS QUE SE OBTIENEN CUANDO SE CONSIDERA LA BOBINA Y LA LÍNEA AL MISMO NIVEL, AFECTANDO SOLO A LA INTENSIDAD DE LA ANOMALÍA MÁS NO SU FORMA.

DE ÉSTE ÚLTIMO PUNTO PODEMOS COMPROBAR QUE LA TOPOGRAFÍA CUANDO NO AFECTA EN EL PROCESADO DE LOS DATOS, RESALTANDO U OSCURECIENDO ANOMALÍAS, SÍ LO HACE EN LA INTERPRETACIÓN, POR LO QUE ES CONVENIENTE PROCESAR E INTERPRETAR LOS DATOS DE TURAM - CONSIDERANDO LA TOPOGRAFÍA.

## B I B L I O G R A F I A

BOSSCHART, R.A. (1964) "ANALYTIC INTERPRETATION OF FIXED SOURCE ELECTROMAGNETIC PROSPECTING DATA." DELFT.

CANTOS. (1973) "TRATADO DE GEOFÍSICA APLICADA", MADRID.

CORNILLE, P. (1970) "PHASE MEASUREMENTS OF ELECTROMAGNETIC FIELD COMPONENTS". GEOPHYSICS, v.35 p 397-399.

C.C. KU, M.S. HSIEH & S.H. LIM (1965) "THE TOPOGRAPHIC EFFECT IN ELECTROMAGNETIC FIELDS" CANADA J. EARTH SCIENCE, v.16-p645.

DUCKWORTH, K. (1970) "ELECTROMAGNETIC DEPTH SOUNDING APPLIED TO MINING PROBLEMS". GEOPHYSICS, v.35 p.1086-1098.

GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA. (1967) "MINING & GROUND WATER GEOPHYSICS".

GRANT, F.S. & WEST, G.F. (1965) "INTERPRETATION THEORY IN APPLIED GEOPHYSICS". MCGRAW-HILL INC.

HAYCOCK, O.C. MADSEN E.C. (1950) "PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC WAVES IN EARTH". GEOPHYSICS, v.14 p. 162

JISOO RYU, H. FRANK MORRISON & STANLEY H. W. (1970) "ELECTROMAGNETIC FIELD ABOUT A LOOP SOURCE OF CURRENT". GEOPHYSICS v.35 pp.862-896.

LAKUBOYSKII, L. (1960) "EXPLORACIÓN ELÉCTRICA", REVERTÉ, S.A.

LASS, HARRY (1969) "VECTOR AND TENSOR ANALYSIS" MCGRAW-HILL.

ORELLANA ERNESTO (1974) "PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA POR CAMPOS VARIABLES" PARANINFO.

SEC (1967) "MINING GEOPHYSICS" VOL II.

SLICHTER L.B. (1951) "AN ELECTROMAGNETIC INTERPRETATION PROBLEM IN GEOPHYSICS" GEOPHYSICS, v.16 p.431

SPIEGEL, MURRAY (1969) "ANALISIS VECTORIAL" MCGRAW-HILL.

STANLEY H. W. (1979) "GROUND E.H." GEOPHYSICS & GEOCHEMISTRY IN THE SEARCH FOR METALLIC ORES.

TELFORD W.M. Y OTROS (1976) "APPLIED GEOPHYSICS", CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

VERMA R.K. (1963) "TOPOGRAFIC EFFECTS ON ELECTROMAGNETICS SOUNDING SYSTEMS" C.P. v.21 p.25

VILLEGAS G.C.J. (1977) "MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO TURAM: MODELOS A ESCALA" INSTITUTO DE GEOFÍSICA, UNAM TESIS M. EN C.

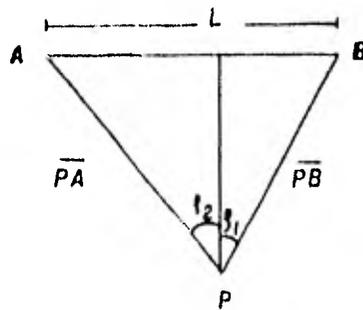
A P E N D I C E I

### BREVE DESCRIPCION DEL PROGRAMA

El campo magnético y eléctrico en un punto debido a un cable de longitud  $L$ , dividido en  $n$  segmentos, está dado respectivamente por las expresiones:

$$H = \sum_{i=1}^n \frac{DIDT}{4\pi} \cdot \frac{L_i}{c^2} (\text{Sen } \varphi_2 - \text{Sen } \varphi_1) \mu_i$$

$$E = \sum_{i=1}^n 10^7 \cdot DIDT \ln \frac{(1 + \text{Sen } \varphi_2) PA}{(1 + \text{Sen } \varphi_1) PB} \omega_i$$



DONDE:

- $L$  = longitud del segmento
- $C$  = Producto vectorial del vector PA con el PB  
=  $PA \times PB$
- $\mu$  = Vector unitario en la dirección del campo magnético
- $\omega$  = Vector unitario en la dirección del campo eléctrico
- $DIDT$  = Variación de la amplitud de la corriente con el tiempo, forma de onda

Cuando se efectúa una exploración con un método electromagnético, el tipo de emisor que se emplea con más frecuencia es una bobina rectangular o cuadrada, debido a que con este tipo de emisor solo se inducen corrientes y se evitan las corrientes galvánicas.

Evidentemente la bobina no es solo un cable largo, por lo que para calcular el campo en un punto es necesario considerar la aportación que en el tiene cada segmento de la bobina.

Por lo anterior se desprende que el campo en un punto debido a un conjunto de segmentos es la suma de los campos aportados por cada segmento.

Cada punto de cada segmento, así como los de lectura, está determinado por 3 coordenadas X, Y, Z, por lo que la bobina y las líneas de lectura deberán situarse en un sistema de coordenadas X, Y, Z, de mano derecha.

El programa utiliza las coordenadas de cada punto para obtener los vectores de posición de estos y en base a un análisis vectorial calcula el campo en un punto debido al total de segmentos en que se divide el circuito emisor.

