

NOTICE CONCERNING COPYRIGHT RESTRICTIONS

This document may contain copyrighted materials. These materials have been made available for use in research, teaching, and private study, but may not be used for any commercial purpose. Users may not otherwise copy, reproduce, retransmit, distribute, publish, commercially exploit or otherwise transfer any material.

The copyright law of the United States (Title 17, United States Code) governs the making of photocopies or other reproductions of copyrighted material.

Under certain conditions specified in the law, libraries and archives are authorized to furnish a photocopy or other reproduction. One of these specific conditions is that the photocopy or reproduction is not to be "used for any purpose other than private study, scholarship, or research." If a user makes a request for, or later uses, a photocopy or reproduction for purposes in excess of "fair use," that user may be liable for copyright infringement.

This institution reserves the right to refuse to accept a copying order if, in its judgment, fulfillment of the order would involve violation of copyright law.

LEVANTAMIENTO AEROMAGNETICO DEL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES, MICH.
VUELO BAJO

Por:

A. Razo Montiel*
G. H. García Estrada*
J. F. Arellano Guadarrama*
J. L. Guerrero Guadarrama*
H. Lira Herrera. Comisión Federal de Electricidad, Mexicali, B.C., Mex.
H. P. Ross**
P. K. Wright**

*Comisión Federal de Electricidad, Morelia, Mich., Mex.

**UURI, Salt Lake City, Utah

RESUMEN

El estudio aeromagnético efectuado en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich., México, se interpretó preliminarmente usando métodos cualitativos y digitales. Sus resultados permiten concluir que el control estructural más importante en el área se debe a los sistemas E-W, NW-SE, NE-SW y N-S en ese orden de importancia, siendo los dos primeros los que se asocian con la formación del yacimiento y los dos restantes con sus límites estructurales.

La actual zona de explotación forma parte de un área con bajo relieve magnético, pero con valores medios relativamente altos en comparación con los de sus inmediaciones. Este comportamiento se interpretó como producto de la presencia de una capa delgada (600 m) de material de baja susceptibilidad ($< .0005$ U.C.G.S.) (volcanismo ácido y alteración hidrotermal), que cubre a un bloque regional (7 km x 5 km) de mayor susceptibilidad, cuyas fronteras están controladas de modo general, por la intersección de los sistemas E-W y NW-SE.

A partir de un modelo preliminar de dos dimensiones del bloque de bajo relieve, se interpretó la presencia de una alternancia de cuerpos de alta y baja susceptibilidad, controlados por las fallas del sistema E-W. Algunas de las depresiones magnéticas modeladas se interpretaron como verdaderos grabens debido a su concordancia con la geología conocida (graben Agua Fría), sin embargo, en algunos casos la geometría de los bloques magnéticos resultó inconsistente, por lo que algunos bajos magnéticos producidos sobre horts conocidos se interpretaron como resultado de la desmagnetización debida al flujo de fluidos a través de las fallas del sistema E-W (Módulo Marítaro).

Desde el punto de vista regional se confirmó la presencia de un bajo magnético de dirección E-W que cruza la porción N del área estudiada. Su presencia se asocia con el sistema de fallas Acambay característico de esta porción de la Faja Volcánica Transmexicana. El límite sur de esta anomalía parece relacionado con la falla Agua Fría por lo que se le considera una de las de mayor importancia regional

1. INTRODUCCION

Formando parte del convenio establecido entre el Departamento de Energía de

los Estados Unidos de América (DOE) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el campo de Los Azufres, Mich., se llevaron a cabo dos levantamientos aeromagnéticos. Los objetivos planteados del trabajo se enfocaron a determinar la efectividad del método para definir la presencia de los sistemas estructurales y áreas de alteración hidrotermal, en el complejo volcánico de Los Azufres.

Como datos de apoyo a los levantamientos aeromagnéticos se recolectaron datos de susceptibilidad magnética de las unidades geológicas aflorantes (Campos y Abad, 1988) y se llevó a cabo el registro de las variaciones del campo terrestre (Campos y Herrera, 1988)

2. ADQUISICION DE DATOS

Los levantamientos aeromagnéticos pueden clasificarse como de detalle (Vuelo Bajo) y regional (Vuelo Alto). El reconocimiento de detalle se llevó a cabo sobre la zona conocida del campo de Los Azufres, utilizando un helicóptero tipo Llama. El área cubierta fue de 96 km², en los cuales se registró información a lo largo de aproximadamente 527 km lineales; el espaciamiento promedio entre las líneas es de 0.2 km, teniendo una orientación noroeste-sureste y una altura sobre el perfil del terreno de alrededor de 150 m. El equipo utilizado se constituyó por un magnetómetro de protón Mca. Geometrix, modelo G-803; un altímetro de radar Mca. Bonzar Mark 10x; una cámara de TV Panasonic; y una video grabadora de cassette VHS marca Panasonic. Los registros magnéticos y de altitud fueron grabados en forma analógica y digital.

