



# CONSULTORES Y CONTRATISTAS DE EXPLORACIONES GEOFISICAS

•

PETROLEO

MINERALES

AGUA SUBTERRANEA

Y

APLICACION A LA INGENIERIA CIVIL

•

SERVICIOS GEOFISICOS, S. A. DE C. V.

AV. JUAREZ 97 DESPACHO 302

TELS.: 18 - 41 - 41 Y 12 - 89 - 70

MEXICO 1, D. F.

# COMPañIA MEXICANA AEROFOTO, S. A.



## ESPECIALIDADES

Cartografía  
Catastro urbano y rural.  
Cálculo electrónico  
Diseño fotogramétrico electrónico de obras de Ingeniería.  
Estudios preliminares  
Fotointerpretación.  
Fotografía aérea: panorámica, Infrarroja y a color.  
Fotografía comercial aérea  
Fotomurales.  
Levantamientos fotogramétricos.  
Localización de obras  
Mosaicos fotográficos  
Programación electrónica  
Topografía

132 empleados especializados.

## EQUIPO

1 Avion Queen Air A-80 Mat. XB-XAK	4 Camaras de Reproducción
1 Avion Riley Rocket, Mat. XB-SAR	3 Unidades de Teolrómetro MRA-3
1 Avion Beech Craft Mat. XB-VIG	4 Teodolitos Wild T-2
2 Aviones Piper Aztec Mat. XB-MOJ y NOO	2 Niveles automáticos Wild NAK-2
1 Avion Cessna 185 Mat. XB-TIS	4 Camionetas doble tracción
Unidad Central de Proceso IBM, 1131	2 Autógrafos Wild A-7 con Registradora de coordenadas
Lectora-perforadora de tarjetas IBM, 1442	1 Estéreo cartógrafo Wild A-8
Unidad Impresora, IBM, 1132	1 Autógrafo Wild A-9
1 Camara Fotogramétrica Zeiss MRK-A	4 Autógrafos Wild B-8
1 Camara Fotogramétrica Wild RC-9	1 Balplex 760, de 7 proyectores
1 Camara Fotogramétrica Wild RC-8	2 Keish K-5, de 4 proyectores c u
1 Camara Fotogramétrica Wild RC-5	3 Keish K-1, de 2 proyectores c u
5 Cámaras Fairchild	2 Multiplex de 8 proyectores c u
4 Camaras para fotografía oblicua	
6 Camaras Rectificadoras	

### DIRECCION

Av. Obrero Mundial Núm. 338 esq. con Pestalozzi.  
Teléfonos: 43-38-30 con tres líneas directas y 19-87-45.  
Cable: AEROFOTO, MEXICO. MEXICO 12, D. F.  
Servicios Aéreos Ave. Santos Dumont Núm. 212.

**SCHLUMBERGER**

# SCHLUMBERGER SURENCO, S. A.

## AGENCIA EN MEXICO

Av. Morelos 98, Desp. 306

Tels.: 46-85-25 y 46-13-85

MEXICO 6, D. F.

GEOFISICOS CONSULTORES PARA  
PETROLEOS MEXICANOS



*Seismograph Service Corporation  
of Mexico*

AVE. JUAREZ 95-207 • MEXICO I, D.F.  
TELEFONOS : 18-27-25 • 18-56-33

SUBSIDIARIA DE  
SEISMOGRAPH SERVICE CORPORATION  
6200 East 41st. St. • Box 1590 • Tulsa, Oklahoma, U.S.A.

ESPECIALIZADOS EN :

**SERVICIO DE  
GEOFISICA**

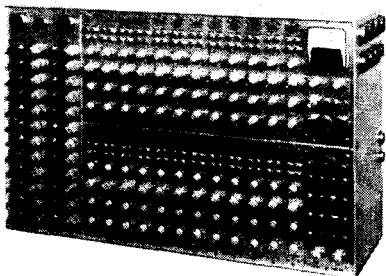
- Levantamientos :
- Sismológicos
  - Gravimetricos
  - Magnetométricos
  - Procesado de Datos Magnéticos
  - LORAC - Levantamiento Electrónico

**SERVICIO DE  
REGISTRO DE POZOS**

- Registros para Evaluación de Formaciones
- Registros de Pozos de Producción
- Servicio de Terminación Permanente
- Registro Continuo de Velocidad

# INSTRUMENTAL GEOFISICO .....

**DA MEJOR  
RENDIMIENTO,  
MAYOR DURACION  
Y A UN COSTO MENOR**



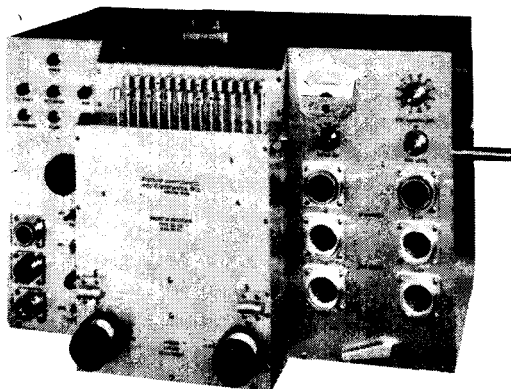
## **FORTUNE T-1. SISTEMA DE AMPLIFICADORES SISMICOS TRANSISTORIZADOS PARA TRABAJOS DE REFLEXION Y REFRACCION.**

**BAJO COSTO** — El modelo T-1 es el amplificador transistorizado más barato en el mercado.

**POCO PESO Y TAMAÑO REDUCIDO** — El equipo T-1 de 24 canales, completo, pesa únicamente 73 libras (33.1 Kgs.) y está contenido en una sola caja, cuyas dimensiones son: 25 3/8" de largo, 15 3/4" de alto y 8" de fondo.

