

***OBTENCION DE PARAMETROS FISICOS DE LAS
ESTRUCTURAS PRINCIPALES LOCALIZADAS EN LA
CALDERA DE LOS HUMEROS, PUEBLA***

T. GONZALEZ-MORAN*
V. SURO-PEREZ**

(Recibido: 16 de abril, 1982)

(Aceptado: 15 de junio, 1982)

RESUMEN

En el número especial de *Geofísica Internacional*, Vol. 17, Núm. 4, dedicado a la zona geotérmica de Los Humeros, Puebla, los resultados obtenidos del trabajo de gravimetría de Mena y González-Morán (1977-78) no son compatibles con los proporcionados por Flores y otros (1977-78). Por este motivo se decidió analizar la información magnética, empleando transformadas de Hilbert para obtener la señal magnética reducida al polo y la señal analítica y aplicando, además, filtros de prolongación de campo armónico y técnicas de correlación entre la anomalía magnética reducida al polo y la primera derivada de la gravedad, para obtener nueva información sobre algunos parámetros de los cuerpos principales que se localizan en la Caldera de Los Humeros.

El análisis de los datos confirma la existencia de dos grandes cuerpos, someros, "de raíz profunda": uno, que correspondería a la estructura interna del volcán que dió origen a la Caldera de Los Humeros; y otro, al de una pequeña caldera de hundimiento conocida como la Calderita o Cerro Xalapazco, localizada en el interior de la misma Caldera de Los Humeros.

Los resultados obtenidos corroboran el análisis anterior dado por Mena y González-Morán (1977-78), eliminando la ambigüedad existente.

* *Instituto de Geofísica, UNAM.*

** *UACP Y P Del CCH, UNAM.*

ABSTRACT

In the special issue of Geofísica Internacional dedicated to the geothermal area of Los Humeros, Puebla, México (Vol. 17, No. 4) the results obtained from the gravimetry by Mena and González-Morán (1977-78) are in disagreement with those of Flores *et al.* (1977-78). Due to this fact it was decided to analyze the magnetic information by means of Hilbert transforms to obtain the magnetic signal reduced to the pole as well as the analytic signal. Harmonic field continuation filters and correlation techniques between the magnetic anomaly reduced to the pole and the first derivative of the gravity were applied. These procedures provide new information on the parameters of the main bodies located underneath Los Humeros Caldera.

Analysis of the data supports the existence of two large shallow bodies of "deep roots": one corresponding to the internal structure of the original volcano which gave origin to Los Humeros Caldera, and the second corresponding to the small caldera known as "La Calderita" or Cerro Xalapazco, located inside Los Humeros Caldera itself.

The results support the analysis given before by Mena and González-Morán (1977-78) thus eliminating the mentioned ambiguity.

INTRODUCCION

Muchas veces las señales observadas de campos geofísicos son complejas, efecto de la contribución de muchos cuerpos, dando como resultado una interpretación difícil y conduciendo, en ocasiones, a conclusiones erróneas, que pueden ser eliminadas mediante técnicas que posteriormente discutiremos.

En este trabajo se estudia, principalmente, una anomalía obtenida en un levantamiento aeromagnético, a 250 metros sobre la superficie de la Caldera de Los Humeros, Puebla, y, posteriormente, se establece una correlación entre la anomalía magnética y la gravimétrica, utilizando el teorema de Poisson.

En el número especial de la Revista Geofísica Internacional, Vol. 17, No. 4, dedicado a esta zona geotérmica, Mena y González-Morán (1977-78), del análisis de resultados del mapa de anomalías residuales gravimétricas, propusieron la existencia de un cuerpo intrusivo causante de un alto gravimétrico en el centro de la Caldera. Sin embargo, estos resultados no son compatibles con los reportados por Flores y otros (1977-78) que postulan la existencia de un gran cuerpo de alta magnetización y a mayor profundidad.