Respecto al reconocimiento regional, vuelo alto, se cubrió una zona de aproximadamente 1500 km², teniendo como área central al campo de Los Azufres. Los datos se recolectaron en líneas orientadas norte-sur a lo largo de 1590 km lineales, manteniendo una altura de vuelo del orden de 3,444 m (11300 ft); exceptuando la parte correspondiente a la prominencia volcánica de San Andrés, donde la altura se incrementó a los 3810 m (12500 ft) aproximadamente. Para este reconocimiento se utilizó un avión tipo Cherokee y el mismo equipo de registro del vuelo bajo. Algunos factores, como la nubosidad, produjeron problemas en la navegación, dando como resultado que no se lograra una cobertura uniforme en el área.

Ambos vuelos fueron realizados en mayo de 1988, participando en el registro de la información cuatro personas, incluyendo al piloto, navegante, operador del magnetómetro y el operador del sistema de video grabación.

A la par, se llevó a cabo un muestreo de susceptibilidad magnética de las unidades geológicas del campo de Los Azufres en 23 sitios; haciéndose una clasificación por sitio, tipo genérico de roca, subtipo y unidad geocronológica correspondiente; para ello, se utilizó un equipo Mca. Bison, modelo 3110A. Los valores más altos reportados corresponden a la unidad de andesitas en bloque, siguiéndoles la Dacita San Andrés, las tobas, y finalmente las unidades riolíticas. El propósito de este muestreo fue el de obtener parámetros útiles en la interpretación cuantitativa de las anomalías magnéticas de campo total, y en particular para limitar el proceso de inversión de ellas.

También se desarrolló el "Monitoreo de las Variaciones del Campo Magnético Terrestre", por medio de una Estación Base Magnética, Mca. Scintrex, modelo MBS-2 en el período comprendido del 19 de abril al 26 de mayo de 1988. Las variaciones, se estima, tienen una distribución normal, cuyo máximo oscila alrededor de las 42,740 gammas. El objetivo de este trabajo es considerar dichas fluctuaciones para efectuar la corrección correspondiente a los datos registrados en ambos vuelos aeromagnéticos; principalmente al vuelo bajo, ya que en el período de registro de éste, se presentaron variaciones importantes.

3. PROCESADO DE DATOS

La recuperación de la trayectoria de las líneas de vuelo se efectuó mediante la utilización de los videocassettes de registro VHS para localizar puntos identificables sobre el fotomosaico, en el caso del vuelo bajo y mapas topográficos en el vuelo alto. En ambos casos la existencia de zonas boscosas limitó la recuperación total de los puntos de control.

Respecto al vuelo bajo, se construyó un plano de anomalías magnéticas residuales, al cual se le aplicó la corrección diurna en cada línea de vuelo; además de que se le sustrajo un nivel de referencia de 42,740 gammas. El intervalo de la configuración se presenta cada 20 gammas y la escala del plano es 1:10,000.

Para llevar a cabo la etapa de interpretación cualitativa del plano aeromagnético de vuelo bajo se conjuntó la información geológica y geofísica conocida, constituida básicamente por: litología y

sistemas estructurales (De la Cruz et al., 1982), muestreo de susceptibilidades, datos paleomagnéticos, gravimetría y magnetometría terrestre. Para ello se vertió parte de esta información en copias del plano aeromagnético y se realizó el coloreado del mismo, simulando un plano pseudoaltimétrico. Posteriormente, se hizo un análisis visual de tendencias lineales y de estilos magnéticos, y se identificaron las escasas anomalías dipolares evidentes con posibilidad de corresponder a cuerpos aislados con magnetización inducida.

Al término de esta etapa se hizo evidente la necesidad de efectuar un estudio del plano con el apoyo de procesamientos por computadora, ya que la escasez de relieve en la zona de hidrotermalismo superficial, la abundancia de altas frecuencias al E de ella, la presencia de efectos debido a variación en la altura de vuelo, además de los efectos de remanencia magnética y superposición, limitaron las posibilidades de éxito de la interpretación por cuerpos planteada inicialmente. La decisión de realizar este procesamiento se tomó, no obstante que se considera que las imprecisiones y limitantes sufridas en la conformación del plano, invalidan parcialmente la aplicación de algunos procesos convencionales. Con el fin de aminorar estas dificultades se adoptó el criterio de considerar que los resultados que se obtengan serán puramente indicativos y se enfocarán a la interpretación de los rasgos más generales.