**ALTA SENSIBILIDAD** — Como el ruido propio del equipo es muy bajo, es posible operarlo con altas ganancias. La relación de señal a ruido, en los amplificadores, es de 20 db a 0.5 microvolts de entrada.

**POTENCIA REQUERIDA** — 2 amperes, a 12 volts de corriente directa.



## **FORTUNE DC-2B.**

### **SISTEMA DIRECTO DE GRABACION Y REPRODUCCION.**

#### **COMPLETAMENTE TRANSISTORIZADO**

El equipo DC-2B es capaz de aplicar, simultáneamente, correcciones estáticas y dinámicas a 24 trazas o más, empleando cintas normales de 6 1/2 ó 7" de ancho. Las correcciones dinámicas se aplican mediante una leva acoplada a la flecha del tambor y que puede ser referida a él. También es posible obtener levas previamente calibradas y ajustadas a determinada función analítica.

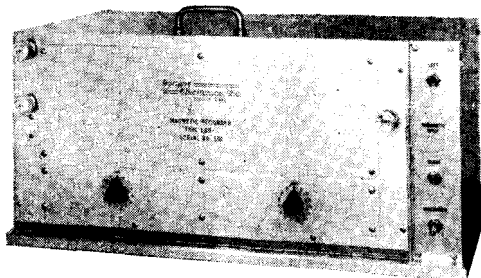
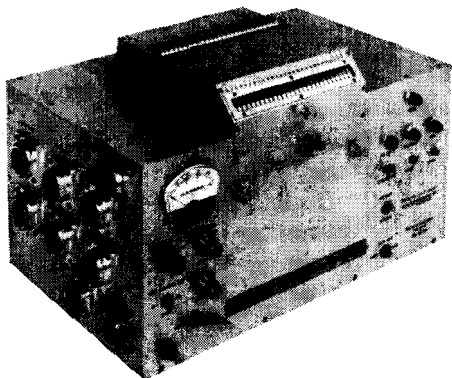
**SE AJUSTA A CUALQUIER SISTEMA DE TIRO** — No importa el sistema de tiro empleado, ya que mediante una barra universal de tendidos y gracias a medidores ajustables (calibrados en por ciento), es posible aplicar a cada traza la corrección dinámica adecuada.

#### **ESPECIFICACIONES DEL MODELO DC-2B.**

Transportador de la cinta. Mediante tambor, cuyo diámetro es de 7.5".  
 Número de canales. 24 sísmicos, 2 ó 4 auxiliares.  
 Tamaño de la cinta. 6 1/2 ó 7" de ancho por 24 1/2" de largo.  
 Distancia entre pistas. 1/4" (de centro a centro).  
 Velocidad de la cinta. 3.59"/segundo.  
 Tiempo útil de grabación. 6 seg. (el tambor da una vuelta completa en 6.6 seg.).  
 Corrección dinámica máxima. 150 miliseg.  
 Característica del motor. De histéresis de 400 ciclos.  
 Corrección máxima. 700 miliseg/segundo.  
 Rango de corrección estática.  $\pm 50$  miliseg.  
 Polarización (bias). 8 miliamperes a 11 Kilociclos.  
 Respuesta. De 5 a 200 cps.  
 Relación de señal a ruido. 50 db RMS a RMS.  
 Distorsión armónica total (a 100% el nivel de grabación). 2.5%.  
 Alimentación cruzada (cross feed). — 36 a 10 cps.  
 Grado de exactitud del sistema de tiempo.  $\pm 1$  miliseg.  
 Necesidades de entrada (a 100% el nivel de grabación). 50 milivolts a través de 40 ohms.\*  
 Salida (a 100% el nivel de grabación). 100 microvolts a 50 ohms.  
 Potencia requerida. 0.5 amper en vacío y 14 amperes con carga.  
 Tamaño del transportador de la cinta. 15 X 18 X 14".  
 Peso. 90 libras (40.823 Kgs.).

\* Al ordenar un equipo, las necesidades de entrada pueden ser cambiadas al gusto del cliente. Esto puede hacerse sin cambiar las demás especificaciones.

# ....DE "FORTUNE ELECTRONICS"



## FORTUNE — LDR.

### MICROPISTA - 1 (UNIDAD DE DOS TAMBORES)

**PARA USARSE EN OFICINAS O EN EL CAMPO**  
La serie LDR se obtiene en uno, dos o tres tambores. También existe el tipo de un solo tambor ancho, con 54 cabezas de micropista, capaz de manejar, simultáneamente, una cinta ancha o dos cintas angostas.

Cada cabeza de micropista graba sobre un ancho de 0.006", teniendo para su control lateral hasta 20 posiciones, en forma manual o automática.

Actualmente los modelos LDR llevan 15, 12 y 6 pasos, pudiendo instalarles cabezas de doble micropista, para grabación simple o doble.

