



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

"NOTA SOBRE LA REALIZACION DE UNOS PERFI-  
LES DE MAGNETICO Y V.L.F. EN LA SIERRA -  
DE LOS SANTOS (BADAJOZ)". 1.938

EXPEDIENTE Nº

ORGANICA Nº	PROGRAMA Nº	CONCEPTO Nº	



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

40350

I N D I C E

	<u>Pag.</u>
1.- INTRODUCCION.....	4
2.- ANTECEDENTES.....	4
3.- OBJETIVOS.....	6
4.- TRABAJOS REALIZADOS.....	6
4.1.- Duración y equipo de trabajo.	6
4.2.- Instrumentación.....	6
4.3.- Perfiles.....	7
4.4.- Metrología.....	7
. Topografía.....	7
. Magnetometría.....	7
. V.L.F.....	8
5.- TRATAMIENTO DE DATOS.....	14
6.- INTERPRETACION.....	13

F I G U R A S

=====

Figura nº 1.- Perfiles realizados E 1:100.000

Figura nº 2.- Acoplamiento electromagnético en el método V.L.F.

Figura nº 3.- Perfil B medido y filtrado.

Figura nº 4.- Anomalías de V.L.F. y campo magnético total, Sierra de los Santos E 1:25.000.

Figura nº 5.- Anomalías de V.L.F. y campo magnético total. Zona Usagre.

P L A N O S

Plano nº 1.- Perfiles de campo magnético total (valores filtrados- 43.000 nT)  
E 1:5.000.

Plano nº 2.- Perfiles V.L.F. (A-B-C-D-E-F) E 1:5.000

Plano nº 3.- Perfiles V.L.F. (G-H-I) E 1:5.000

## 1.- INTRODUCCION.

La presente nota pretende describir brevemente la ejecución de unos -  
perfiles de magnético y V.L.F. llevada a cabo por el Servicio de Geofísica  
del ITGE a petición de la Dirección de Minería del mismo en la Sierra de -  
los Santos (Badajoz).

En la figura nº 1 se aprecia la situación de los perfiles, indicándo-  
se tanto el nombre de cada uno de ellos como su primera y última estaca,--  
respectivamente.

## 2.- ANTECEDENTES.

Los perfiles se ubican dentro de la reserva de Los Santos, de la que  
la Dirección de Minería del ITGE quiere investigar su potencial de minera-  
lizaciones de metales preciosos tipo Carlin o tipo SEDEX (Meggens y Ram--  
melsberg), en relación con niveles calcáreo-exhalativos con presencia de  
silificaciones y rocas volcánicas. En 1.986, y sobre unos perfiles simi-  
lares a los de la figura nº 1, se realizó una geoquímica de suelos que -  
proporcionó valores anómalos de Hg y As y erráticos en Au.