A continuación se mencionan las variables que utiliza para los datos de entrada así como sus formatos de lectura.

**NSIDES =** Total de segmentos en que se divide la bobina, cada uno de los cuales es una recta. Se lee con formato IJ.

- NLINES = Total de líneas a través de las cuales se calcularán los campos. Se lee con formato I3.
- INDELE = La densidad en la lectura, usualmente la separación de bobinas receptoras. Se lee con formato I3.
- LAMAY = Lado mayor de la bobina dado en términos de INDELE. Se lee con formato I3.
- LAMEN = Lado menor de la bobina dado en términos de INDELE. Se lee con formato I3. Ejemplo Si la bobina es de 1600 x 800 y la densidad de lectura es de 20= INDELE se tendrá que LAMAY= 80 y LAMEN= 40, en el caso de que la bobina sea cuadrada LAMAY= LAMEN.
- IDENI = Es un identificador para elegir la forma de impresión de los resultados. Si es cero solo se obtienen las relaciones reducidas. Si es diferente de cero, además de las relaciones se obtienen las tres componentes de los campos eléctrico y magnético. Se lee con formato I3.
- CLØØP(I,J)= Es una matriz conteniendo las coordenadas de cada punto de la bobina. Se lee con formato 10F8.2. Ejemplo CLØØP(1,J) es la componente X del lado J.
- INICI = Es la estación inicial de lectura, regularmente se empieza a leer a una distancia del emisor igual a la separación de las bobinas receptoras (INDELE). Se lee con formato I3.

- IFINAL = Es la estación final de lectura. Se lee con formato I3.
- P (2) = Es la distancia del origen del sistema de referencia a la línea a la que se le calculan los campos, es la componente Y del punto de observación. Se lee con formato F8.2.
- XLINEA = La numeración convencional de la línea. Se lee con formato F8.2.
- COMPZ(K) = La elevación del punto de lectura respecto al origen del sistema de referencia, es la componente Z de los puntos de observación. Se lee con formato 10F8.2.

Los datos anteriores se distribuyen en las siguientes tarjetas.

1a. Tarjeta = NSIDES, NLINES, INDELE, LAMAY, LANEN, IDENT.

Tarjetas cuan CL00P(1,J) .. Aquí se dan 10 datos por tarjeta cada uno de los  
tas sean nece  
sarias, cuales corresponde a la componente X de cada segmento de la -  
bobina.

CL00P(2,J) .. Es la componente Y de la bobina

CL00P(3,J) .. Es la componente Z de la bobina

1 Tarjeta = INIC1, IFINAL, P(2), XLINEA

- iv -

Cuántas tarjetas sean necesarias.  
COMPZ(K) Se dan 10 datos por tarjeta cada uno de los cuales es la cota del punto de observación

El penúltimo y el último paso

Se repite hasta completar el total de líneas, NLINES.