Si se desean combinar los resultados de diferentes pozos de tiro, para puntos de reflexión común (common depth point), es posible agregarle al equipo conexiones programadas y amplificadores de transcripción.

Para el sistema anterior (de punto común) o trabajos de caídas de peso (weight drop), pueden combinarse los modelos LDR - 1 y DC - 2B, obteniendo así un equipo sísmico completísimo.

*Fortune  
Electronics, Inc.*

H. H. HAPPEL - H. H. HAPPEL, Jr.  
2505 SOUTH BOULEVARD, HOUSTON, TEXAS

Representante en Europa

Lechmanon

113 Rue Lamarck, Paris, Francia.

## FORTUNE SR-5. SISTEMA DE GRABACION DIRECTA EN UNA UNIDAD "BUFFERLESS" (DE MENOR AMORTIGUAMIENTO).

**TOTALMENTE TRANSISTORIZADO** — La grabadora SR - 5 ofrece los últimos adelantos en sencillez de manejo, presentando características iguales a las de sistemas más costosos y complicados.

**PRECISION Y SENCILLEZ** — Durante el proceso de grabación, las cabezas magnéticas están gobernadas desde la salida de los amplificadores sísmicos. Para las reproducciones, las cabezas son conectadas directamente a la entrada de los amplificadores. La reproducción queda compensada mediante una red pasiva. La ventaja de todo este tipo de operación es que se obtienen resultados con un mínimo de complicaciones y conexiones.

**UN SISTEMA COMPLETO** — El modelo SR - 5 está equipado con sistemas Fortune de polarización y manejo, los cuales han sido probados cientos de veces en diferentes partes del Mundo. La unidad contiene los amplificadores necesarios para grabar instante de explosión, tiempo vertical y escala de tiempo. Tiene conexiones exteriores para diversos circuitos, tales como la acción de la supresión a partir del instante de tiro, el arranque de la cámara, etc., todo ello a base de levas. Para acoplar el SR - 5 a un equipo convencional, lo único que se requiere es un juego de cables interconectores.

### ESPECIFICACIONES DEL MODELO SR-5.

Transporte de la cinta. Mediante tambor, cuyo diámetro es de 7.5".  
Número de canales. 24 sísmicos y 2 ó 4 auxiliares.  
Tamaño de la cinta. 6 1/2 ó 7" de ancho por 24 1/2" de largo.  
Velocidad de la cinta. 3.59"/segundo.  
Tiempo útil de grabación. 6 seg. (el tambor da una vuelta completa en 6.6 seg.)  
Características del motor. De histéresis de 400 ciclos. Acoplado al tambor.  
Polarización (bias). 8 miliamperes a 6 kilociclos.  
Respuesta. De 5 a 200 cps.  
Correcciones estáticas (opcional) ± 100 miliseg.  
Relación de señal a ruido 50 db RMS a RMS.  
Distorsión armónica total. (A 100% el nivel de grabación. 2.5%)  
Alimentación cruzada. (Cross feed). Con entrada de 100%. —36 db a 10 cps.  
Nivel de grabación. 50 milivoltios a través de 40 ohms.  
Potencia requerida. 0.5 amper en vacío y 6.5 amperes con carga.  
Medida del transportador de la cinta. 11 X 18 1/2 X 11 1/4".  
Peso 53 libras (24.040 kgs.).

Carlos Alemán A.

EXPLORACION

y

PERFORACION

Iturbide No. 36 Desp. 201.      Tel. 10-15-64

MEXICO 1, D. F.

# BOLETIN

de la

## Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración

---

### S U M A R I O

“Que es la Gravedad Residual” por *D. C. Skeels*, Traducción del Ing. *Jesús Basurto G.*

Uso de las Computadoras Electrónicas en la Interpretación de las Anomalías Magnéticas, por medio del Método Indirecto de perfil Magnético por el Ing. *Héctor Palafox R.*

# ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

---

## *MESA DIRECTIVA PARA EL PERIODO 1967 - 1968*

Presidente: Ing. Jesús Basurto García.

Vice-Presidente: Ing. José Coffin Otero.

Secretario: Ing. Martín Cordero Baca.

Tesorero: Ing. Alberto Arroyo Pichardo.

Editor: Ing. Antonio Cordero Limón.

Vocales:

Ing. Raymundo Acosta Ojinaga.

Ing. Héctor Larraga Nadal.

Ing. Miguel Salmón Herrera.

Ing. Alfonso Muriedas Pavón.

Ing. Roberto Hernández Maldonado.

Ing. Fabián Castillo Chavira.

Presidente Saliente: Ing. Alfonso Cornejo Toledo.

---

Este Boletín se publica cada tres meses y se distribuye gratuitamente a los socios.

El precio de subscripción para no socios es de \$ 150.00 m/n al año y  
de \$ 50.00 m/n número suelto.

---

Para todo asunto relacionado con el Boletín: manuscritos, asuntos editoriales, subscripciones, descuentos especiales a bibliotecas públicas o de Universidades, publicaciones, anuncios, etc., dirigirse a:

ING. ANTONIO CORDERO LIMON

Av. Juárez No. 97, Despacho 302 - B.

Teléfono: 12-41-47.