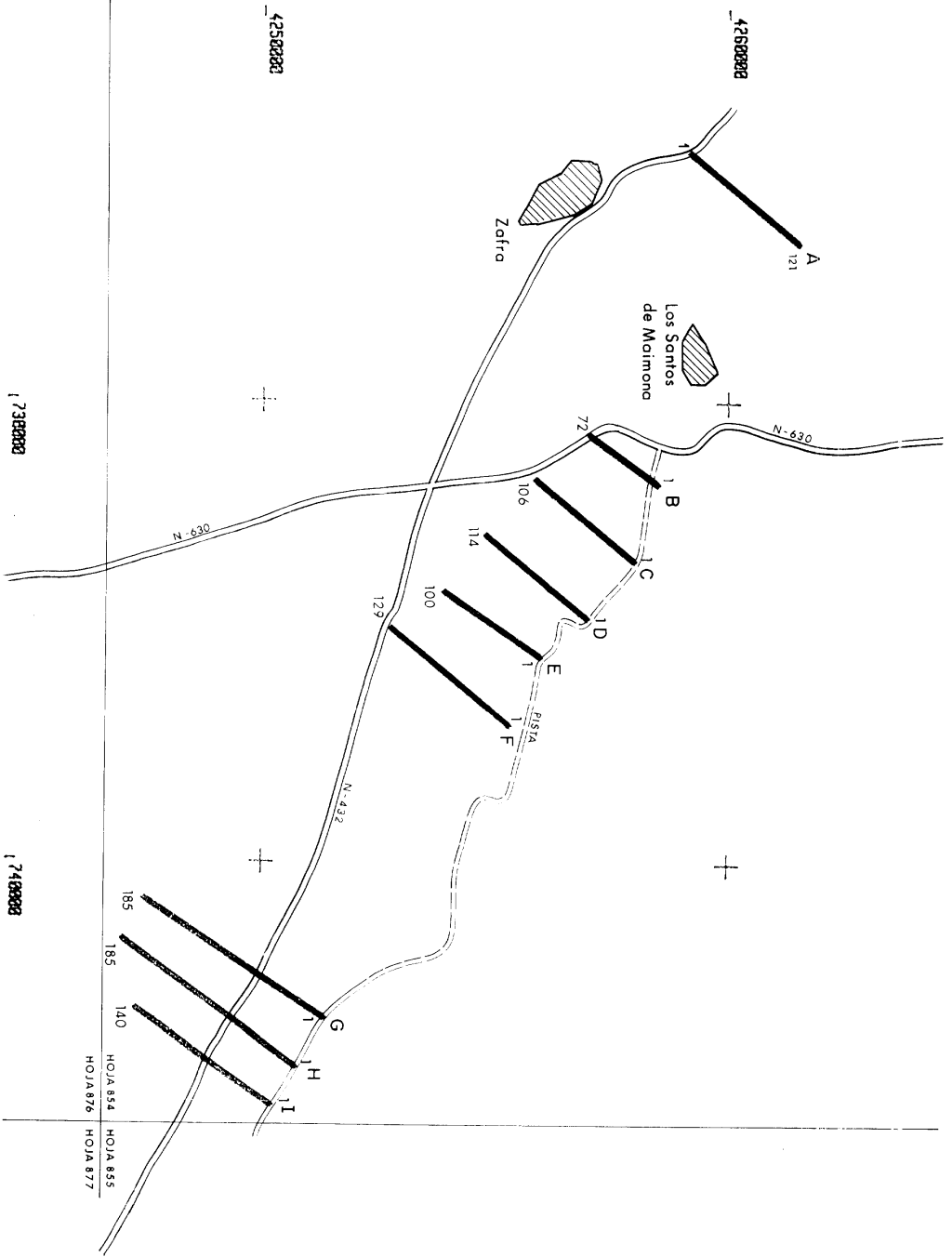


Figura nº 1 Perfiles realizados  
E. 1:100.000

### 3.- OBJETIVOS.

Con los antecedentes descritos se pretende realizar un modesto ensayo con los métodos magnéticos y V.L.F. para conocer la respuesta de los terrenos a ambos en general, y ver si dentro de la misma se integran elementos diferenciadores que caractericen objetivos de interés minero en particular.

### 4.- TRABAJOS REALIZADOS.

#### 4.1.- Duración y equipo de trabajo.

Los trabajos de campo (topografía, toma de medidas, etc.) se -- realizaron del 19 al 29 de Julio de 1.988. El grupo de trabajo estuvo compuesto por: D. José Luis García Lobón, Ingeniero de Minas; D. Ceferino Avilero Hurtado, Ingeniero Técnico de Minas; D. Cecilio Baeza Rodríguez-Caro, Encargado, y D. José Alcayde Vázquez, Oficial 2ª.

#### 4.2.- Instrumentación.

##### 1) V.L.F.

. Receptor Geonics EM 16. Determina las componentes en fase y en cuadratura del campo magnético vertical como porcentaje del campo primario horizontal. Características: banda de frecuencia 15-25 KHz, rango de  $\pm 15\%$  para la componente en fase y  $\pm 40\%$  para la componente en cuadratura, resolución  $\pm 1\%$ .

##### 2) Magnético.

.1 Magnetómetro de protones Geometrics G-816.  
.1 Base registradora Geometrics G-816-A.

##### 3) Topografía.

.1 Taquímetro Wild TIA.

#### 4.3.- Perfiles.

Se midieron 9 perfiles con estaciones a 25 m. (A a I: ver figura nº 1 donde indica la primera y última estación de cada perfil), lo que supuso un total de 1.152 puntos equivalentes a 28,5 Km. de perfil:

<u>Perfil</u>	<u>Estaciones</u>
A	A1 a A121
B	B1 a B72
C	C1 a C106
D	D1 a D114
E	E1 a E100
F	F1 a F129
G	G1 a G185
H	H1 a H185
I	<u>I1 a I140</u>

Total .....1.152

#### 4.4.- Metrología.

##### . Topografía.

Se señalaron sobre el terreno la primera y última estación de cada perfil. Las restantes se posicionaron con brújula y cuerda. Se realizó un levantamiento (por triangulación utilizando vértices de la zona de trabajo) de las estaciones señalizadas (el Anexo nº 1 contiene las coordenadas U.T.M. de éstas). Al resto de las estaciones se les dió coordenadas mediante interpolación.

##### . Magnetometría.

El magnetómetro G-816 proporciona en cada estaca una lectura absoluta del campo magnético total en la misma. A este valor hay que aplicarle la corrección por variación diurna CVD, determi

nada mediante registro continuo en punto fijo con la base registrada G-816-A, y la corrección de deriva CD hallada con los cierres efectuados en los distintos programas en base única, obteniéndose una corrección de deriva y variación diurna conjunta con errores aproximados inferiores a 4 manoteslas (nT) (1 nT= 1 gamma).

El valor del campo en cada estación es entonces:

$$CG = CG_{\text{medido}} + CVD + CD \text{ nT.}$$

La repetición de 112 lecturas de control arroja un error de medición  $E_{cm} = \sqrt{\frac{d^2}{N}} = 3 \text{ nT}$ , donde es  $d$  es la diferencia entre la primera -- lectura y la repetición y  $N$  es el número de repeticiones.

Por último, obsérvese que, aunque se trata de lecturas absolutas de campo total, se ha hecho una reducción a base con valor relativo de 43339 nT (lectura en la base a las 9,55 h. del 21/7/1.988).

. V.L.F. (Very Low Frequency).

En este método electromagnético el campo primario es creado por determinadas emisoras de baja frecuencia (15-25 KHz), distribuídas -- por todo el Mundo, que son utilizadas corrientemente para la comunicación con submarinos. La onda electromagnética generada por una antena vertical se propaga fundamentalmente a través de la interfaz tierra-aire, decreciendo la intensidad del campo primario con el inverso de la distancia a la emisora, de forma que en una zona de unos pocos  $\text{Km}^2$  suficientemente alejada de la antena generadora (v.g. más de 100 Km) la intensidad primaria puede considerarse constante.