Para la ejecución de esta etapa se procedió a digitalizar manualmente el plano aeromagnético, que fue muestreado usando una malla con celdas cuadradas de 250 m por lado.

La configuración automática de estos datos (Fig. 1) permitió comprobar que a pesar de la pérdida de algunos rasgos de alta frecuencia, la mayoría de las anomalías, incluso las pequeñas, persistieron, por lo que su utilidad para una interpretación global quedó asegurada. Con el fin de ubicar con mayor precisión los cuerpos con magnetización inducida se hizo una pseudo-reducción al polo (Fig. 2) que preservó los rasgos regionales más importantes, produciendo ligeros desplazamientos y realizando el alineamiento E-W al N del área de estudio.

Para producir un mayor suavizamiento de la información original, se aplicó un filtro de continuación ascendente a una altura de una celda (250 m) sobre la altura nominal del vuelo (Fig. 3). Este procesamiento dió como resultado un plano que se interpretó como producto de un filtro pasabajas de forma exponencial descendente con la frecuencia, más no como una verdadera continuación de campo, debido a las imprecisiones en la altura de vuelo.

En este plano se observan con mayor claridad las tendencias E-W del sector norte, NW-SE del suroeste; NE-SW de la parte centro oriental; y N-S en las centro occidental y suroriental. Adicionalmente, se observa que la zona de mayor interés geotérmico y no sólo la de alteración quedan comprendidas dentro de una región de bajo relieve magnético con valores positivos, rodeada por mínimos relativos de mayor relieve.

Adicionalmente se hicieron otros procesos, como la segunda derivada vertical del plano suavizado y la aplicación de un filtro exponencial creciente (continuación descendente) de la reducción al polo, sin embargo, en ninguno de éstos se obtuvieron los resultados esperados, pues se realzaron excesivamente las altas frecuencias, además de que su interpretación como segunda derivada vertical y continuación descendente se hizo más cuestionable.

Con base en estos resultados se decidió modelar bidimensionalmente un perfil regional N-S situado cerca de la parte media del área (Fig. 4), utilizando para ello los datos de la configuración original (Fig. 1).

4. INTERPRETACION PRELIMINAR - VUELO BAJO

Básicamente el plano original muestra la existencia de dos tendencias globales bien definidas, una con orientación E-W, que predomina en el sector norte y otra NW-SE predominante en el S y W del área. Adicionalmente, puede mencionarse otra de menor importancia, con orientación casi N-S, que aparece en el sector oriental. La primera y la última corresponden a orientaciones asociadas a los sistemas estructurales observables en la superficie, en tanto que la NW-SE parece ser de mayor envergadura y coincide con la tendencia observable en el plano gravimétrico regional.

Superpuestos en estos rasgos globales, existe gran cantidad de anomalías que aparecen en la mayor parte del plano, debidas a fenómenos locales, excepto en la zona de hidrotermalismo superficial, en donde el relieve magnético es escaso, pero oscilando en torno a valores similares a las del resto del área.

Aparentemente la superposición de anomalías y la existencia de magnetismo remanente es la regla más que la excepción, limitando la utilidad del modelado con cuerpos aislados. Adicionalmente, los valores de susceptibilidad superficiales dados por estación parece carecer de importancia para la explicación de las intensidades magnéticas y sería recomendable analizar los promedios por tipo litológico y tomar en cuenta el área superficial cubierta por cada uno.

A) Modelado Prelimina (Fig. 4)

Por las dificultades en el uso de los datos de susceptibilidad superficial medida, se modeló utilizando un solo contraste de susceptibilidad de .0015 U.C.G.S., entendiéndose que la geometría resultante es sólo indicativa.

Al respecto, es notoria la presencia de una depresión magnética entre las fallas San Alejo y Agua Fria, coincidiendo con el graben del mismo nombre. Esta respuesta puede deberse tanto al alejamiento físico de los cuerpos magnéticos a causa de las estructuras que la flanquean, como a la presencia de desmagnetización por hidrotermalismo.

Hacia el N se modeló con otras dos depresiones magnéticas cuya geometría no es compatible con la disposición geométrica de las fallas superficiales. La primera de ellas se ubica entre el horst formado por las fallas El Chino y La Cumbre, por lo que su origen probable es la desmagnetización del bloque a causa de hidrotermalismo a lo largo del sistema de fallas E-W.

Más al N, se modela una depresión cuyo límite sur se ubica en las inmediaciones de la falla Los Coyotes, con caída al sur. Este rasgo magnético es el más conspicuo de toda el área y parece asociado al control estructural regional, pues su geometría tampoco es compatible con las estructuras locales de superficie y con menor probabilidad podría deberse al hidrotermalismo.