México 1, D. F.

---



## “QUE ES LA GRAVEDAD RESIDUAL”

Por D. C. Skeels\*

Traducción del Ing. Jesús Basurto G.\*\*

El término “gravedad residual” ha venido a tener dos significados diferentes. Por una parte se usa en el sentido original, para designar lo que queda de la gravedad de Bouguer después de restarle un efecto regional suavizado. Por otra parte, aproximadamente desde 1949, el término ha sido ampliamente usado para designar los valores que resultan de la convolución de las anomalías de Bouguer con alguna función de peso que es, en efecto, un filtro bidimensional. Las anomalías resultantes no son equivalentes a las anomalías residuales en el más viejo sentido del término, y se recomienda que se use algún otro nombre; se sugiere “gravedad convolucionada”.

Se ha demostrado que los mapas producidos por el proceso de convolución son muy útiles para detectar y localizar anomalías débiles superpuestas sobre un fuerte fondo regional. Ellos no son fácilmente adaptables para el cálculo cuantitativo de las posibles causas geológicas de las anomalías: para tal propósito las anomalías residuales son mucho más apropiadas.

El cálculo de la gravedad residual no necesita ser completamente subjetivo. Se sugiere un procedimiento según el cual la corrección regional se calcula ajustando un polinomio de grado inferior al mapa de Bouguer, por el método de mínimos cuadrados, usando solo los valores de las partes menos anómalas del mapa.

---

\* Geophysics. Vol. XXXII No. 5. Octubre de 1967.

\*\* Gerencia de Exploración. Petróleos Mexicanos.

Me parece que hay dos problemas principales en la interpretación gravimétrica, que pueden resumirse como sigue:

1.—El problema de separar los efectos que el intérprete considera asociados con accidentes geológicos de interés (interés que queda definido por los objetivos de la exploración), de aquellos efectos que no son de interés. En la mayoría de los casos ésto significa separar anomalías angostas con valores relativamente altos de curvatura, de anomalías amplias con valores relativamente bajos de curvatura. Por otra parte, esto usualmente significa separar efectos de origen somero de aquellos de origen más profundo, pero debe reconocerse que algunas anomalías que son anchas y con bajos valores de curvatura pueden también estar relacionadas con accidentes geológicos someros que son en sí mismos anchos y sin cambios abruptos de pendiente. En el último caso la anomalía puede nunca ser reconocida sobre el fondo regional.

2.—El segundo problema es el de analizar las anomalías de interés una vez que han sido separadas de las otras. Esto usualmente significa el escoger de un gran número de posibles causas geológicas, aquellas causas que sean más compatibles con otras informaciones al alcance del intérprete, incluyendo su experiencia profesional, su conocimiento de la geología del área en cuestión y su conocimiento de la geología en general.

En este estudio estoy interesado en el primer problema, pero es importante comprender que este problema está íntimamente relacionado con el segundo; las respuestas al primer problema son la materia prima para el segundo. Debemos aislar la anomalía de interés, hasta donde podamos, antes de que sea posible analizarla.

Estas anomalías de interés se llaman usualmente anomalías residuales porque son lo que queda después de restar algo que llamamos el efecto regional, o gravedad regional. Según se usó originalmente el término, y aún se usa por muchos intérpretes, la gravedad regional es el concepto del intérprete de lo que sería la gravedad de Bouguer si las anomalías de interés (es decir, las anomalías residuales) no estuvieran presentes. Es, admitidamente, subjetivo y como Vajk (1951) señala “ésto representa el fondo (background) geológico del intérprete e incluye todos los datos geológicos que le son conocidos, todas las teorías geológicas serias e hipótesis que él acepta o desarrolla”.

En años recientes, y particularmente desde el trabajo de Griffin (1949), el término “gravedad residual”, ha venido a ser aplicado, desgraciadamente, muy ampliamente a otra clase de anomalía, calculada mediante la sustracción al valor de gravedad en cada punto de un promedio pesado de los valores en un número de puntos del área circunvecina. Henderson y Zietz (1949) demostraron que, cuando la función de peso era escogida apropiadamente, estas anomalías eran numéricamente equivalentes a la segunda derivada de Peters (1949). Elkins (1951) demostró que el mapa de segunda derivada podría ser una herramienta extremadamente útil para revelar la presencia y localización de pequeñas anomalías, que solo con gran dificultad podrían ser detectadas sobre el mapa de Bouguer.

Desde esos trabajos, ha habido un número de fórmulas propuestas para calcular mapas de derivada (Rosenbach, 1953; Saxov y Nygaard, 1953, Swartz, 1954; Danes, 1962). Como ha sido señalado por la mayoría de estos autores (y además por Nettleton, 1954; Dean, 1958; y Roy, 1961) las diferentes fórmulas dan diferentes resultados numéricos, y diferentes espaciamientos de cuadrícula dan diferentes resultados con las mismas fórmulas.