PROGRAMA TIRADILLOS

```
C
C
C          *****
C          * CAMPOS PRINCIPALES Y II DE UNA BARRA POLIGONAL *
C          * TOMANDO EN CONSIDERACION LA TOPOGRAFIA          *
C          *****
C
C      REAL P(3),CLOMP(3,100),E(3),R(3),VPA(3),VPA(3),VPA(3),VPA(3),VPA(3),
C      *COMPZ(1000),*PRI(1000)
C      CALL ASSIG(3,'D(ACUSTIC,0A1)')
C      CALL ASSIG(3,'D(FOSTIC,0A1)')
C
C      P(X,Y,Z) SON LAS COORDENADAS DEL PUNTO DESDE SE CALCULABA EL CAMPO
C      P(X) ES LA COMPONENTE EN X
C      P(Y) ES LA COMPONENTE EN Y
C      P(Z) ES LA COMPONENTE EN Z
C
C      CLOMP ES UNA MATRIZ CONSTITUIDA LAS COORDENADAS DE LA MALLA
C      DE MUESTREOS 3 X 3 SIDES
C      EJEMPLO CLOMP(1,5) ES LA COORDENADA EN Y DE LA ESQUINA 5
C      CLOMP(3,11) ES LA COORDENADA EN X DE LA ESQUINA 11
C
C      SE DEBE TENER CUIDADO EN LA ASIGNACION DE LOS SIGNOS
C      ASI COMO EN LA SITUACION DEL CAMPO CONSIDERANDO UN SISTEMA DE
C      COORDENADAS X-Y-Z DE PAGO DEFECTUA
C      MIDE ES LA VARIACION EN ANGLETO DEL CAMBIO DE CORRIENTE CON EL TIEMPO
C      EJEMPLO SIGNOS(1), AMPLITUD A, FRECUENCIA F
C      ESTORCES DICE = 2.*PI.*F.*A
C
C          CORRIENTE DIEL, AMPLITUD 2PI, PERIODO T
C          (FORMA DE USAR DE CORRIENTE, TRIANGULAR)
C          DICE = 4.*PI.*F
C
C      SI SE TRATA DE UN ESTUDIO CON EL SISTEMA TORAL
C      QUITE LA U A LA SIGUIENTE PROPOSICION
C      MIDE=1
C          SI SE TRATA DE UN ESTUDIO CON CUALQUIER
C          OTRA SISTEMA QUE NO SEA TORAL QUITE
C          LA C A LA SIGUIENTE PROPOSICION
C          C LEA MIDE CON TORAL O FIS, F
C          MIDE (5,10) MIDE
C          LEER EL # DE MUESTREOS DE LA MALLA, SIDES, 4 DE LISTAS A LAS QUE SE LES
C          EFECTUARA LA CORRECCION (CALLES), LA DESIADA EN LA LECTORA (LIDELE)
C          LA LONGITUD DEL LADO MAYOR (LAMA) Y DEL LADO MENOR (LAME), EN
C          TERMINOS DE LONGITUD Y LA SEPARACION ENTRE ESTACIONES)
C
C      MIDE (5,10) SIDES, MIDE, F, F, LAMA, LAME, LIDELE
C      MIDE (5,10) LAMA, LAME, LIDELE, MIDE
C
C      LECTURA DE LAS COORDENADAS DE CADA UNO DE LOS PUNTO DE LA MALLA
C      DADO POR EL TORAL LAS COORDENADAS X, Y, Z EN LOS Y FINALMENTE LAS Z
C      LOS PUNTO DEBE DEBERE EN EL SENTIDO DE LOS MUESTREOS DEL MIDE)
C
C      MIDE (5,10)
C      MIDE (5,10) CLOMP(1,1), MIDE, MIDE
C      CONTINUE
C
C      IMPRESION DE LAS COORDENADAS DE CADA UNO DE LA MALLA
C
C      MIDE (5,10), CLOMP(1,1), MIDE, MIDE, MIDE, MIDE
C
C      MIDE (5,10), MIDE
C
C      LEER LAS COORDENADAS INICIAL (INICI) Y FINAL (FINAL) LEIDAS EN LA LECTORA
C      ASI COMO LA DESIADA DE ESTA (DEZ) AL DEBERE DEL SISTEMA DE REFERENCIA
```

```
C TOMANDO EN CONSIDERACION EL SIGNO + O - DESPUES DE HABER SE JA DECIDIDA  
C DE LA DISTRIBUCION DE LAS LINEAS
```

```
C READ(5,9)INICI,IFIN,PIZ),ALINEA  
C IMPRESION DE LA LINEA A LA QUE SE LE CALCULARAN LOS CAMPOS E Y H  
C IF(IGNI,NE.9)WRITE(1,17)  
C IF(IGNI,NE.0)WRITE(3,8)ALINEA  
C IF(IGNI,NE.1)WRITE(1)INDEGE
```

```
C LEEN LA COORDENADA Z DE CADA PUNTO DE OBSERVACION DE LA LINEA  
C READ(5,10)(COMPZ(I),I=1)OBEF,FIOPUN,FOBEF)  
C COMPZ(I)OPUN+FOBEF(I)=FOBEFZ(COMPZ(I))  
C IF(I)=1)WRITE(1)OBEF  
C JIO=0
```

```
C SE CALCULAN LOS CAMPOS E Y H EN CADA PUNTO DE CADA LINEA  
C DO 1 IN=INICI,IFINI,INDEGE  
C JIO=JIO+(INDEGE  
C P(I)=0  
C P(J)=COMPZ(JIO)
```

```
C DE AQUI A LA FIGURA CON EL NÚMERO 100 ES LO QUE CONSTITUYE  
C LA RUTINA ELABORADA POR G.C. PALMAE FEB 78  
C LA QUE CALCULA LOS CAMPOS E Y H TOMANDO EN CONSIDERACION  
C LA FORMA DEL TERRENO
```

```
C E(X,Y,Z) ES EL CAMPO ELECTRICICO  
C E(1) ES LA COMPONENTE EN X  
C E(2) ES LA COMPONENTE EN Y  
C E(3) ES LA COMPONENTE EN Z
```

```
C H(X,Y,Z) ES EL CAMPO MAGNETICO
```

```
C LAS MODIFICACIONES INDICADAS EN ***** CORRIGEN EL CAMPO ELECTRICICO  
C EN CIERTAS SITUACIONES Y PREVIENEN CÁRDOS DE SUFICIENTE CALCULO  
C SOBRE EL ARCADE  
C EL PROGRAMA REEMPLAZA *Z= 10120 PARA INDICAR *Z= INFINITO
```

```
C INICIALIZA A CERO LOS CAMPOS E Y H
```

```
C DO 1N I=1,3  
C E(I)=0.  
C H(I)=0.  
1N CONTINUE
```

```
C SE CALCULAN LOS CAMPOS RELATIVOS A CADA SEGMENTO
```

```
C DO 100 J=1,NOSES  
C K=J+1  
C IF(J,E,C,INDEGE) K=1
```

```
C CALCULO DE LOS VECTORES PARA UN SEGMENTO DE LINEA
```





```

C
C 23.00-30.121.3
C
C * 0.8-7=0.000001
C IF (IDEN1.EQ.1)F(1)=1(1+0.000001*E1D1*F(1)*ABS(ARGO))
C
C A1=12.5663706
C H(1)=H(1)+D1D1/12.5663706*AN/PKAPP*E1*F(1)
C
C 30 CONTINUE
C IDE0=0
C 100 CONTINUE
C          FINALIZA LA ROTACION POR J.C. SACNAE
C
C SE IMPRIME LOS RESULTADOS
C
C IF(IDE1.NE.0)WRITE(3,12)F(1),F(2),F(3),E(1),E(2),F(3),H(1),H(2),
C *A(3)
C
C LAS TARJETAS MARCADAS CON *** EN LA2 CUJAGA2 76-8
C SON LAS NECESARIAS PARA CALCULAR LAS REDUCCIONES REDUCIDAS EN
C EL SISTEMA TOPAS
C
C QUITE LA C A DICHAS TARJETAS SI SE TRATA DE ESTE TIPO DE
C ESTUDIO
C
C          J=1+J0+1*DELE
C          IF(J0.NE.1)IC1=FF(J+1)=A1/ABS(H(3))
C          A1=ABS(H(3))
C          ***
C 1 CONTINUE
C          WRITE(3,2)IC1,IFINAL,INDELE,XLINEA
C          WRITE(3,6)(F(1),1)=IF(1),IFINAL,INDELE)
C          ***
C 11 CONTINUE
C
C
C 2 FORMAT(//,2X,35PREGUNTAS NUMERALES DE LA ESTACION,14,14H A LA ES
C 3TACION,14,21H CON UNA RESOLUCION DE ,12,12H, L I N E A ,F(2,2,/)
C 4 F(3,4) (4I,1X,10P,12,10C,F/,1,1P,,F/,1,1n,,F/,1,1H),2X))
C 5 FORMAT(61J)
C 6 FORMAT(14(1),F(,4))
C 8 FORMAT(//,50X,30P,1 H E A ,F,2,//,19X,8HPU
C 9TU DE,32X,150CAPO ELETRICO,20X,150CANPO MAGNETICO,/,19X,11HUBSE
C 0RACION,34X,10P,10X,10P,//,5010X,310C O F P U N T O E
C 15),//,15X,2(10,9X,10Y,9X,10Z,15X),10X,9A,10Y,9Z,//)
C 9 FORMAT(213,2F(,2))
C 10 FORMAT(10P,2)
C 12 FORMAT(12X,3(F/,1,41,0X,3(611,4,1X),0X,3(611,4,1X))
C 14 FORMAT(F12,6I)
C 16 FORMAT(10I,50Z,410I) PRESION DE LOS VALORES DE LA RUBINA DE ,13,2HA
C 17,13,100,5,200,12,7,40X,16P(05) = TOTAL DE ,12,1 SEGNBIBLOS DE
C 18LEON, P(,1,1,))
C 17 FORMAT(10I,20X,9000010) LA COMPONENTE X DEL PUNTO DE OBSERVACION E
C 18 SE ENCONTRARON A LA ESTACION DE REDUCCION)
C 500 FORMAT(310 SEGNBIBLOS DE LINEA LOCAL A CERCA
C CALL EX(1)
C 700