Debido a la diversidad y complejidad de las condiciones de la zona de Los Humeros, que ha presentado intensa actividad volcánica desde el Mioceno al reciente, se decidió utilizar diferentes métodos para dar soluciones a los problemas geológicos y detallar lo más posible el objetivo a resolver.

Es frecuente el uso de transformaciones de las señales originales con el fin de resaltar eventos de interés o eliminar otros. Los filtros de prolongación de campo armónico, segundas derivadas, etc., son algunos de los métodos normalmente usados.

Por otra parte, la técnica de correlación entre anomalías gravimétricas y magnéticas es de utilidad, siempre y cuando la fuente causante sea la misma. Esta correlación llega a ser una ayuda importante en la interpretación, permitiendo reducir la incertidumbre existente y pudiendo obtener algunas ideas cuantitativas acerca de los parámetros de los cuerpos causantes de la anomalía.

METODOLOGIA

Transformada de Hilbert

En general, la transformada de Hilbert puede considerarse como un filtro que mantiene la amplitud de una señal pero la desfasa en 90° . Este procedimiento matemático presenta su mayor efectividad cuando se trabaja con señales magnéticas de intensidad total, ya que permite obtener la componente vertical y horizontal de la misma, así como la señal reducida al polo.

La señal reducida al polo

Las señales magnéticas no ocurren directamente encima de los cuerpos que las producen, originando que el mapa magnético no muestre de manera explícita los detalles estructurales del área. Esta distorsión se debe a que el ángulo formado entre el vector del campo geomagnético no es vertical.

Se ha considerado en este estudio que el magnetismo remanente es poco significativo o no existe para los cuerpos estudiados. Tal consideración se fundamenta en la ausencia de mediciones magnéticas en muestras de pozos.

La señal reducida al polo logra definir los cuerpos principales, mostrando coincidencia con trabajos ya publicados (Mena y González-Morán, 1977-78; Alvarez, 1977-78; Flores *et al.*, 1977-78) y por tanto, ratificando la posición de ese cuerpo y mostrando la posible existencia de otros.

Correlación entre la anomalía magnética reducida al polo y la primera derivada de la anomalía gravimétrica

El fundamento físico para emplear esta técnica de correlación se basa en el hecho de que las propiedades de la corteza cristalina son consecuencia de su composición mineralógica.

Esta relación se expresa derivando el teorema de Poisson que relaciona los potenciales magnético y gravimétrico con respecto a la dirección vertical. Se puede representar este teorema como la ecuación de una recta

$$T_z = A + \frac{\Delta J}{\Delta \sigma G} \frac{\partial g_z}{\partial z} \quad (1)$$

cuya variable independiente es el gradiente de la anomalía gravimétrica ($\frac{\partial g_z}{\partial z}$) y como variable dependiente la señal magnética reducida al polo (T_z).

La pendiente de la recta (1) representa la relación entre los contrastes de magnetización (ΔJ) y de densidad ($\Delta \sigma$), normalizada por la constante de gravitación universal (G).

La técnica consiste en elegir una ventana, de acuerdo con el tipo de estructuras a determinar, y efectuar una regresión lineal con los datos. El valor del coeficiente de correlación, pendiente y término independiente son asignados al centro de la ventana.

El análisis de estos datos debe hacerse tomando como criterio selectivo aquellas regiones donde el coeficiente de correlación lineal en valor absoluto sea cercano o igual a uno, ya que esto garantiza el comportamiento de los datos en una relación lineal y satisface el teorema de Poisson (Chandler *et al.*, 1977; Kanasevich y Agarwall, 1970).

Discusión y resultados

Mena y González-Morán (1977-1978) propusieron un gradiente regional de 1.2 mgal/km en dirección N-S del mapa de anomalías completas de Bouguer, producto de las anomalías asociadas en el sistema orográfico de la Sierra Madre Oriental y del macizo granítico de Teziutlán, Puebla. Al restar este gradiente regional, el mapa residual obtenido por Mena y González-Morán (1977-78) define de manera adecuada los efectos individuales de las principales estructuras que forman la Caldera de Los Humeros.