Todas estas fórmulas tienen un factor que hace sus dimensiones como las de segunda derivada; es decir, miligales/distancia al cuadrado. Si omitimos este factor, ellas tienen las dimensiones de gravedad. Muchos intérpretes han adoptado este procedimiento y tenemos mapas con el membrete de “gravedad residual”, que son en realidad mapas de segunda derivada. La justificación para llamarles de “gravedad residual” parece ser que el promedio pesado que es restado del valor de Bouguer es algo así como un “regional local”. Sin embargo, Vajk (1951) señaló, al protestar por el uso de dichos mapas de cuadrícula como mapas gravimétricos residuales, entre otras cosas, que el “regional de cuadrícula” (que es la diferencia entre el mapa de Bouguer y el “residual de cuadrícula”) era una función de las anomalías y, por lo tanto, no se ajustaba al concepto de un regional. Nettleton (1958), reconociendo que estos mapas no concordaban con el concepto original de gravedad residual, sugirió que se les llamara “mapas de derivada” cuando la fórmula de peso tenía una base analítica y “residuales de cuadrícula” cuando la fórmula era simplemente empírica. Roy (1958, 1961) sostuvo que esos no eran mapas residuales de ninguna manera y no lo podían ser, puesto que la fórmula empleada era idéntica con la de segunda derivada, con excepción de un factor constante.

Nettleton (1958) también señaló que los mapas "residuales de cuadrícula" no eran apropiados para cálculos analíticos y que los "mapas de derivada" solo tenían aplicación limitada para ese propósito porque eran función del espaciamiento de la cuadrícula y de las fórmulas empleadas para calcularlas.

Dean (1958), y más recientemente Byerly (1965) y Meskó (1965) nos ha dado una mejor comprensión de los diferentes mapas de derivada, mapas residuales de cuadrícula y mapas de continuación hacia arriba y hacia abajo, al señalar que el proceso por medio del cual se derivan esos mapas es matemáticamente equivalente a un filtro lineal en dos dimensiones en el cual la señal se considera como una función de la distancia más bien que del tiempo.

De acuerdo con el concepto de "filtro" de la interpretación, el mapa original es la entrada (input), la función de peso es el filtro y el mapa transformado es la salida (output). El mapa puede ser sujeto a un análisis armónico y su espectro de amplitud de densidad puede graficarse (amplitud como una función de "frecuencia" en ciclos por unidad de distancia). Teóricamente, por lo menos, la respuesta de una cierta función de filtro a una anomalía de un contenido de frecuencia dado puede ser fácilmente calculada.

Como Byerly expone el caso:

"Quizá la aplicación más interesante de un análisis de número de onda está en el cálculo de un filtro específico para un problema específico. El análisis proporciona un medio para incorporar la información geológica disponible en la construcción de un filtro de número de onda de paso bajo que eliminaría, dentro de una precisión prescrita, el contenido de número de onda del mapa que no pudiera provenir razonablemente de cierta profundidad hacia abajo".

Debo confesar que no estoy suficientemente bien versado en la teoría de los filtros para saber si es práctico o no hacer ésto, o si vale o no la pena ir por esta ruta en vista de la ambigüedad inherente en los datos. Parece prometedor que el análisis armónico pueda ser útil como un suplemento para otros métodos de interpretación gravimétrica. Yo dudo de que pueda o pudiera suplantarlos, porque para solo citar una cosa, aleja la interpretación un paso más o varios pasos de la geología.

Sea o no que la interpretación gravimétrica siga esta ruta en el futuro, yo pienso que es claro que los mapas de derivada y los residuales de cuadrícula no son mapas gravimétricos residuales en el sentido original de ese término, y que sería mejor llamarlos de alguna otra manera, quizá mapas de “convolución”, puesto que así se describe el proceso mediante el cual son derivados.

¿Para qué fines sirven estos mapas? Yo pienso que su principal valor está en la localización de pequeñas anomalías y en separar las anomalías que se superponen, ambas cosas que parecen hacer notablemente bien. Si se van a usar para análisis, esto es, para la investigación cuantitativa de las posibles causas geológicas de las anomalías, no debieran usarse como mapas gravimétricos, sino como mapas derivados por convolución de una cierta función de peso con el mapa gravimétrico. Este empleo requeriría que la salida de este filtro particular de anomalías gravimétricas, debida a un gran número de formas geométricas a varias profundidades, fuese calculada y catalogada.

En algunas aplicaciones del método gravimétrico, la localización de las anomalías puede ser todo lo que se requiera y en estos casos un “mapa de convolución” de alguna clase, que localice los accidentes anómalos, puede ser todo a lo que necesitemos ir. En la mayoría de las aplicaciones, sin embargo, creo que se encontrará ventajoso derivar un mapa de gravedad residual, en el verdadero sentido del término, mediante la construcción de un mapa regional suavizado.

No creo que este mapa regional necesite ser completamente subjetivo, ni que necesite ser construido por métodos gráficos, aunque algunos intérpretes puedan aun preferir hacerlo en esta forma. Si miramos lo que el intérprete hace al construir un mapa regional o perfiles regionales mediante métodos gráficos, vemos que esencialmente ajusta una superficie a aquellas partes del mapa que considera no están afectadas (o menos afectadas) por anomalías locales. El requiere que esta sea una superficie suavizada; y, como Baranov (1954) lo señala, suave en el sentido matemático significa que la ecuación de la superficie sea un polinomio de grado inferior. La mayoría de nosotros tiene acceso en estos días a las computadoras de alta velocidad, y se tienen programas disponibles que calcularán un polinomio de cualquier grado especificado, mediante alguna variación del método de mínimos cuadrados, para cualquier número de puntos que podamos requerir.