Con el apoyo de estudios magnéticos previos, se concluye que la mitad N del área de estudio corresponde a una depresión magnética regional controlada por el sistema Acambay, que se prolonga hacia el E con orientación E-W y hacia el W con orientación WSW-ESE. (Falla Queréndaro) Dentro del campo su orientación es E-W y su límite sur está constituido por la falla Agua Fria, sin duda alguna la falla más importante de toda el área, al menos desde el punto de vista magnético regional. Localmente, por efectos de menor escala, el predominio del sistema E-W sólo se hace evidente en torno a la falla Marítaro, por lo que se considera la siguiente en orden de importancia.

B) Correlación Geológica

No se observa una correlación detallada entre las diversas unidades litológicas y los contornos magnéticos, excepto que en las áreas de mayor susceptibilidad (andesitas y dacitas) el relieve es mucho más irregular que en las cubiertas por tobas, riolitas y rocas alteradas, no obstante que el valor absoluto del campo es aproximadamente el mismo.

Algunas fallas conocidas son observables en el plano aeromagnético, por situarse a lo largo de zonas de alto gradiente (Marítaro) o exhibir alineamientos de anomalías, sin embargo, la mayoría sería difícil de identificar basándose sólo en la información magnética. Adicionalmente, el plano muestra una tendencial E-W al N del área y la NW-SE ya mencionada, sin evidencia superficial de fallamiento. La presencia de esta última sería el mayor aporte del estudio al conocimiento de Los Azufres al menos durante esta etapa de interpretación cualitativa.

En el plano original, el área de pozos, fuera de la zona alterada, muestra gran cantidad de anomalías de alta frecuencia pero carece de rasgos distintivos evidentes que la identifiquen como la de mayor interés. En el plano filtrado digitalmente, toda la zona de producción presenta poco relieve y se ubica en un alto magnético de mayor escala (Fig. 3).

5. CONCLUSIONES

A) Vuelo Bajo

Con base en la interpretación cualitativa, el vuelo bajo es sólo parcialmente exitoso para reflejar las características geológicas detalladas conocidas en Los Azufres, pero aporta indicios de índole regional que arrojan información nueva y permiten hacer hipótesis para trabajos posteriores. La más importante sería la posible relación del complejo volcánico de Los Azufres con la intersección de un sistema estructural regional NW-SE (Basin and Range?) con el E-W más reciente. Asimismo, se plantea la hipótesis de que la alteración hidrotermal observable en superficie corresponda a un fenómeno restringido efectivamente a las unidades más someras y que disminuya notablemente a profundidad.

Por otra parte, con apoyo del procesamiento digital fue posible hacer evidentes algunos comportamientos regionales, que estando presentes en la información original, son oscurecidos por la abundante presencia de anomalías de menor escala. En particular, la existencia de tendencias NE-SW al E del campo; la total coincidencia de la información filtrada, con estudios magnéticos previos de índole regional, así como la presencia de una zona de bajo relieve magnético en toda el área de mayor interés geotérmico y no sólo en la de alteración superficial. Adicionalmente, es posible aventurar la hipótesis de que el bloque de interés geotérmico se encuentre regionalmente formando parte de un bloque magnético controlado por los sistemas E-W al norte, NE-SW al oriente y NW-SE al occidente y al sur. Este comportamiento podría asociarse con el macizo andesítico cuya existencia ha sido postulada por algunos autores (Carduño, 1987).

Por lo que respecta a la interpretación de las anomalías de alta frecuencia dentro de la zona de explotación, ésta sólo se recomienda en localidades en las que se disponga de mayor información sobre susceptibilidad y mineralogía de la columna litológica. Este tipo de análisis sería el que podría aportar información de apoyo para la ubicación de pozos geotérmicos.

El estudio aeromagnético, bajo el estado actual de procesamiento, aporta básicamente información regional sobre las tendencias estructurales y zonas de alteración hidrotermal y poca sobre la litología, en tanto que es sólo parcialmente exitoso en el estudio de fallas locales.

Al parecer el basamento magnético no corresponde con la cima de las andesitas microlíticas sino con horizontes que dentro de esta unidad presenten valores de susceptibilidad más elevados.