```

A P E N D I C E    I I

55 - 6 20 - 60 40

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.	0.0	.00
0.00	0.00	-190.00	-380.00	-450.00	-550.00	-795.00	-800.00	-800.00	-800.00
-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.0	-800.0	-800.00	-800.00	-800.00
-800.00	-800.00	-800.00	-800.0	-800.0	-610.00	-500.00	-430.00	-410.00	-360.0
-130.00	-90.00	0.00	0.00	0.00	0.0	.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
0.00	-100.00	-160.00	-210.00	-350.00	-430.00	-450.00	-500.0	-550.00	-600.00
-740.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-700.00	-570.00
-440.00	-340.00	-220.0	0.00	90.00	170.00	250.00	340.00	390.00	460.00
510.00	610.00	630.00	700.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00
800.00	800.00	800.00	730.0	640.00	600.00	560.00	500.00	460.00	340.00
300.00	280.00	260.00	200.0	50.00					
1235.00	1236.00	1220.00	1220.00	1250.00	1250.00	1240.00	1225.00	1225.00	1235.00
1285.00	1290.00	1270.00	1230.00	1265.00	1255.00	1240.00	1230.00	1215.00	1250.00
1225.00	1245.00	1210.00	1200.00	1230.00	1230.0	1190.00	1230.00	1235.00	1215.00
1185.00	1240.00	1240.00	1185.00	1190.00	1210.00	1235.0	1270.00	1270.00	1285.00
1400.00	1400.00	1375.00	1365.00	1350.00	1340.0	1340.00	1330.00	1330.00	1285.00
1275.00	1280.00	1270.00	126.00	1245.0					
20800	600.00	60.00							
1329.70	1320.40	1320.00	1317.30	1312.00	1312.30	1310.40	1307.60	1298.60	1306.90
1309.30	1306.60	1293.30	1286.70	1292.70	1300.00	1300.20	1311.90	1318.40	1321.80
1321.80	1333.00	1341.50	1342.20	1340.00	1347.40	1325.30	1315.70	1300.00	1286.60
1290.40	1300.80	1307.60	1306.60	1297.70	1288.40	1276.10	1275.00	1269.00	1282.20
20800	-160.00	136.00							
1224.00	1237.80	1247.60	1256.50	1260.30	1272.20	1280.60	1296.50	1305.30	1312.20
1318.00	1325.00	1331.00	1336.60	1351.20	1367.00	1375.60	1384.60	1393.00	1405.30
1411.30	1410.30	1412.50	1416.50	1409.80	1397.80	1409.60	1413.20	1417.70	1419.80
1421.90	1422.80	1422.00	1419.90	1417.50	1414.80	1400.00	1398.00	1390.00	1382.00
20800	-350.00	155.00							
1254.20	1261.20	1268.60	1275.60	1285.10	1292.20	1300.80	1309.70	1310.50	1303.20
1098.00	1290.70	1293.80	1291.50	1290.60	1291.50	1288.60	1285.50	1287.60	1307.60
1319.00	1332.70	1338.60	1327.80	1334.00	1344.40	1352.40	1361.60	1370.00	1374.00
1379.00	1384.30	1387.00	1383.80	1372.70	1362.90	1357.70	1350.40	1342.30	1333.30
20800	-450.00	165.00							
1250.20	1258.20	1265.80	1267.00	1273.00	1275.80	1275.20	1272.90	1268.00	1261.00
1248.90	1238.40	1236.00	1241.30	1241.00	1238.90	1247.90	1257.20	1269.20	1280.80
1292.70	1299.80	1299.20	1293.50	1296.00	1309.60	1320.20	1334.30	1345.30	1355.00
1352.90	1365.30	1369.20	1356.80	1347.40	1333.40	1327.90	1317.80	1307.00	1317.00
20800	-500.00	170.00							
1230.70	1250.70	1258.80	1256.30	1256.70	1251.70	1247.10	1244.40	1236.80	1236.80
1247.70	1255.50	1260.30	1268.00	1265.30	1250.80	1241.10	1250.10	1260.20	1276.80
1286.00	1289.70	1283.80	1289.10	1299.40	1310.40	1321.70	1335.20	1347.20	1355.90
1360.70	1361.30	1354.50	1347.70	1341.90	1334.40	1324.30	1317.60	1311.50	1312.80
20800	-600.00	180.00							
1225.80	1228.40	1234.40	1239.90	1245.6	1253.20	1262.60	1272.70	1279.50	1282.60
1287.40	1292.40	1293.70	1293.50	1289.60	1266.60	1294.40	1256.00	1264.20	1263.10
1262.70	1264.40	1262.90	1271.40	1278.40	1283.00	1288.70	1293.20	1296.90	1299.60
1300.10	1299.40	1303.60	1307.50	1305.80	1293.50	1280.00	1289.20	1291.30	1295.70