Si esta superficie se calcula empleando todos los puntos con información, no satisfará nuestro concepto del regional de la gravedad que se tendría si no estuvieran presentes las anomalías, puesto que las anomalías mismas afectarían los valores regionales en cierto grado. Podemos salvar esta dificultad si alimentamos a la computadora solo con los valores de aquellas partes del mapa que consideremos no afectadas (o mínimamente afectadas) por las anomalías. Esto, por supuesto, implica que el intérprete sepa algo acerca de las anomalías residuales antes de que las calcule, que es exactamente el caso con los métodos gráficos. Las áreas por omitirse para el cálculo del mapa regional pueden ser determinadas por inspección o a partir de un mapa de segunda derivada u otro tipo de mapa de convolución, o podrían ser determinadas calculando primero un regional preliminar usando la totalidad de los puntos, determinando los residuales preliminares de este mapa y entonces calculando a nuevo regional a partir del mapa original, omitiendo los datos de las áreas que son anómalas en el mapa residual preliminar. El intérprete, evidentemente, tiene que ser el juez en lo que deba omitirse.

La figura 1 ilustra las ideas que trato de explicar. Aquí tenemos un perfil gravimétrico que contiene dos anomalías bastante evidentes. Si calculamos el regional como un polinomio de segundo grado, usando todos los puntos del perfil para una solución de mínimos cuadrados, obtenemos la curva superior; ella está obviamente influenciada por las anomalías mismas, por lo tanto no satisface nuestra idea de un regional, aunque sea suave. La curva inferior fue calculada usando solo los puntos con un círculo, que por inspección se juzgaron ser los menos anómalos.

La figura 2 muestra las anomalías residuales resultantes. La curva superior ilustra el perfil equivalente de un "residual" de cuadrícula; se obtuvo restando en cada punto del perfil observado el promedio de los cuatro puntos más próximos (dos de cada lado). Ella es un ejemplo de un residual de convolución, con los factores de peso todos iguales a la unidad.

La curva intermedia es el residual del polinomio de segundo grado calculado para todos los puntos del perfil. El perfil inferior es el residual del polinomio calculado a partir de los puntos no anómalos solamente. Creo que está muy próximo al residual que se habría obtenido por métodos gráficos.