En la parte central de la Figura 1, la línea de nivel cero delimita una anomalía negativa de forma elíptica que sugiere la existencia de un área de baja densidad, originada por la intersección de los dos grabens: Humeros y Oriental. Dentro de esta área es posible observar cuatro diferentes anomalías de forma anular. Nos ocuparemos sólo, de la localizada entre 19°36' a 19°47' N y 97°22' a 97°30' W, por ser esta zona la estudiada en este trabajo, que presenta un máximo relativo (19°42' N - 97°26' W), producto del intrusivo que constituye la base de la chimenea del volcán original que dió origen a la Caldera, y una serie de mínimos gravimétricos al sur de la Caldera, producto del vulcanismo secundario en la misma.

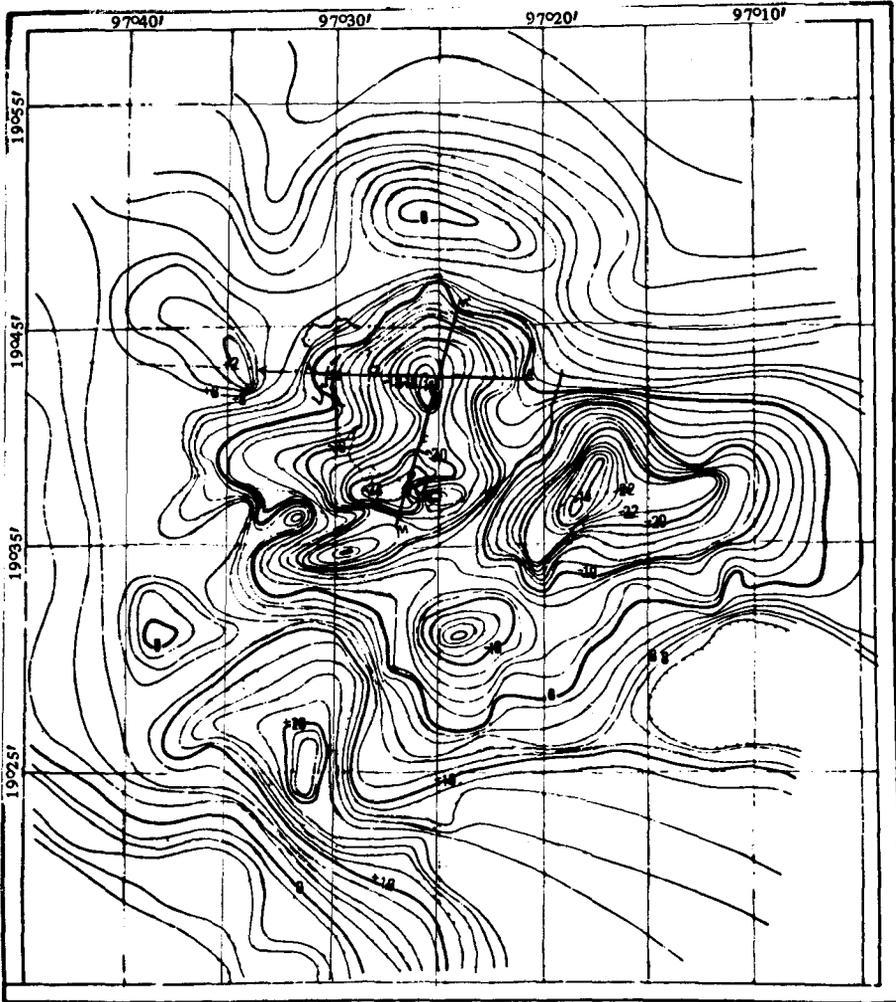


Fig. 1. Mapa de anomalías residuales gravimétricas con la ubicación de la señal aeromagnética (obtenido de Mena y González-Morán, 1977-78).

Un vuelo aeromagnético, a 250 m sobre la superficie, realizado a través de la Caldera, dio como resultado una anomalía dipolar. La señal magnética original es compleja, resultado del efecto de varios cuerpos: por lo que se eliminó la contribución de fuentes superficiales, empleando un filtro de prolongación de campo armónico un kilómetro hacia arriba. La Figura 2 muestra la señal aeromagnética original y la señal filtrada.