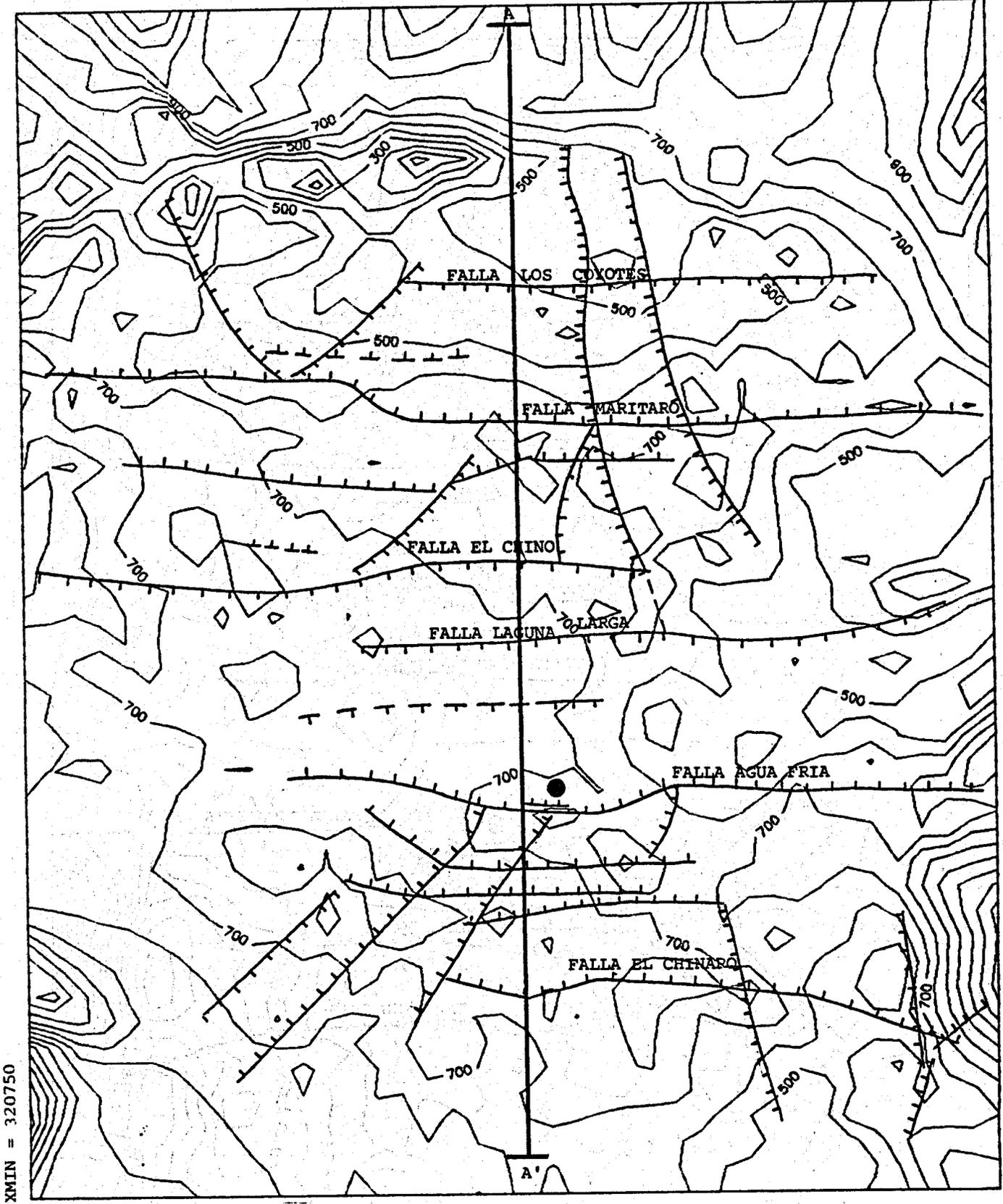
Con los datos disponibles no se encontraron evidencias de la existencia de una estructura de caldera en Los Azufres.

REFERENCIAS

- CAIPOS, E., J.O. y ABAD, A., 1983. Levantamiento de Susceptibilidad Magnética en el Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich. Reporte Interno GF 4/88, Comisión Federal de Electricidad, Morelia, México.
- CAIPOS, E., J.O. y HERRERA B., F., 1988. Variación Diurna del Campo Magnético Terrestre en el Área del Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich., Reporte Interno GF 6/83, Comisión Federal de Electricidad, Morelia, México.
- DE LA CRUZ, M., V., AGUILAR S., J., ORTEGA G., D. y SANDOVAL S., J.M., 1982. Estudio Geológico Estructural a Detalle del Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich., Informe Interno 9/82, Comisión Federal de Electricidad, Morelia, México.
- CARDUÑO, M., V.E., 1987. Estudio Geológico Regional para Conocer las Características de las Rocas del Basamento del Campo Geotérmico de Los Azufres, Informe 20/87, Gerencia de Proyectos Geotermoelectrónicos, Comisión Federal de Electricidad, México.