La geometría del acoplamiento electromagnético entre la radiación -- procedente de la antena y un conductor en el subsuelo aparece -- en la figura nº 2 (a). El campo magnético primario  $\bar{H}$  yace en la horizontal y es perpendicular a la línea que une el punto de observación



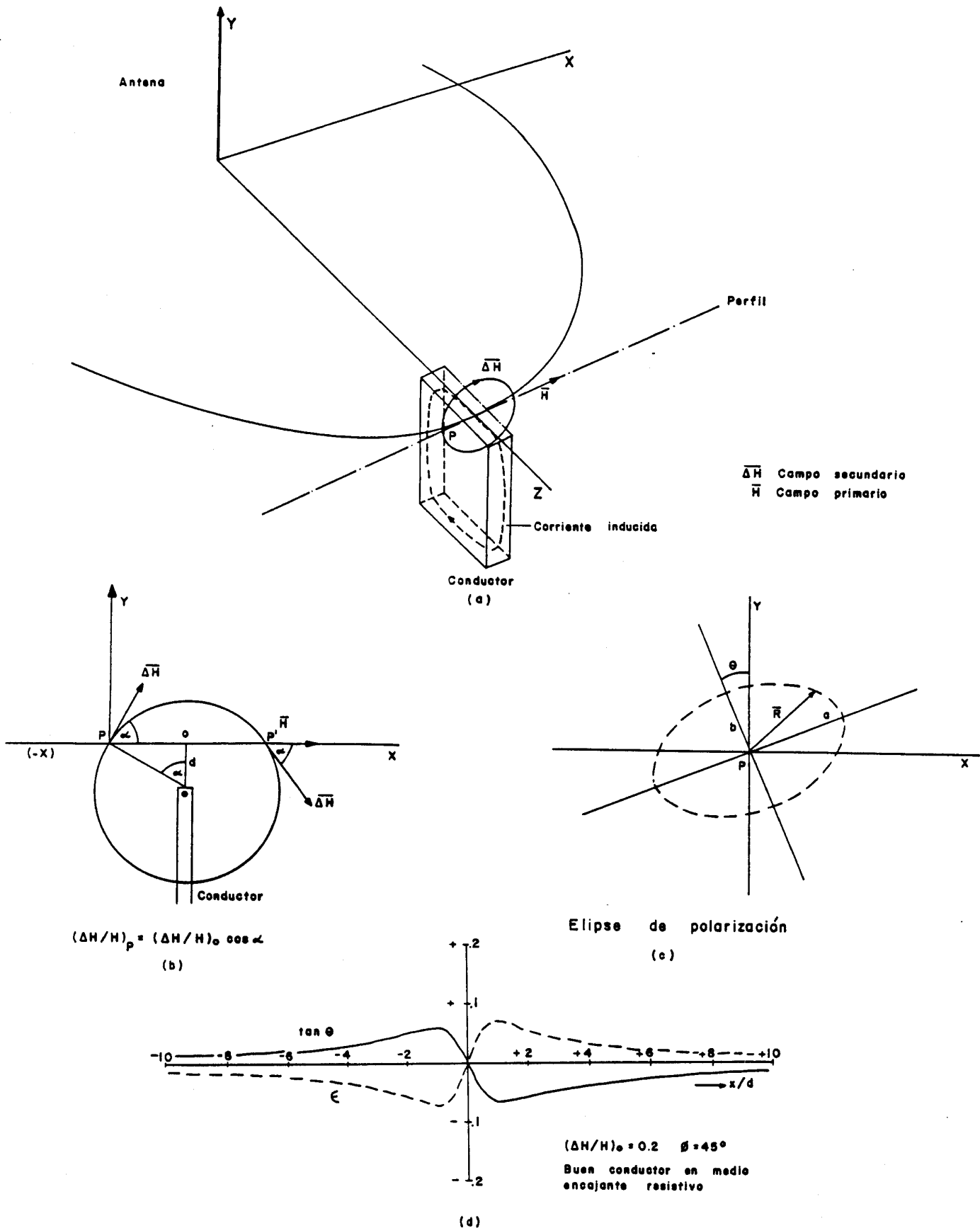


Figura nº2. Acoplamiento electromagnético en el metodo V.L.F.

P con la emisora. Cuando esta dirección (eje Z) coincide con el rumbo - del conductor el acoplamiento es máximo, de modo que habrá que seleccionar la emisora de forma que nos acerquemos lo más posible a esta situación, pero sin olvidar, a efectos de selección, la atenuación del primario con la distancia. Dado que en la prospección que nos ocupa los perfiles eran de dirección aproximada N-35-E (ante la previsión de posibles conductores de dirección N-125-E) se trabajó con la emisora GBR (Rugby, - UK: frecuencia 16 KHz., potencia 750 Kw.).

Continuando la descripción del acoplamiento, la presencia de un buen conductor enterrado hace que el campo primario variable induzca en él corrientes de Foucault, que, a su vez, producen un campo magnético secundario que altera el primario, dando origen a un campo resultante elípticamente polarizado en el plano XY, como se muestra a continuación.