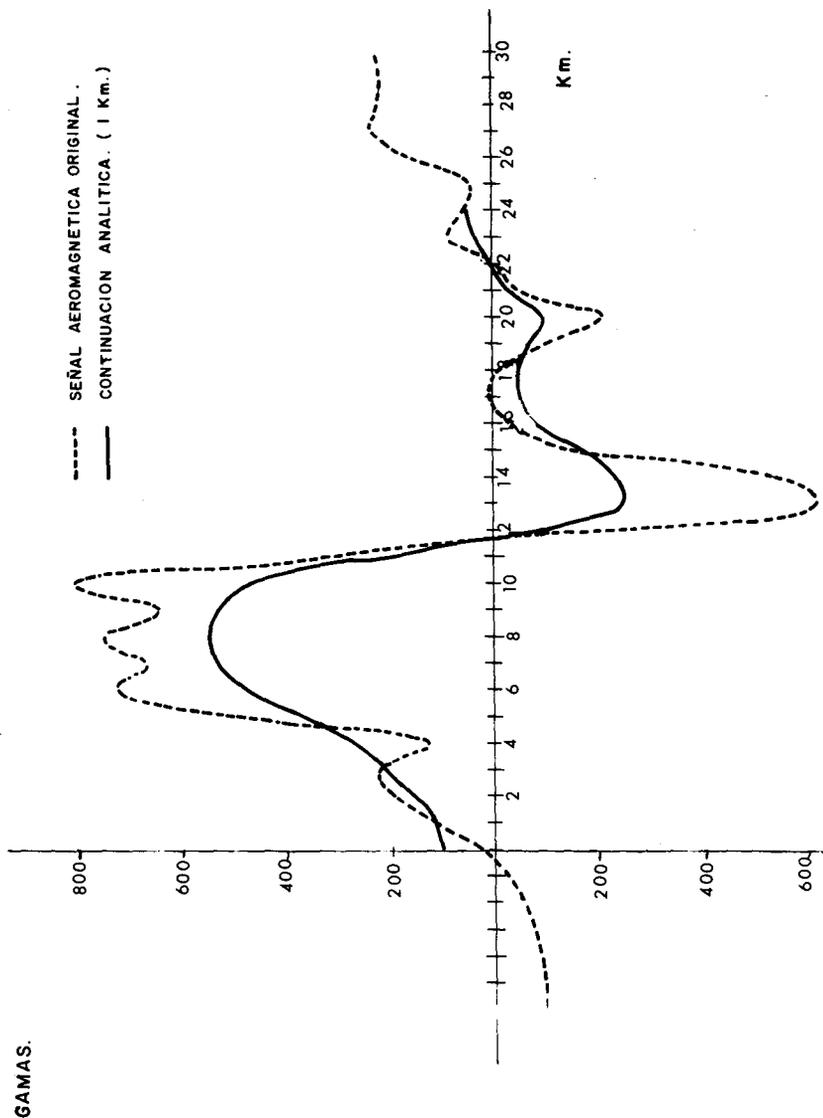


Fig. 2. Señal aeromagnética original y señal filtrada de un kilómetro hacia arriba.

A partir de estas señales, empleando transformadas de Hilbert, (Shuey, 1972; Nabighian, 1972; Suro, 1980) se obtuvieron las señales reducidas al polo de las mismas (Figura 3). Estas señales junto con la señal analítica (Figura 5) proporcionan buena información sobre algunos parámetros de los cuerpos involucrados.