YMAX = 2196750

XMAX = 330500



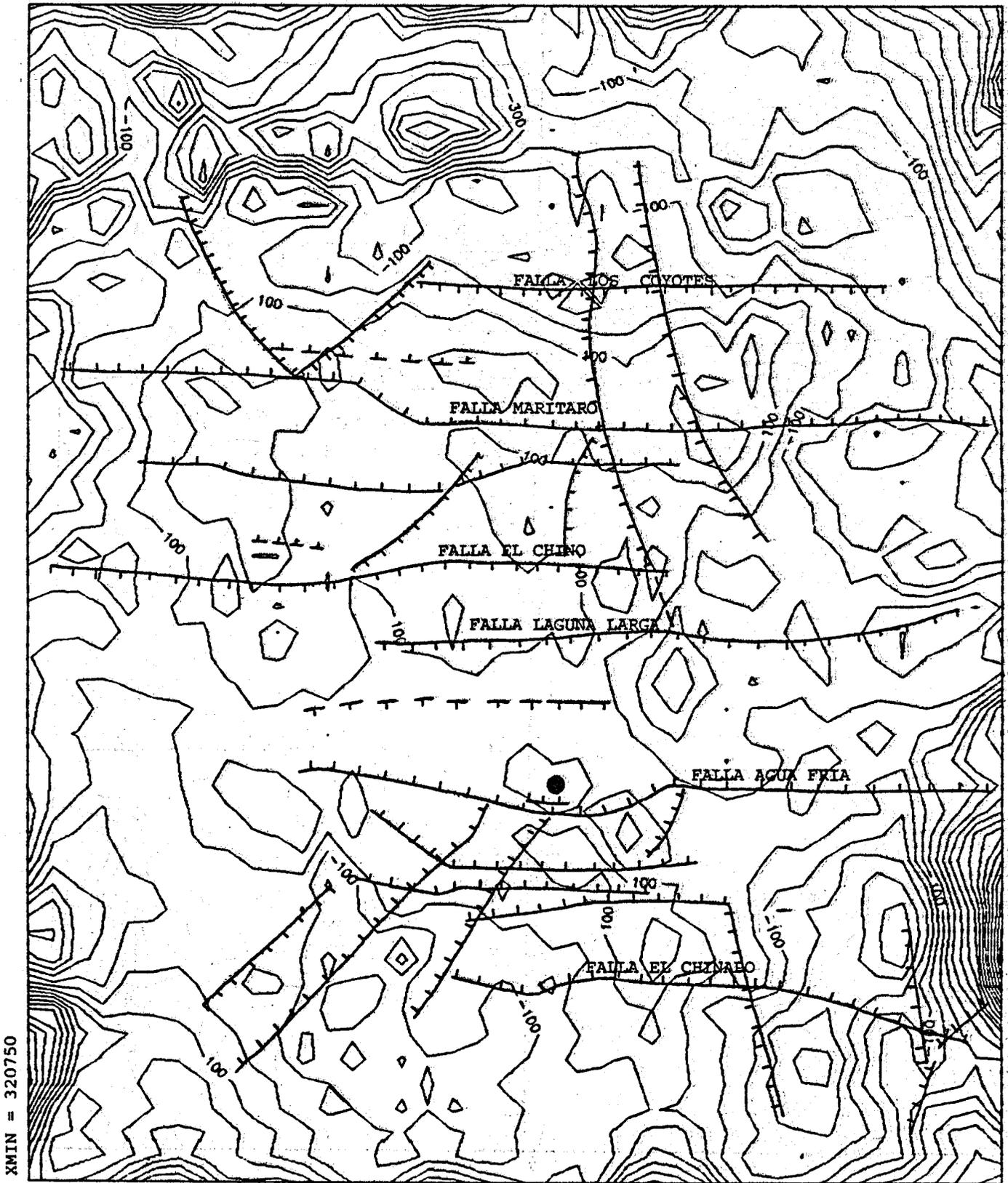
XMIN = 320750

YMIN = 2185000

FIGURA 1. Campo Magnético Total, Los Azufres, Mich. (- 42740 gammas)
 — Perfil A-A', ~ 80~ contornos en gammas, - - - falla, ● Campamento Agua Fria, coordenadas UTM, altura media de vuelo 150 m.
 Escala Gráfica 0 .5 1 km