Si el primario es horizontal de módulo:

$|\vec{H}| = H \cdot \cos \omega \cdot t$  ; el secundario en el mismo punto del espacio presentará, respecto de éste, un cierto desfase temporal  $\theta$  y una inclinación  $\alpha$  (figura nº 2 (b)):

$|\Delta \vec{H}| = \Delta H \cos (\omega \cdot t + \theta)$  , siendo las componentes del campo resultante  $\vec{R} = \vec{H} + \Delta \vec{H}$  las siguientes:

$$(1) \quad \begin{aligned} R_x &= H \cos \omega \cdot t + \Delta H \cos (\omega \cdot t + \theta) \cos \alpha \\ R_y &= \Delta H \cos (\omega \cdot t + \theta) \sin \alpha \end{aligned}$$

Si ahora del sistema (1) se elimina el tiempo t se obtiene una ecuación en  $R^2_x$ ,  $R^2_y$ , y  $R_x \cdot R_y$  que resulta ser una elipse: la elipse de polarización, que representa la rotación del campo resultante  $\vec{R}$  en el punto del espacio considerado (figura nº 2 (c)). Los dos parámetros característicos de esta elipse son su excentricidad  $\epsilon = b/a$  y su inclinación  $\theta$ , que vienen dados si se supone  $\Delta H \ll H$  por:

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H} \operatorname{sen} \alpha \cdot \operatorname{sen} \phi \quad (2)$$

$$\theta = \operatorname{artg} \left( \frac{\Delta H}{H} \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \phi \right) \quad (3)$$

Obsérvese que tanto  $\epsilon$  como  $\theta$  dependen de  $\phi$ , que, a su vez, es función de las conductividades de la cobertera y el conductor, y de  $\alpha$ ; y que ambos cambian de signo cuando el perfil atraviesa el cuerpo conductor (figura nº 2 (d)).

Tras esta breve descripción teórica es fácil comprender el principio operativo del método V.L.F. En efecto (3) puede escribirse como:

$\operatorname{tg} \theta = \frac{\Delta H}{H} \operatorname{sen} \alpha \cos \phi = \frac{\Delta H_y}{H} \cdot \cos \phi$  por tanto la tangente del ángulo de inclinación (o del ángulo mismo, si éste es pequeño) resulta ser igual al tanto por uno de la parte real (en fase:  $\Delta H_y \cdot \cos \phi$ ) del campo secundario vertical ( $\Delta H_y$ ) respecto del campo primario H. Por otro lado, la expresión (2) nos dice que la excentricidad  $\epsilon$  representa el tanto por uno de la parte imaginaria (en cuadratura:  $\Delta H_y \cdot \operatorname{sen} \phi$ ) de la componente vertical ( $\Delta H_y$ ) del campo secundario respecto del primario.

Consecuentemente, el equipo V.L.F. Geonics EM 16 consta de dos bobinas receptoras: una bobina de señal de eje vertical y una bobina de referencia de eje horizontal. Cada bobina se sintoniza con la frecuencia primaria de la emisora que en cada caso se utiliza por medio de cristales moduladores intercambiables (el equipo viene con un juego de 6 cristales, uno por emisora). El modo de operación consta de los siguientes pasos:

1) Se sitúa la bobina de señal (mango del receptor EM 16) en un plano horizontal y se gira en dicho plano hasta encontrar la dirección punto de observación-antena (eje Z en la figura nº 2 (a)): en este momento el acoplamiento entre la bobina citada y el campo primario H es mínimo, pues ambos son perpendiculares. Este hecho lo detecta el operador en campo mediante el ruido que emite el micrófono que incorpora el receptor EM 16 -- (dirección de mínimo ruido).

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H} \operatorname{sen} \alpha \cdot \operatorname{sen} \phi \quad (2)$$

$$\theta = \operatorname{artg} \left( \frac{\Delta H}{H} \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \phi \right) \quad (3)$$

Obsérvese que tanto  $\epsilon$  como  $\theta$  dependen de  $\phi$ , que, a su vez, es función de las conductividades de la cobertera y el conductor, y de  $\alpha$ ; y que ambos cambian de signo cuando el perfil atraviesa el cuerpo conductor (figura nº 2 (d)).

Tras esta breve descripción teórica es fácil comprender el principio operativo del método V.L.F. En efecto (3) puede escribirse como:

$\operatorname{tg} \theta = \frac{\Delta H}{H} \operatorname{sen} \alpha \cos \phi = \frac{\Delta H_y}{H} \cdot \cos \phi$  por tanto la tangente del ángulo de inclinación (o del ángulo mismo, si éste es pequeño) resulta ser igual al tanto por uno de la parte real (en fase:  $\Delta H_y \cdot \cos \phi$ ) del campo secundario vertical ( $\Delta H_y$ ) respecto del campo primario H. Por otro lado, la expresión (2) nos dice que la excentricidad  $\epsilon$  representa el tanto por uno de la parte imaginaria (en cuadratura:  $\Delta H_y \cdot \operatorname{sen} \phi$ ) de la componente vertical ( $\Delta H_y$ ) del campo secundario respecto del primario.

Consecuentemente, el equipo V.L.F. Geonics EM 16 consta de dos bobinas receptoras: una bobina de señal de eje vertical y una bobina de referencia de eje horizontal. Cada bobina se sintoniza con la frecuencia primaria de la emisora que en cada caso se utiliza por medio de cristales moduladores intercambiables (el equipo viene con un juego de 6 cristales, uno por emisora). El modo de operación consta de los siguientes pasos:

1) Se sitúa la bobina de señal (mango del receptor EM 16) en un plano horizontal y se gira en dicho plano hasta encontrar la dirección punto de observación-antena (eje Z en la figura nº 2 (a)): en este momento el acoplamiento entre la bobina citada y el campo primario H es mínimo, pues ambos son perpendiculares. Este hecho lo detecta el operador en campo mediante el ruido que emite el micrófono que incorpora el receptor EM 16 -- (dirección de mínimo ruido).