IMPRESION DE LOS VALORES DE LA BOBINA DE 80AX 40A A=20  
 CON UN TOTAL DE 55 SEGMENTOS DE LINEA, P(X,Y,Z)

P 1( 0.0, 0.0, 1235.0)	P 2( 0.0, -100.0, 1235.0)	P 3( 0.0, -160.0, 1220.0)	P 4( 0.0, -210.0, 1220.0)
P 5( 0.0, -350.0, 1250.0)	P 6( 0.0, -430.0, 1250.0)	P 7( 0.0, -450.0, 1240.0)	P 8( 0.0, -500.0, 1225.0)
P 9( 0.0, -550.0, 1225.0)	P10( 0.0, -600.0, 1235.0)	P11( 0.0, -740.0, 1285.0)	P12( 0.0, -800.0, 1290.0)
P13( -190.0, -800.0, 1270.0)	P14( -380.0, -800.0, 1230.0)	P15( -450.0, -800.0, 1205.0)	P16( -550.0, -800.0, 1255.0)
P17( -795.0, -800.0, 1240.0)	P18( -800.0, -800.0, 1230.0)	P19( -800.0, -700.0, 1215.0)	P20( -800.0, -570.0, 1250.0)
P21( -800.0, -440.0, 1225.0)	P22( -800.0, -340.0, 1245.0)	P23( -800.0, -220.0, 1210.0)	P24( -800.0, 0.0, 1260.0)
P25( -800.0, 90.0, 1230.0)	P26( -800.0, 170.0, 1230.0)	P27( -800.0, 250.0, 1190.0)	P28( -800.0, 340.0, 1230.0)
P29( -800.0, 390.0, 1235.0)	P30( -800.0, 460.0, 1215.0)	P31( -800.0, 510.0, 1165.0)	P32( -800.0, 610.0, 1240.0)
P33( -800.0, 630.0, 1240.0)	P34( -800.0, 700.0, 1165.0)	P35( -800.0, 800.0, 1190.0)	P36( -610.0, 800.0, 1210.0)
P37( -500.0, 800.0, 1235.0)	P38( -430.0, 800.0, 1270.0)	P39( -410.0, 800.0, 1270.0)	P40( -360.0, 800.0, 1285.0)
P41( -130.0, 800.0, 1400.0)	P42( -90.0, 800.0, 1400.0)	P43( 0.0, 800.0, 1375.0)	P44( 0.0, 730.0, 1365.0)
P45( 0.0, 640.0, 1350.0)	P46( 0.0, 600.0, 1340.0)	P47( 0.0, 560.0, 1340.0)	P48( 0.0, 500.0, 1330.0)
P49( 0.0, 460.0, 1330.0)	P50( 0.0, 390.0, 1285.0)	P51( 0.0, 300.0, 1275.0)	P52( 0.0, 280.0, 1280.0)
P53( 0.0, 200.0, 1270.0)	P54( 0.0, 200.0, 1260.0)	P55( 0.0, 50.0, 1245.0)	P

NOTA: LA COMPONENTE X DEL PUNTO DE OBSERVACION ES EL EQUIVALENTE A LA ESTACION DE LECTURA.