YMAX = 2196750

XMAX = 330500

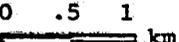


XMIN = 320750

YMIN = 2185000

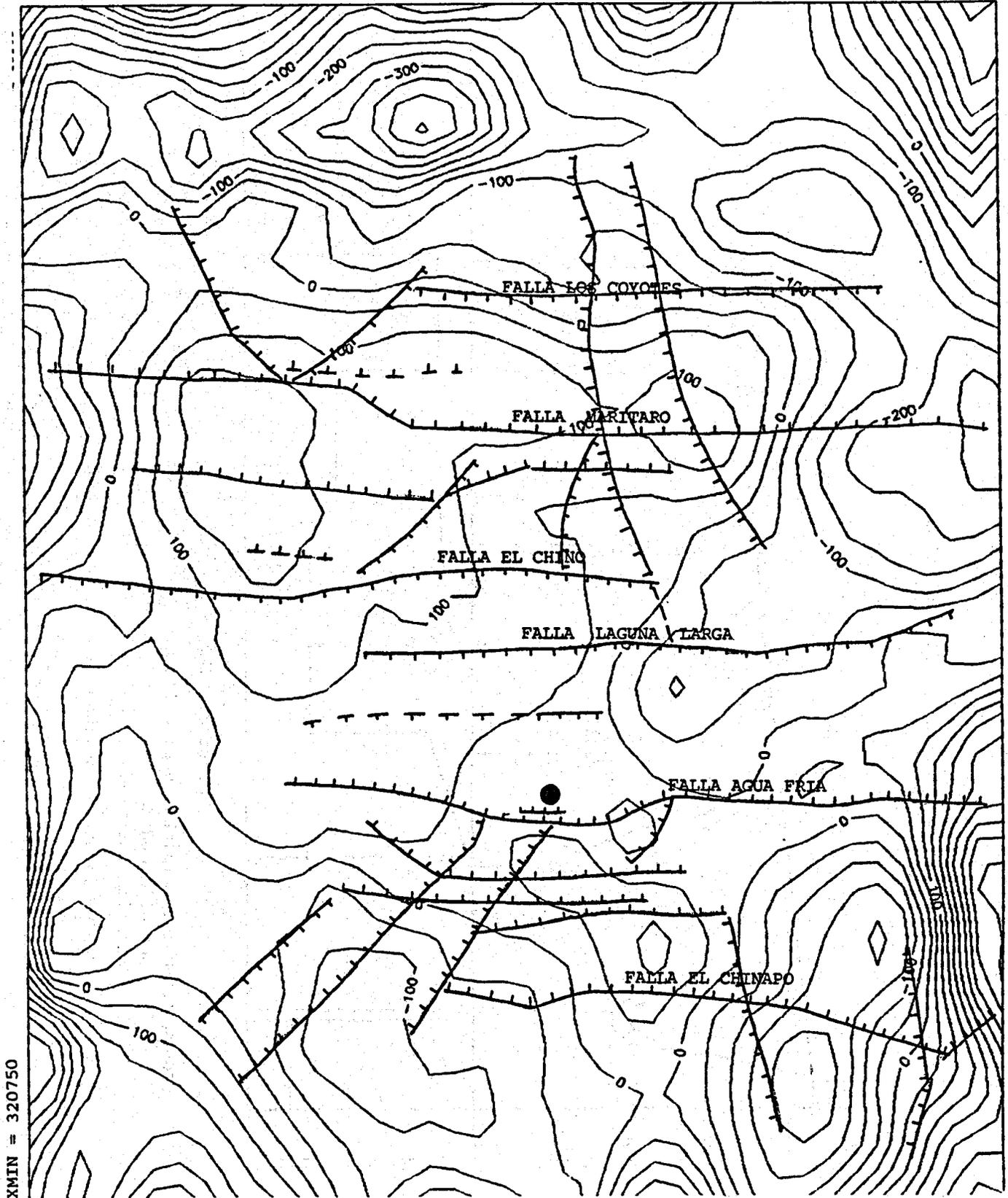
FIGURA 2. Reducción al Polo del Campo Magnético, Los Azufres, Mich.

100 contornos en gammas, --- falla, ● Campamento Agua Fria, coordenadas -

UTM 0 .5 1
Escala Gráfica  km

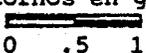
YMAX = 2196750

XMAX = 330500



YMIN = 2185000

FIGURA 3. Continuación Ascendente a 250 m de la Reducción al Polo, Los Azufres, Mich.