2) A continuación se gira el instrumento  $90^\circ$  en el plano horizontal anterior, tras lo cual se pone el mango en posición vertical: en este momento la bobina de señal coincide con el eje Y de la figura nº 2 (b) y la de referencia con el eje X, es decir, si sitúan ambas bobinas (mutuamente perpendiculares) en el plano de recepción XY normal a la dirección de propagación Z. La bobina de referencia se encuentra en acoplamiento máximo con el campo primario H.

3) El operador proseguirá girando el instrumento en el plano XY alrededor del eje Z hasta que encuentre la posición de mínima señal (mínimo ruido): en este punto la bobina de señal se orienta según el eje menor de la elipse de polarización (figura nº 2 (c)). La primera lectura del receptor EM 16, es, pues, la tangente expresada en % del ángulo de inclinación de la bobina de señal (inclinación de la elipse de polarización  $\text{tg } \theta$ , que, como hemos visto, es una aproximación de la relación entre la parte real de la componente vertical del campo secundario respecto del primario).

4) Por último, el operador, manteniendo el instrumento en la posición (3), usará el "tornillo de cuadratura" que porta el equipo para minimizar, de nuevo, la señal acústica emitida por el receptor EM 16. A través de este ajuste, una fracción del voltaje de la bobina de referencia, tras ser desfasada  $90^\circ$ , sirve para compensar el voltaje de la bobina de señal. El tornillo mueve un dial de lectura del porcentaje de la señal de referencia en cuadratura usado en la compensación, proporcionando una media de la relación de señales en ambas bobinas receptoras, lo que, como se ha visto, constituye una aproximación de la relación de la parte imaginaria de la componente vertical del campo secundario respecto al campo primario horizontal.

En resumen, los perfiles V.L.F. registrados con el equipo EM 16 - representan las partes real e imaginaria en % (componente en fase y en cuadratura que denominaremos en adelante Z (%) y Q (%)) de la componente vertical del campo secundario en relación con el campo primario horizontal. Recuérdese que según las ecuaciones teóricas (2) y (3) ambas componentes cambian de signo (paso por cero) cuando el perfil atraviesa un cuerpo conductor.

Para concluir, aparte de su manejabilidad, escaso consumo y facilidad de operación, citemos algunas características de aplicación del EM 16:

- . Apreciable profundidad de penetración en zonas resistivas, que se ve limitada en zonas conductoras.
- . El uso de elevadas frecuencias proporciona factores de respuesta grandes, incluso en cuerpos de pequeñas dimensiones. Por la misma razón, conductores pobres/medianos tales como fallas, contactos, zonas alteradas, etc., normalmente producen anomalías V.L.F., lo que es útil en el apoyo del método a la cartografía geológica.
- . El método puede ser usado sin dificultad en zonas de elevado relieve, pero en este caso el campo primario deja de ser horizontal (tiende a propagarse según la normal a la pendiente del terreno), lo que produce el efecto general de aumentar la intensidad de las anomalías (hasta un 30 - 40%).

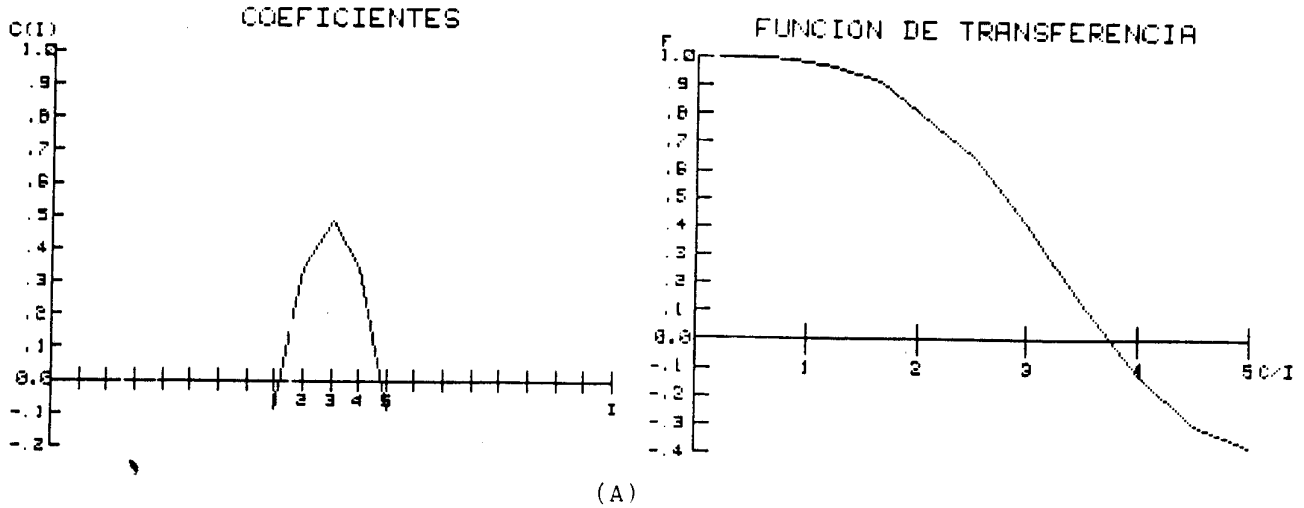
## 5.- TRATAMIENTO DE DATOS.