PUNTO DE OBSERVACION			CAMPO ELECTRICICO			CAMPO MAGNETICO		
COMPONENTES			COMPONENTES			COMPONENTES		
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
20,0	600,0	1329,7	-0,1050E+05	0,5842E+05	0,6653E+06	0,3275E+07	-0,5362E+03	0,5363E+02
40,0	600,0	1320,4	-0,9760E+06	0,4607E+05	0,5315E+06	0,1644E+02	-0,2194E+03	0,2519E+02
60,0	600,0	1320,0	-0,9169E+06	0,3965E+05	0,4564E+06	0,6782E+03	-0,1496E+03	0,1796E+02
80,0	600,0	1317,3	-0,8568E+06	0,3472E+05	0,3961E+06	0,5675E+03	-0,9679E+04	0,1303E+02
100,0	600,0	1312,0	-0,7965E+06	0,3080E+05	0,3472E+06	0,4588E+03	-0,6000E+04	0,9723E+03
120,0	600,0	1312,3	-0,7462E+06	0,2790E+05	0,3110E+06	0,3287E+03	-0,4334E+04	0,7846E+03
140,0	600,0	1310,4	-0,6964E+06	0,2541E+05	0,2794E+06	0,2593E+03	-0,2935E+04	0,6370E+03
160,0	600,0	1307,4	-0,6494E+06	0,2329E+05	0,2573E+06	0,2140E+03	-0,1891E+04	0,5252E+03
180,0	600,0	1298,0	-0,5991E+06	0,2135E+05	0,2269E+06	0,2049E+03	-0,8114E+05	0,4255E+03
200,0	600,0	1306,4	-0,5699E+06	0,1996E+05	0,2095E+06	0,1424E+03	-0,7082E+05	0,3767E+03
220,0	600,0	1309,3	-0,5495E+06	0,1883E+05	0,1923E+06	0,1127E+03	-0,3774E+05	0,3294E+03
240,0	600,0	1306,6	-0,5300E+06	0,1790E+05	0,1763E+06	0,1005E+03	0,1255E+06	0,2843E+03
260,0	600,0	1299,4	-0,5100E+06	0,1710E+05	0,1620E+06	0,1000E+03	0,4364E+05	0,2360E+03
280,0	600,0	1290,0	-0,4900E+06	0,1640E+05	0,1490E+06	0,1100E+03	0,1038E+05	0,2062E+03
300,0	600,0	1297,3	-0,4700E+06	0,1580E+05	0,1380E+06	0,8605E+04	0,1047E+05	0,1812E+03
320,0	600,0	1290,0	-0,4500E+06	0,1530E+05	0,1290E+06	0,6398E+04	0,7975E+05	0,1570E+03
340,0	600,0	1300,7	-0,4300E+06	0,1490E+05	0,1200E+06	0,11172E+04	0,8068E+05	0,1357E+03
360,0	600,0	1311,4	-0,4100E+06	0,1460E+05	0,1121E+06	0,4235E+04	0,9354E+05	0,1272E+03
380,0	600,0	1311,7	-0,3900E+06	0,1430E+05	0,1040E+06	0,3434E+04	0,9864E+05	0,1105E+03
400,0	600,0	1311,7	-0,3700E+06	0,1410E+05	0,9700E+05	0,27470E+04	0,1034E+06	0,1194E+03
420,0	600,0	1312,0	-0,3500E+06	0,1390E+05	0,9100E+05	0,2170E+04	0,1050E+06	0,1194E+03
440,0	600,0	1312,0	-0,3300E+06	0,1380E+05	0,8600E+05	0,1687E+04	0,1070E+06	0,1160E+03
460,0	600,0	1312,0	-0,3100E+06	0,1370E+05	0,8100E+05	0,12652E+04	0,1080E+06	0,9570E+03
480,0	600,0	1312,0	-0,2900E+06	0,1370E+05	0,7698E+05	0,9374E+04	0,1045E+06	0,6790E+03
500,0	600,0	1312,0	-0,2700E+06	0,1370E+05	0,7214E+05	0,6594E+04	0,1032E+06	0,4160E+03
520,0	600,0	1312,0	-0,2500E+06	0,1370E+05	0,6712E+05	0,4614E+04	0,1030E+06	0,2480E+03
540,0	600,0	1312,0	-0,2300E+06	0,1370E+05	0,6191E+05	0,2754E+04	0,9670E+05	0,841E+03
560,0	600,0	1312,0	-0,2100E+06	0,1370E+05	0,5649E+05	0,1970E+04	0,9048E+05	0,611E+03
580,0	600,0	1312,0	-0,1900E+06	0,1370E+05	0,5078E+05	0,1258E+04	0,8055E+05	0,553E+03
600,0	600,0	1286,6	-0,1700E+06	0,1370E+05	0,4488E+05	0,2246E+04	0,6228E+05	0,505E+03
620,0	600,0	1290,4	-0,1500E+06	0,1360E+05	0,3869E+05	0,2059E+04	0,6589E+05	0,475E+03
640,0	600,0	1300,0	-0,1300E+06	0,1350E+05	0,3247E+05	0,1860E+04	0,6909E+05	0,464E+03
660,0	600,0	1307,6	-0,1100E+06	0,1350E+05	0,2555E+05	0,1630E+04	0,5051E+05	0,446E+03
680,0	600,0	1306,6	-0,0900E+06	0,1340E+05	0,1899E+05	0,1358E+04	0,5371E+05	0,428E+03
700,0	600,0	1297,7	-0,0700E+06	0,1340E+05	0,1278E+05	0,1064E+04	0,4577E+05	0,394E+03
720,0	600,0	1288,4	-0,0500E+06	0,1330E+05	0,0691E+05	0,1556E+04	0,3786E+05	0,360E+03
740,0	600,0	1278,1	-0,0300E+06	0,1330E+05	0,0304E+05	0,1547E+04	0,3009E+05	0,344E+03
760,0	600,0	1275,0	-0,0100E+06	0,1330E+05	0,0000E+05	0,1478E+04	0,2371E+05	0,328E+03
780,0	600,0	1269,0	0,0000E+06	0,1320E+05	0,0000E+05	0,1428E+04	0,1917E+05	0,312E+03
800,0	600,0	1267,2	0,0000E+06	0,1320E+05	0,0000E+05	0,1269E+04	0,1811E+05	0,300E+03
820,0	600,0	1262,2	0,0000E+06	0,1310E+05	0,0000E+05	0,1195E+04	0,1438E+05	0,296E+03

NOTA: LA COMPONENTE X DEL PUNTO DE OBSERVACION ES EL EQUIVALENTE A LA ESTACION DE LECTURA.