— 500 — contornos en gammas, ——— falla, ● Campamento Agua Fria, coordenadas UTM
 Escala Gráfica  km

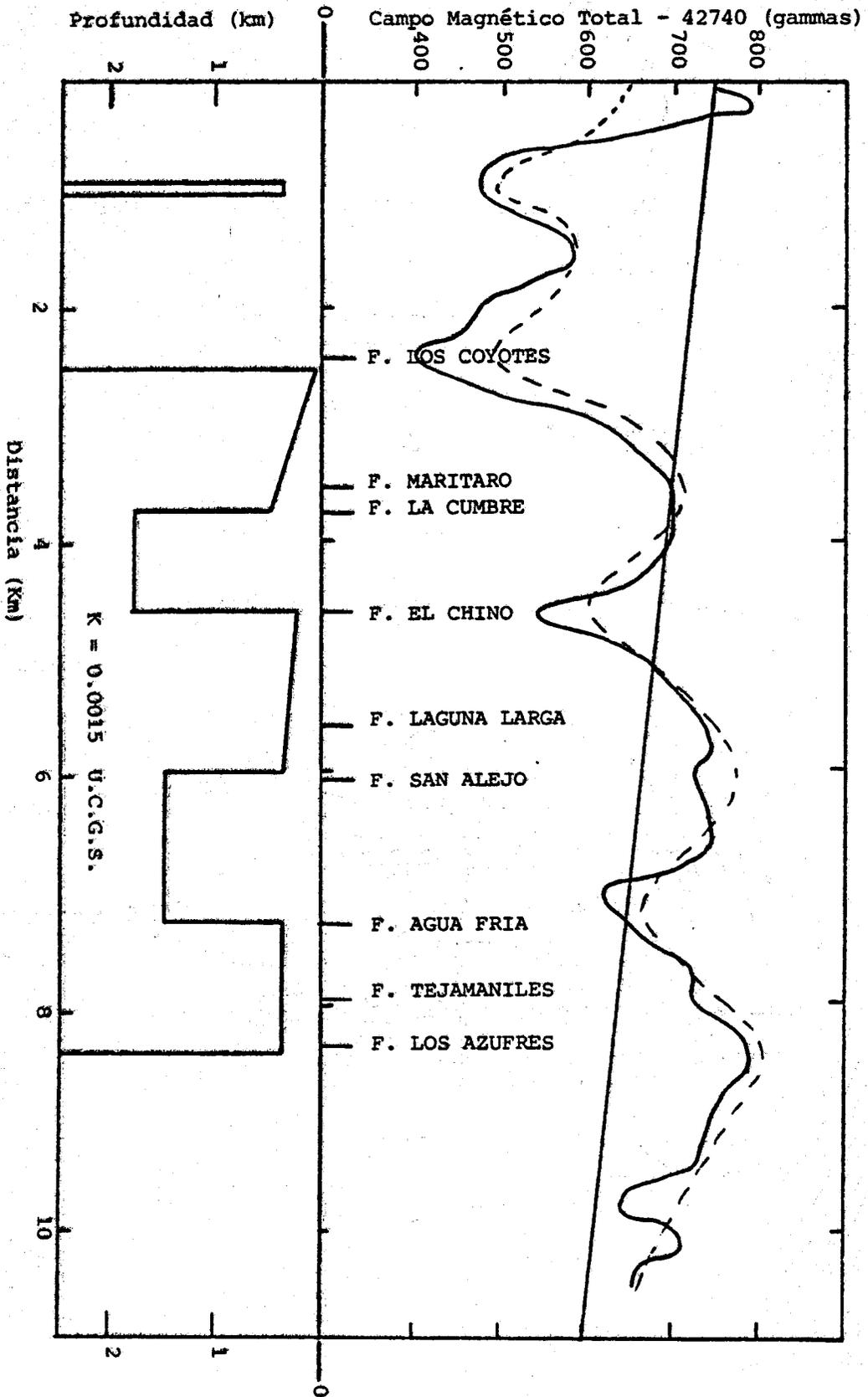


FIGURA 4. Modelo Bidimensional del Campo Magnético Total en el perfil AA' (Fig. 1)

Anomalía medida

Anomalía calculada

Cuerpo interpretado (base a 3 km de profundidad)

A

A'

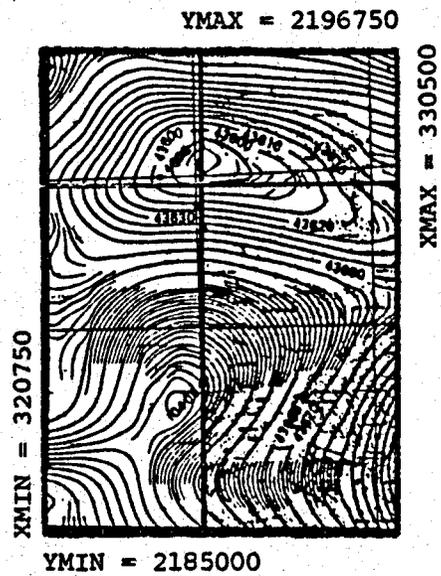


FIGURA 5. Campo Magnético Total a 3000 - 4000 msnm, Los Azufres, Mich. contornos en gammas.