Para la eliminación de ruidos se efectuó un filtrado digital pasa baja de cada uno de los perfiles de magnético y V.L.F. Tras varios ensayos con distintos tipos de filtro se seleccionó uno de 5 coeficientes. Estos coeficientes junto con su función de transferencia y un ejemplo de perfil filtrado (el B campo magnético) aparecen en la figura nº 3. Los valores filtrados resultan, respectivamente, de la convolución del juego de coeficientes del filtro con los valores de campo magnético CG y las componentes en fase (Z%) y en cuadratura (Q%) del campo V.L.F. secundario vertical leídas sobre el terreno. Puede apreciarse que el filtrado es bastante suave como corresponde a la función de transferencia del filtro utilizado.

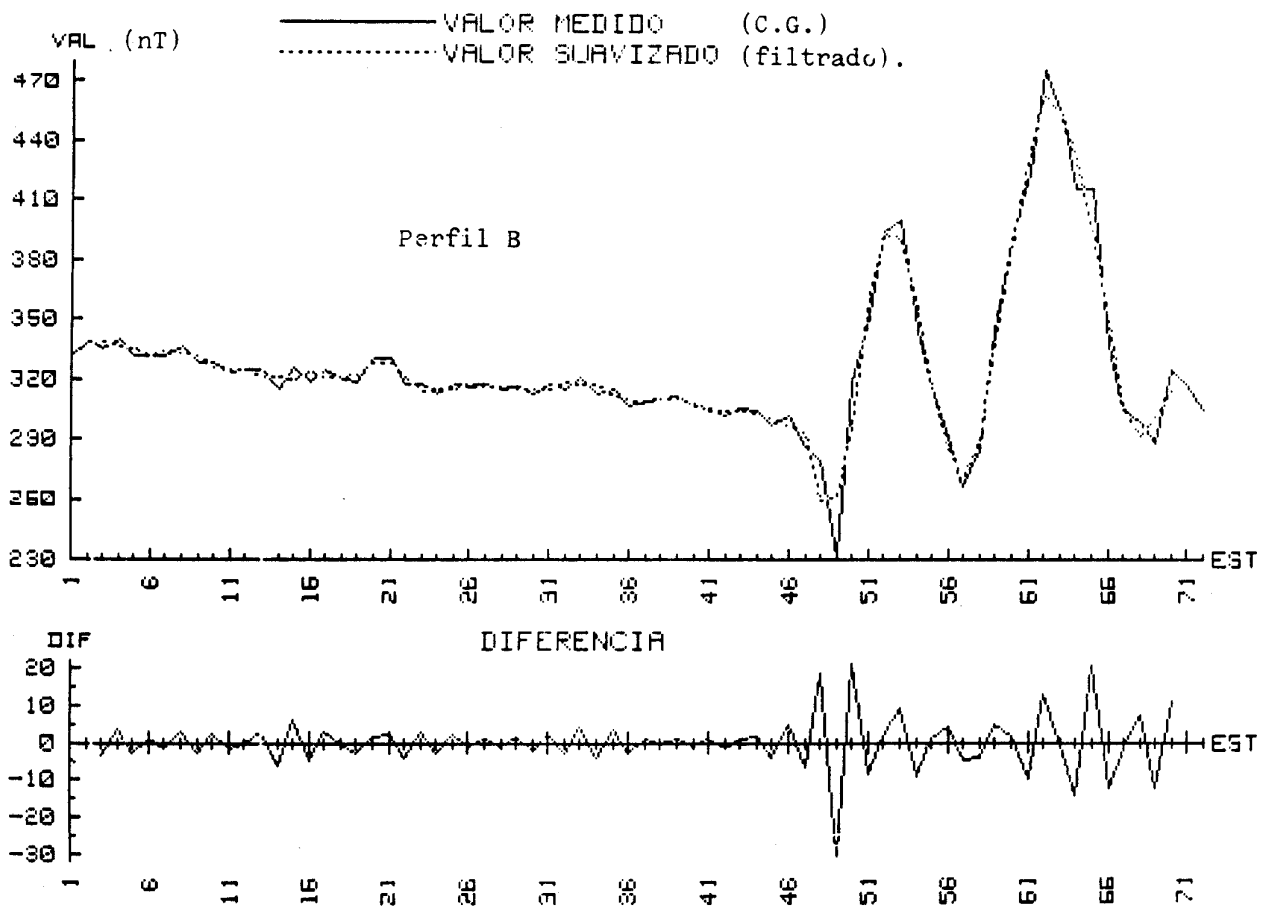
Obsérvese también que al filtrar se pierden las dos estacas finales de cada extremo de cada perfil, como se aprecia en los planos nº<sup>s</sup> 1, 2 y 3 que contienen los perfiles filtrados.

Se dispone de ficheros en disco magnético flexible con los datos y resultados del tratamiento descrito (ficheros "SANTOC" - perfil Np\$, estación Ne, coordenadas UTM X e Y, pendiente I, campo magnético CG, y componentes V.L.F. Z y Q- con 1.152 registros de 44 bytes y "SANTOF" - idéntico al anterior, pero con valores CG, Z y Q filtrados-).

NUMERO DE PUNTOS= 5 GRADO= 2



(A)



(B)

Figura nº 3. (A) Coeficientes y función de transferencia del filtro digital utilizado.

(B) Perfil B medido y filtrado. Campo magnético total en nT

(-43.000 nT).