L I N E A 126.00

PUNTO DE  
OBSERVACION

CAMPO ELECTRICO

CAMPO MAGNETICO

C O M P O N E N T E S

C O M P O N E N T E S

C O M P O N E N T E S

X

Y

Z

X

Y

Z

X

Y

Z

20.0	-100.0	1221.0	-0.7515E-07	0.4833E-05	0.7034E-08	-0.1516E-02	-0.9414E-03	0.7376E-02
40.0	-100.0	1237.8	-0.7353E-07	0.5412E-05	0.7487E-06	-0.1496E-02	-0.3270E-03	0.3124E-02
60.0	-100.0	1247.6	-0.7190E-07	0.4629E-05	0.1800E-06	-0.1005E-02	-0.1552E-03	0.1959E-02
80.0	-100.0	1256.5	-0.7015E-07	0.4689E-05	0.1500E-06	-0.7389E-03	-0.8734E-04	0.1399E-02
100.0	-100.0	1266.3	-0.6801E-07	0.3870E-05	0.1397E-06	-0.5894E-03	-0.5747E-04	0.1056E-02
120.0	-100.0	1272.7	-0.6645E-07	0.3352E-05	0.1302E-06	-0.4625E-03	-0.4456E-04	0.8545E-03
140.0	-100.0	1286.8	-0.6262E-07	0.3650E-05	0.1230E-06	-0.4162E-03	-0.3893E-04	0.6692E-03
160.0	-100.0	1296.5	-0.6004E-07	0.2813E-05	0.1177E-06	-0.3609E-03	-0.3677E-04	0.5547E-03
180.0	-100.0	1305.3	-0.5734E-07	0.2711E-05	0.1132E-06	-0.3137E-03	-0.3597E-04	0.4699E-03
200.0	-100.0	1312.2	-0.5502E-07	0.2438E-05	0.1092E-06	-0.2721E-03	-0.3554E-04	0.4071E-03
220.0	-100.0	1316.0	-0.5292E-07	0.2287E-05	0.1059E-06	-0.2370E-03	-0.3519E-04	0.3577E-03
240.0	-100.0	1325.0	-0.5042E-07	0.2148E-05	0.1017E-06	-0.2103E-03	-0.3498E-04	0.3150E-03
260.0	-100.0	1333.0	-0.4758E-07	0.2021E-05	0.9762E-07	-0.1893E-03	-0.3475E-04	0.2782E-03
280.0	-100.0	1338.0	-0.4533E-07	0.1910E-05	0.9450E-07	-0.1688E-03	-0.3425E-04	0.2496E-03
300.0	-100.0	1351.2	-0.4112E-07	0.1796E-05	0.9088E-07	-0.1577E-03	-0.3408E-04	0.2197E-03
320.0	-100.0	1362.0	-0.3738E-07	0.1699E-05	0.8735E-07	-0.1459E-03	-0.3342E-04	0.1959E-03
340.0	-100.0	1373.0	-0.3334E-07	0.1603E-05	0.8390E-07	-0.1357E-03	-0.3267E-04	0.1754E-03
360.0	-100.0	1384.0	-0.2971E-07	0.1518E-05	0.8059E-07	-0.1259E-03	-0.3174E-04	0.1581E-03
380.0	-100.0	1393.0	-0.2672E-07	0.1443E-05	0.7752E-07	-0.1158E-03	-0.3067E-04	0.1444E-03
400.0	-100.0	1405.3	-0.2262E-07	0.1369E-05	0.7488E-07	-0.1063E-03	-0.2948E-04	0.1309E-03
420.0	-100.0	1411.3	-0.2054E-07	0.1307E-05	0.7166E-07	-0.9967E-04	-0.2830E-04	0.1213E-03
440.0	-100.0	1416.3	-0.1907E-07	0.1257E-05	0.6833E-07	-0.8857E-04	-0.2721E-04	0.1147E-03
460.0	-100.0	1417.5	-0.1839E-07	0.1206E-05	0.6594E-07	-0.8027E-04	-0.2607E-04	0.1076E-03
480.0	-100.0	1416.5	-0.1773E-07	0.1160E-05	0.6479E-07	-0.7164E-04	-0.2498E-04	0.1019E-03
500.0	-100.0	1409.8	-0.1671E-07	0.1117E-05	0.6286E-07	-0.6432E-04	-0.2357E-04	0.9626E-04
520.0	-100.0	1407.8	-0.1584E-07	0.1076E-05	0.6164E-07	-0.5747E-04	-0.2278E-04	0.9113E-04
540.0	-100.0	1409.6	-0.1421E-07	0.1035E-05	0.5958E-07	-0.5229E-04	-0.2166E-04	0.8580E-04
560.0	-100.0	1413.2	-0.1227E-07	0.9949E-06	0.5654E-07	-0.4806E-04	-0.2054E-04	0.8088E-04
580.0	-100.0	1417.7	-0.1023E-07	0.9570E-06	0.5456E-07	-0.4444E-04	-0.1944E-04	0.7589E-04
600.0	-100.0	1419.6	-0.8602E-08	0.9223E-06	0.5277E-07	-0.4069E-04	-0.1837E-04	0.7169E-04
620.0	-100.0	1421.9	-0.6920E-08	0.8894E-06	0.5109E-07	-0.3731E-04	-0.1733E-04	0.6780E-04
640.0	-100.0	1422.6	-0.5550E-08	0.8567E-06	0.4976E-07	-0.3407E-04	-0.1633E-04	0.6426E-04
660.0	-100.0	1422.0	-0.4333E-08	0.8301E-06	0.4772E-07	-0.3099E-04	-0.1537E-04	0.6105E-04
680.0	-100.0	1419.4	-0.3290E-08	0.8034E-06	0.4627E-07	-0.2778E-04	-0.1444E-04	0.5812E-04
700.0	-100.0	1417.5	-0.2411E-08	0.7776E-06	0.4476E-07	-0.2506E-04	-0.1354E-04	0.5532E-04
720.0	-100.0	1414.8	-0.1711E-08	0.7513E-06	0.4338E-07	-0.2253E-04	-0.1266E-04	0.5271E-04
740.0	-100.0	1406.0	-0.1254E-08	0.7312E-06	0.4212E-07	-0.1950E-04	-0.1184E-04	0.5043E-04
760.0	-100.0	1398.3	0.1709E-09	0.7097E-06	0.4088E-07	-0.1690E-04	-0.1102E-04	0.4816E-04
780.0	-100.0	1390.0	0.9607E-09	0.6890E-06	0.3968E-07	-0.1456E-04	-0.1022E-04	0.4601E-04
800.0	-100.0	1382.0	0.1788E-09	0.6691E-06	0.3851E-07	-0.1252E-04	-0.9455E-05	0.4395E-04
820.0	-100.0	1382.3	0.3055E-08	0.6490E-06	0.3739E-07	-0.1147E-04	-0.8778E-05	0.4192E-04

NOTA: LA COMPONENTE X DEL PUNTO DE OBSERVACION ES EL EQUIVALENTE A LA ESTACION DE LECTURA.