**MAPA DE BOUGUER**  
**MOSTRANDO EL AREA NO EMPLEADA EN EL CALCULO REGIONAL**

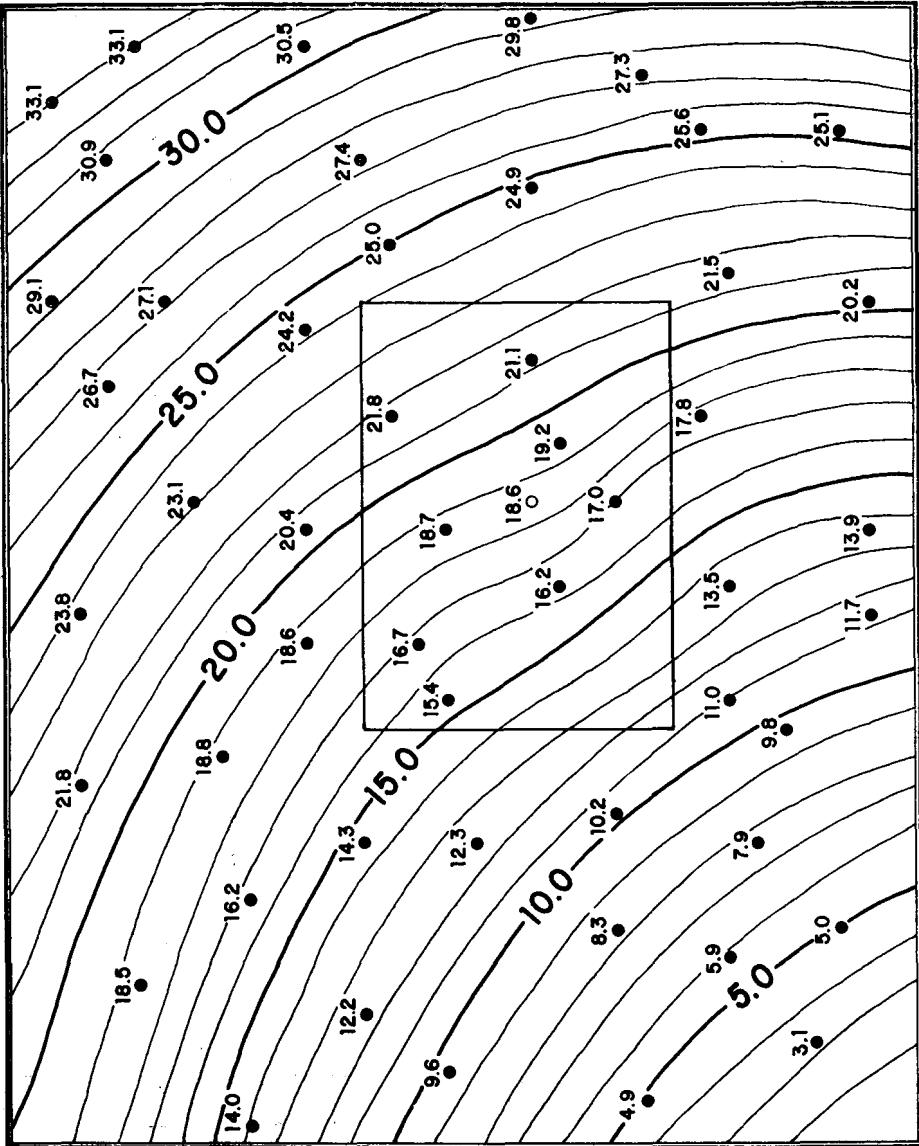


FIGURA 1

## COMPARACION DE RESIDUALES

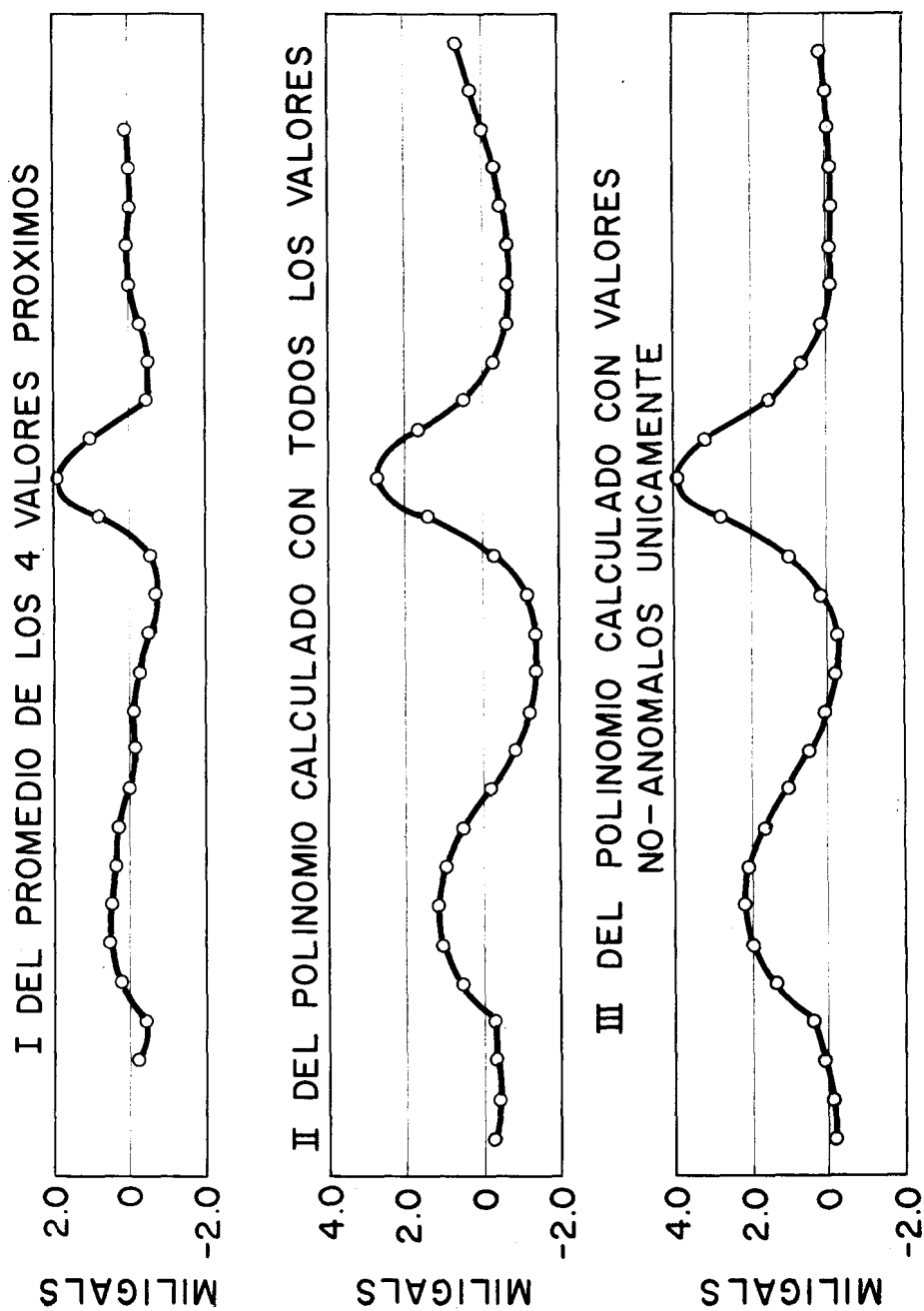


FIGURA 2



Si solo tratamos con perfiles, son dudosas las ventajas del método de mínimos cuadrados sobre los métodos gráficos. Usualmente, sin embargo tratamos con un mapa, y cualquiera que haya intentado sabe que es difícil y tedioso el trazo de los contornos regionales para que sean suaves y satisfagan el concepto del intérprete de lo que es un regional. Ciertamente que podemos trazar una serie de perfiles a través del mapa y determinar los residuales suavizando tales perfiles, pero a menos de que nuestros puntos de información se encuentren sobre una cuadrícula perfecta nos vemos obligados a usar valores interpolados con objeto de obtener perfiles rectilíneos. El método de polinomios no solo es más rápido (suponiendo que se dispone de la computadora) sino que tiene la ventaja de que nos permite usar los puntos mismos de información para calcular los valores residuales; los errores al configurar el mapa original no tienen influencia sobre los valores residuales.