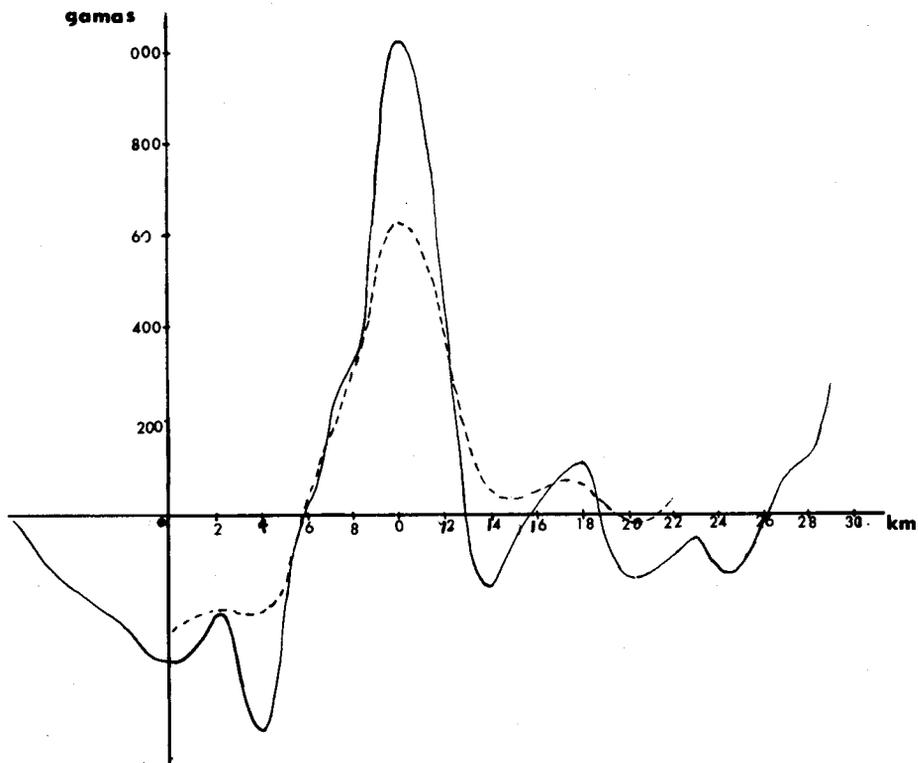


Fig. 3. Señales reducidas al polo.

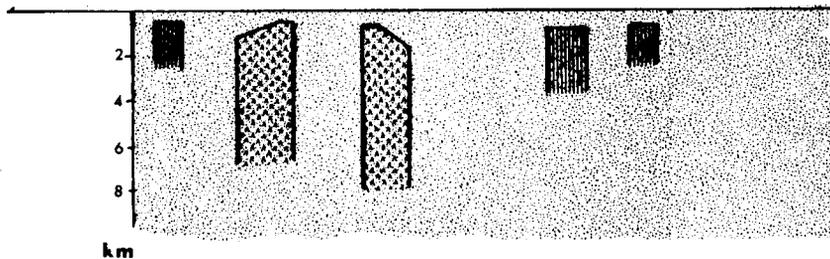


Fig. 4. Esquema con la ubicación estimada de las estructuras principales de la Caldera.

La señal aeromagnética original está formada por la contribución de varios cuerpos, pero dado que el efecto de algunos de ellos prácticamente es eliminado al prolongar la señal un kilómetro hacia arriba (Figura 2), nos concentraremos en el estudio del dipolo principal que está formado por dos elementos: uno, que correspondería al conducto que constituye la chimenea del antiguo volcán, y otro a una estructura similar, producto del vulcanismo secundario en la Caldera, perteneciente al Cerro Xalapazco o Calderita.

Ambos rasgos referidos anteriormente, se muestran en el análisis de la señal analítica (Figura 5) y las señales reducidas al polo (Figura 3) permitiendo ubicar la "estructura interna" del Cerro Xalapazco entre los 4.5 y 7 km de la sección y a una profundidad de 500 metros; y la otra localizada entre los 10 y 12 km y a una profundidad no mayor de 750 metros. Debe destacarse el hecho de que probablemente el origen de ambos cuerpos no sea el mismo (Yáñez, comunicación personal), lo que confirma la existencia de varios episodios tectónicos en el área. La Figura 4 muestra un esquema con la ubicación y dimensiones estimadas de las estructuras.