PUNTO DE OBSERVACION			CAMPO ELECTRICICO E			CAMPO MAGNETICO H		
C O M P O N E N T E S			C O M P O N E N T E S			C O M P O N E N T E S		
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
20.0	-350.0	1254.7	0.4505E-06	0.6680E-05	-0.2583E-06	-0.1564E-02	0.7142E-03	0.7038E-02
40.0	-350.0	1261.2	0.4348E-06	0.5303E-05	-0.1269E-06	-0.1071E-02	0.2887E-03	0.3212E-02
60.0	-350.0	1268.6	0.4189E-06	0.4515E-05	-0.6459E-07	-0.7578E-03	0.1503E-03	0.1990E-02
80.0	-350.0	1275.6	0.4031E-06	0.3974E-05	-0.3028E-07	-0.5981E-03	0.8784E-04	0.1406E-02
100.0	-350.0	1285.1	0.3873E-06	0.3548E-05	-0.8847E-08	-0.5205E-03	0.5402E-04	0.1039E-02
120.0	-350.0	1292.2	0.3716E-06	0.3223E-05	0.4571E-08	-0.4397E-03	0.3652E-04	0.8224E-03
140.0	-350.0	1300.5	0.3567E-06	0.2948E-05	0.1385E-07	-0.3861E-03	0.2594E-04	0.6637E-03
160.0	-350.0	1309.7	0.3410E-06	0.2714E-05	0.2040E-07	-0.3428E-03	0.1945E-04	0.5466E-03
180.0	-350.0	1310.5	0.3263E-06	0.2542E-05	0.2462E-07	-0.2842E-03	0.1534E-04	0.4820E-03
200.0	-350.0	1303.2	0.3120E-06	0.2408E-05	0.2743E-07	-0.2164E-03	0.1204E-04	0.4440E-03
220.0	-350.0	1297.0	0.2796E-06	0.2014E-05	0.3397E-07	0.2756E-03	-0.7267E-05	0.2553E-03
240.0	-350.0	1290.7	0.2846E-06	0.2156E-05	0.3198E-07	-0.1312E-03	0.6848E-05	0.3669E-03
260.0	-350.0	1293.6	0.2717E-06	0.2031E-05	0.3322E-07	-0.1180E-03	0.5229E-05	0.3255E-03
280.0	-350.0	1291.5	0.2593E-06	0.1924E-05	0.3538E-07	-0.9839E-04	0.3708E-05	0.2942E-03
300.0	-350.0	1290.6	0.2474E-06	0.1823E-05	0.3658E-07	-0.8453E-04	0.2485E-05	0.2660E-03
320.0	-350.0	1291.5	0.2361E-06	0.1710E-05	0.3788E-07	-0.7462E-04	0.1500E-05	0.2408E-03
340.0	-350.0	1288.0	0.2252E-06	0.1644E-05	0.3810E-07	-0.6248E-04	0.5514E-06	0.2200E-03
360.0	-350.0	1285.5	0.2148E-06	0.1568E-05	0.3866E-07	-0.5219E-04	-0.2593E-06	0.2016E-03
380.0	-350.0	1297.6	0.2053E-06	0.1489E-05	0.3908E-07	-0.5570E-04	-0.5778E-06	0.1816E-03
400.0	-350.0	1307.0	0.1967E-06	0.1416E-05	0.3938E-07	-0.5562E-04	-0.9284E-06	0.1647E-03
420.0	-350.0	1315.0	0.1877E-06	0.1347E-05	0.3943E-07	-0.5679E-04	-0.1187E-05	0.1493E-03
440.0	-350.0	1322.7	0.1798E-06	0.1282E-05	0.3941E-07	-0.5774E-04	-0.1384E-05	0.1352E-03
460.0	-350.0	1338.8	0.1716E-06	0.1225E-05	0.3926E-07	-0.5450E-04	-0.1669E-05	0.1245E-03
480.0	-350.0	1327.6	0.1643E-06	0.1181E-05	0.3900E-07	-0.4448E-04	-0.2217E-05	0.1179E-03
500.0	-350.0	1334.0	0.1574E-06	0.1131E-05	0.3869E-07	-0.4238E-04	-0.2415E-05	0.1090E-03
520.0	-350.0	1344.4	0.1509E-06	0.1082E-05	0.3832E-07	-0.4174E-04	-0.2523E-05	0.1004E-03
540.0	-350.0	1352.4	0.1448E-06	0.1038E-05	0.3788E-07	-0.4017E-04	-0.2632E-05	0.9309E-04
560.0	-350.0	1361.0	0.1391E-06	0.9958E-06	0.3739E-07	-0.3876E-04	-0.2704E-05	0.8639E-04
580.0	-350.0	1370.0	0.1337E-06	0.9561E-06	0.3686E-07	-0.3742E-04	-0.2744E-05	0.8030E-04
600.0	-350.0	1374.6	0.1287E-06	0.9205E-06	0.3639E-07	-0.3499E-04	-0.2816E-05	0.7531E-04
620.0	-350.0	1374.0	0.1237E-06	0.8880E-06	0.3572E-07	-0.3295E-04	-0.2850E-05	0.7065E-04
640.0	-350.0	1374.3	0.1191E-06	0.8598E-06	0.3511E-07	-0.3117E-04	-0.2858E-05	0.6637E-04
660.0	-350.0	1367.6	0.1148E-06	0.8249E-06	0.3450E-07	-0.2877E-04	-0.2812E-05	0.6265E-04
680.0	-350.0	1383.8	0.1107E-06	0.7965E-06	0.3391E-07	-0.2609E-04	-0.2919E-05	0.5961E-04
700.0	-350.0	1372.7	0.1067E-06	0.7750E-06	0.3333E-07	-0.2731E-04	-0.3002E-05	0.5719E-04
720.0	-350.0	1362.9	0.1030E-06	0.7518E-06	0.3274E-07	-0.1911E-04	-0.3039E-05	0.5473E-04
740.0	-350.0	1357.7	0.9951E-07	0.7272E-06	0.3213E-07	-0.1686E-04	-0.3023E-05	0.5217E-04
760.0	-350.0	1350.4	0.9629E-07	0.7068E-06	0.3152E-07	-0.1459E-04	-0.3001E-05	0.4981E-04
780.0	-350.0	1342.3	0.9307E-07	0.6888E-06	0.3091E-07	-0.1245E-04	-0.2965E-05	0.4757E-04
800.0	-350.0	1333.3	0.9017E-07	0.6657E-06	0.3030E-07	-0.1045E-04	-0.2919E-05	0.4546E-04
820.0	-350.0	1333.3	0.8733E-07	0.6458E-06	0.2970E-07	-0.9605E-05	-0.2835E-05	0.4328E-04