## 6.- INTERPRETACION

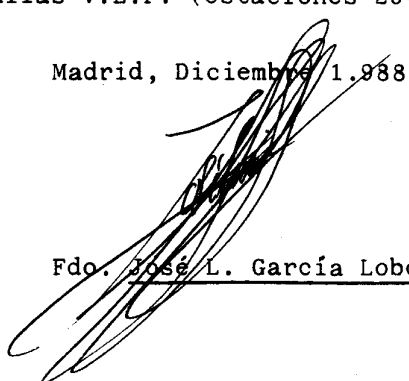
A la vista de los planos 1, 2 y 3 se han preparado las figuras nº<sup>S</sup> 4 y 5, que reúnen las anomalías de campo magnético y V.L.F. consideradas de mínima relevancia. Se han agrupado los perfiles en dos zonas que se denominan: "Sierra de los Santos" (figura nº 4: perfiles B a F) y "Usagre" (figura nº 5: perfiles G a I).

En ambas zonas los perfiles de campo magnético presentan un suave gradiente medio que sólo es roto apreciablemente por las anomalías del perfil B (estaciones 48 a 70) y del D (estaciones 3 a 15) (¿rocas volcánicas?). - Las anomalías magnéticas de los perfiles G, H e I son pequeñas oscilaciones de unos pocos nT explicables en buena parte por la presencia de ruidos culturales.

Por lo que respecta a los datos V.L.F., en los planos nº<sup>S</sup> 2 y 3 se han señalado los "cruces" (recuérdese lo dicho sobre los pasos por cero cuando se describió el método) que se han considerado significativos, bien por aproximarse a situaciones de anomalía según los modelos teóricos o bien por su consistencia lateral (entre perfiles). Estos cruces llevados a las figuras nº<sup>S</sup> 4 y 5 sugieren las "alineaciones" (¿fracturas, niveles calcáreo-exhlativos?) que se representan con línea de trazo en dichas figuras.

Refiriéndonos, por último, al perfil A, sus anomalías magnéticas (est. 30 a 80) deben relacionarse con el emplazamiento de una intrusión intermedio-básica que también es marcada por anomalías V.L.F. (estaciones 25-29 y 78).

Madrid, Diciembre 1. 1988.

  
Fdo. José L. García Lobón.

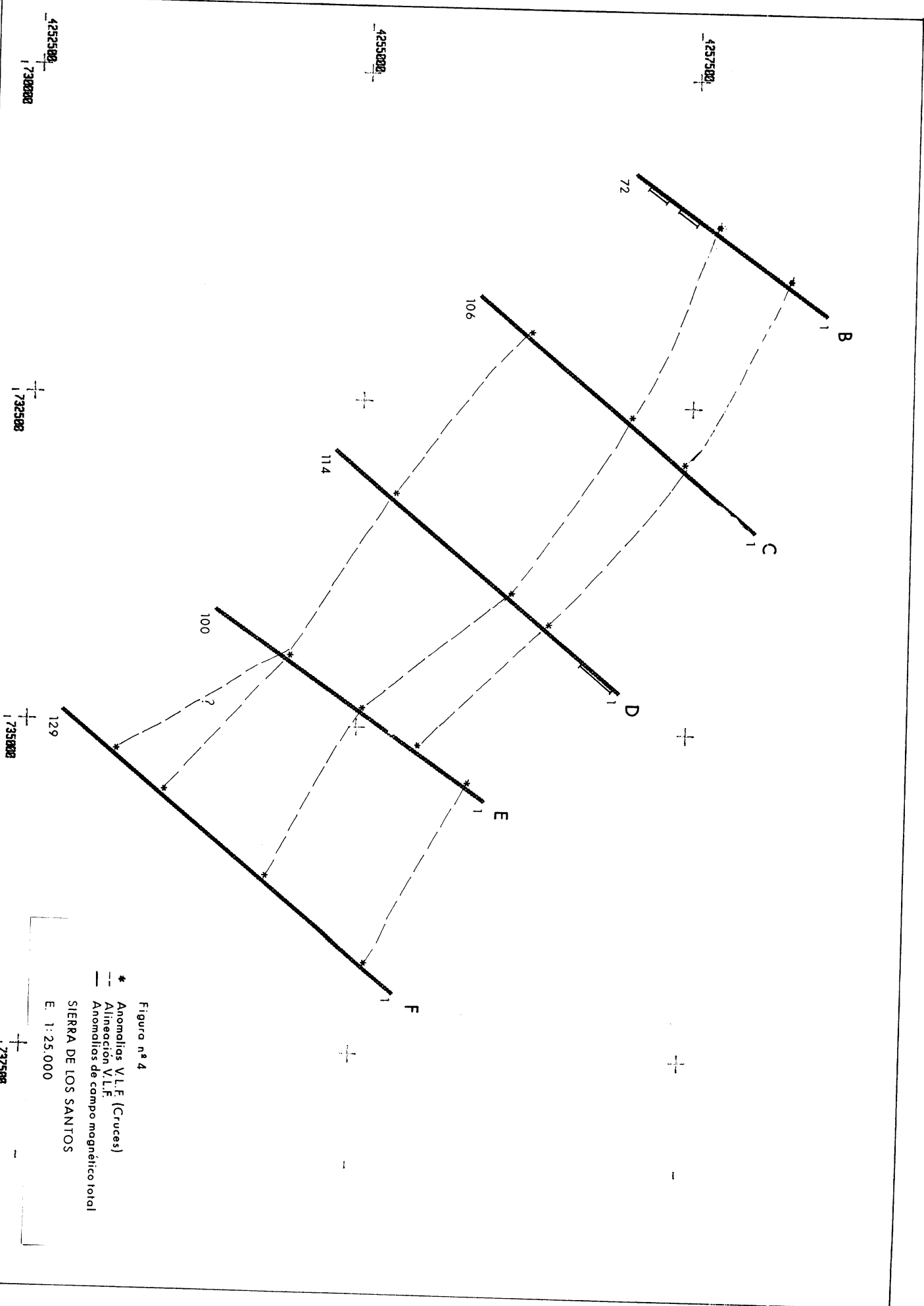


Figura n° 4

- \* Anomalías V.L.F. (Cruces)
- - - Alinación V.L.F.
- - - Anomalías de campo magnético total