Además, mediante el teorema de Poisson se obtuvo la correlación entre la primera derivada de la gravedad (Figura 6) y la señal reducida al polo (Figura 3), en la suposición de que el tipo de roca que origina la anomalía gravimétrica es a su vez, por su contenido de magnetita, responsable de la anomalía magnética.

La Figura 7 muestra el coeficiente de correlación, intersección y pendiente obtenidos, utilizando una ventana de 200 metros con el fin de definir adecuadamente las estructuras de la región.

La magnitud de la relación ($\Delta J/\Delta\sigma$) entre los contrastes de susceptibilidad y densidad para las estructuras mencionadas es: .0067 unidades c.g.s. para la estructura que originó la Caldera y .003 unidades c.g.s. para la estructura del Cerro Xalapazco o Calderita.

CONCLUSIONES

La estructura interna del Cerro Xalapazco y la que subyace a la Caldera de Los Humeros han originado la anomalía bipolar principal mostrada en la Figura 2. Tal resultado se fundamenta en el análisis de la señal analítica (Figura 5) y la señal reducida al polo (Figura 3), confirmando la existencia de por lo menos dos elementos de dimensiones similares (Figura 4), que constituyen a la anomalía bipolar discutida.

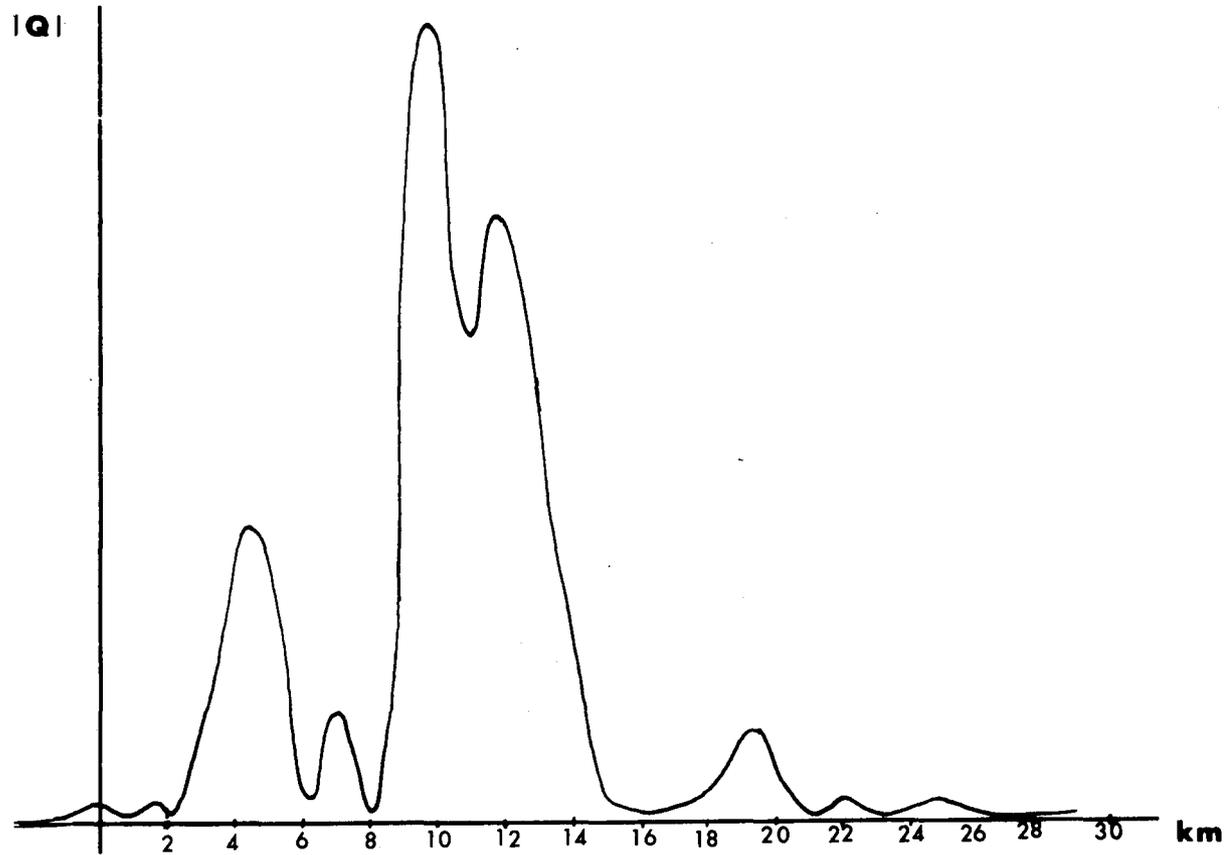


Fig. 5. Señal analítica de la señal original.

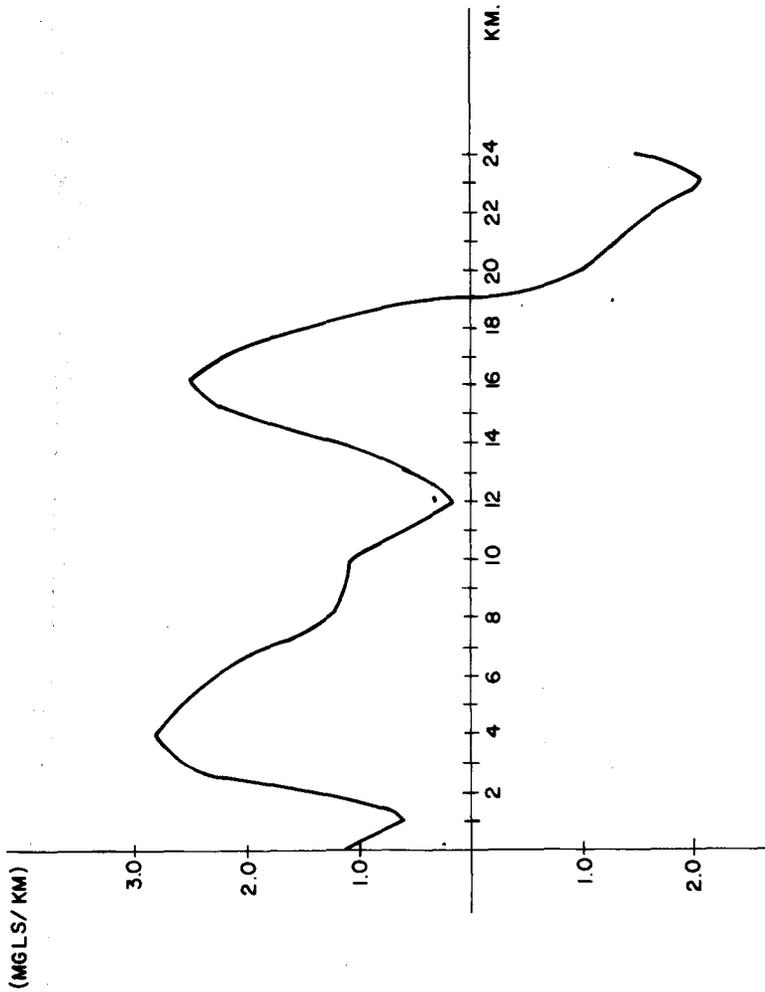


Fig. 6. Señal de primera derivada de la gravedad (1.25 km ↑).

Ambos cuerpos, de acuerdo con la relación calculada de $\Delta J/\Delta\sigma$ poseen características magnéticas diferentes. Esto es, si se considera un contraste de densidad similar para las estructuras o cuerpos considerados, la de la Caldera de Los Humeros resulta con una mayor magnetización en relación al Cerro Xalapazco. Por otra parte, los orígenes de ambas estructuras son diferentes (Yáñez, comunicación personal) perteneciendo la Calderita o Cerro Xalapazco a una etapa de vulcanismo secundario y posterior a la formación de la Caldera de Los Humeros.