SIERRA DE LOS SANTOS  
E. 1: 25.000

1730000

1732500

1735000

4252500

4255000

4257500

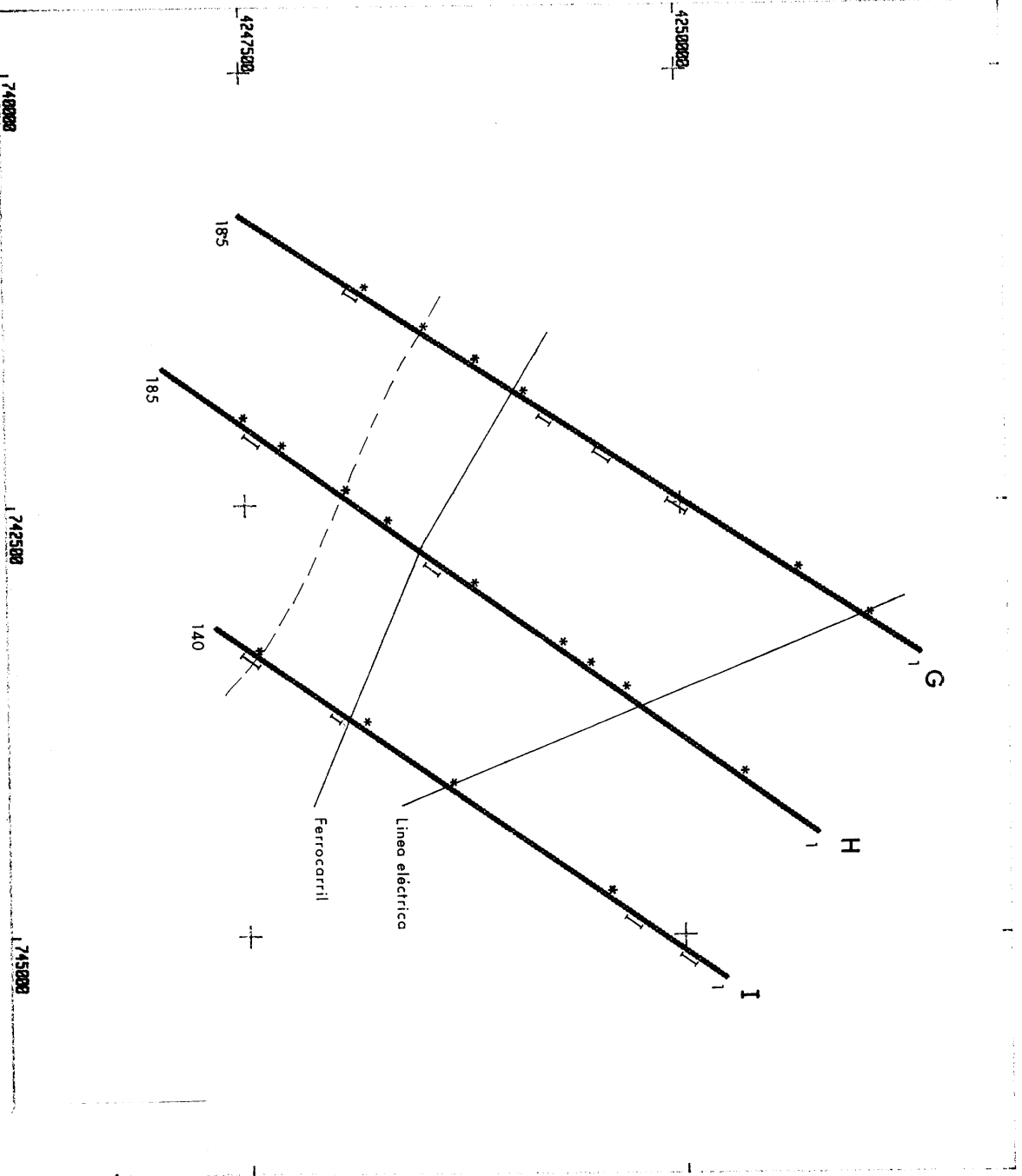


Figura nº 5  
 \* Anomalías V.L.F. (Cruces)  
 --- Alineación V.L.F.  
 + Anomalías de campo magnético total

ZONA DE USAGRE  
 E. 1:25.000

ANEXO N° 1.- RELACION DE COORDENADAS U.T.M. DE LAS ESTACIONES  
LEVANTADAS.

<u>ESTACION</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
A-1	724615	4259176
A-121	726554	4261511
B-1	731760	4258496
B-72	730721	4257037
C-1	733424	4257984
C-106	731679	4255875
D-1	734682	4256977
D-114	732889	4254806
E-1	735533	4255972
E-100	734128	4253922
F-1	737018	4255313
F-129	734930	4252777
G-1	743359	4251346
G-185	740829	4247490
H-1	744408	4250765
H-185	741710	4247035
I-1	745247	4250228
I-140	743213	4247328