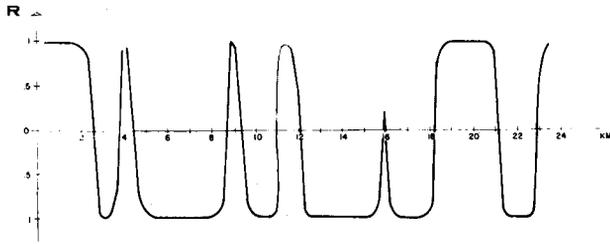


FIGURA - COEFICIENTE DE CORRELACION

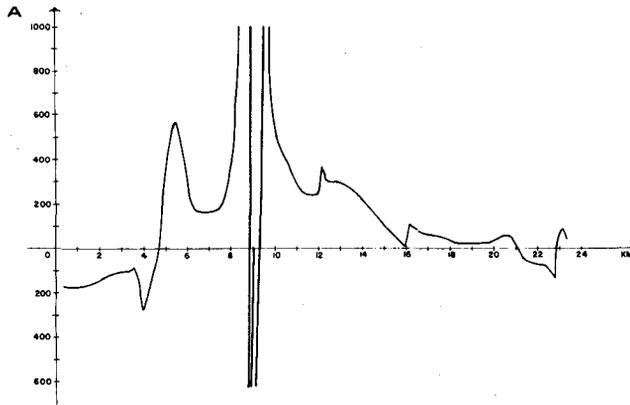


FIGURA - INTERSECCION

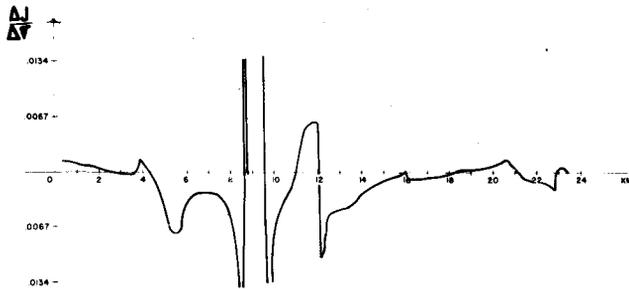


FIGURA - PENDIENTE (relación $\frac{\Delta J}{\Delta \sigma}$)

Fig. 7. Coeficientes de correlación (R), intersección (A) y pendiente ($\frac{\Delta J}{\Delta \sigma}$).

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, R., 1977-78. Telluric, Self Potential and Surface Temperature Profiles on Los Humeros Caldera. *Geof. Intern.*, 17, 4, 445-460.
- BARANOV, V., 1957. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudo gravimetric anomalies, *Geophysics*, 22, 359-383.
- 1975. Potential fields and their transformations in applied Geophysics, Geoexploration monographs.
- CHANDLER, W. V., S. J. KOSKI, W. L. BRAILE and J. W. HINZE, 1977. Utility of correlation techniques in gravity and magnetic interpretation. Final report of NASA. Contract No. NASS-22816.
- FLORES-LUNA, C., R. ALVAREZ, S. K. SINGH and J. URRUTIA, 1977-78. Aero-magnetic survey of Los Humeros Caldera, Mexico. *Geof. Intern.*, 17, 4, 430-445.
- KANASEWICH, E. R. and R. G. AGARWALL, 1970. Analysis of combined gravity and magnetic fields in the wave domain. *J. Geophys. Res.*, 75, 5702-5712.
- MENA, M. and T. GONZALEZ-MORAN, 1977-78. Regional Gravity of Los Humeros Caldera Volcanic Area. *Geofis. Intern.*, 17, 4, 416-429.
- NABIGHIAN, M. N., 1972. The analytical signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, 507-517.
- 1973. Additional comments on the analytical signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, 38, 85-92.
- SHUEY, R. T., 1972. Application of Hilbert transformation to magnetic profiles. *Geophysics*, 37, 1043-1045.
- SURO-PEREZ, V., 1980. Aplicaciones de la transformada de Hilbert a señales magnéticas. Tesis Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- YAÑEZ, C., 1981. Comunicación personal.