La figura 3 muestra una porción de un mapa que obviamente contiene una anomalía en la parte central. El rectángulo indica el área que fue considerada como anómala por inspección. Se usaron los valores de las estaciones exteriores al rectángulo para evaluar un polinomio de segundo grado en  $x$  e  $y$  (norte y sur) de la forma  $g = a + b + bx + cy + dxy + ex^2 + fy^2$ ; de este polinomio se calculó un valor regional en cada estación, incluyendo las estaciones anómalas; el mapa residual resultante se muestra en la figura 4.

Deseo enfatizar que el método del polinomio deja mucho campo para el juicio del intérprete. No solo debe decidir cuales de los valores de Bouguer deben usarse en el cálculo del regional, sino que también debe decidir el grado del polinomio requerido y qué tan grande debe ser el área que cubra el mapa regional. Si el área explorada tiene varias decenas de kilómetros por lado y si el regional (o lo que se considere como tal) es bastante complejo, puede ser que un polinomio de segundo o tercer grado no de un buen ajuste, aun en aquellas partes que no se consideren anómalas. Podríamos aumentar el grado del polinomio, pero esto cae en el peligro de que algunas de las anomalías locales puedan aparecer en el mapa regional. Una mejor alternativa, creo yo, es reducir el área cubierta por el mapa regional; esto es, seccionar el área original en cierto número de partes que se traslapen y calcular el mapa regional separadamente para cada una. Los límites deben ser trazados de tal manera que ninguna de las anomalías residuales se acerquen a las orillas o bordes de los mapas, puesto que estos son las partes en las cuales el control del mapa regional es poco efectivo.

# REGIONAL - POLINOMIO DE 2° GRADO

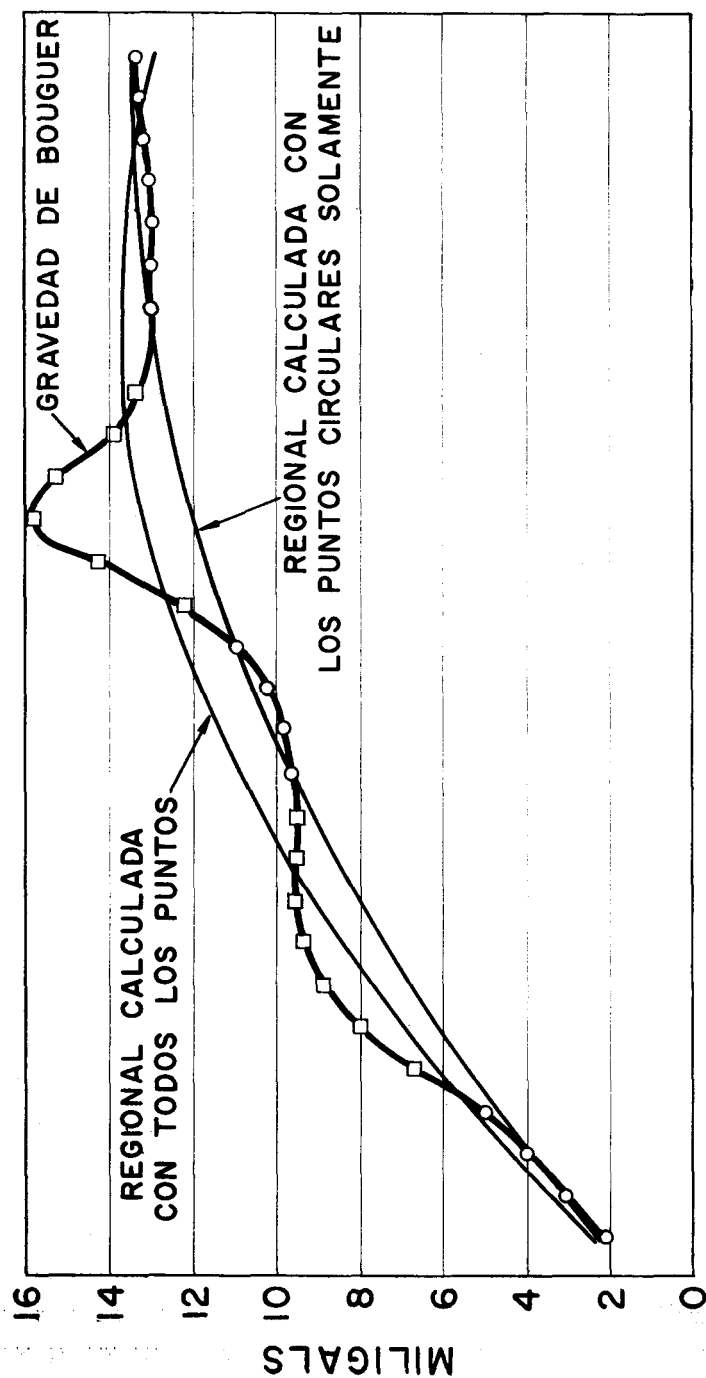


FIGURA 3

# RESIDUALES DE UN POLINOMIO DE SEGUNDO GRADO

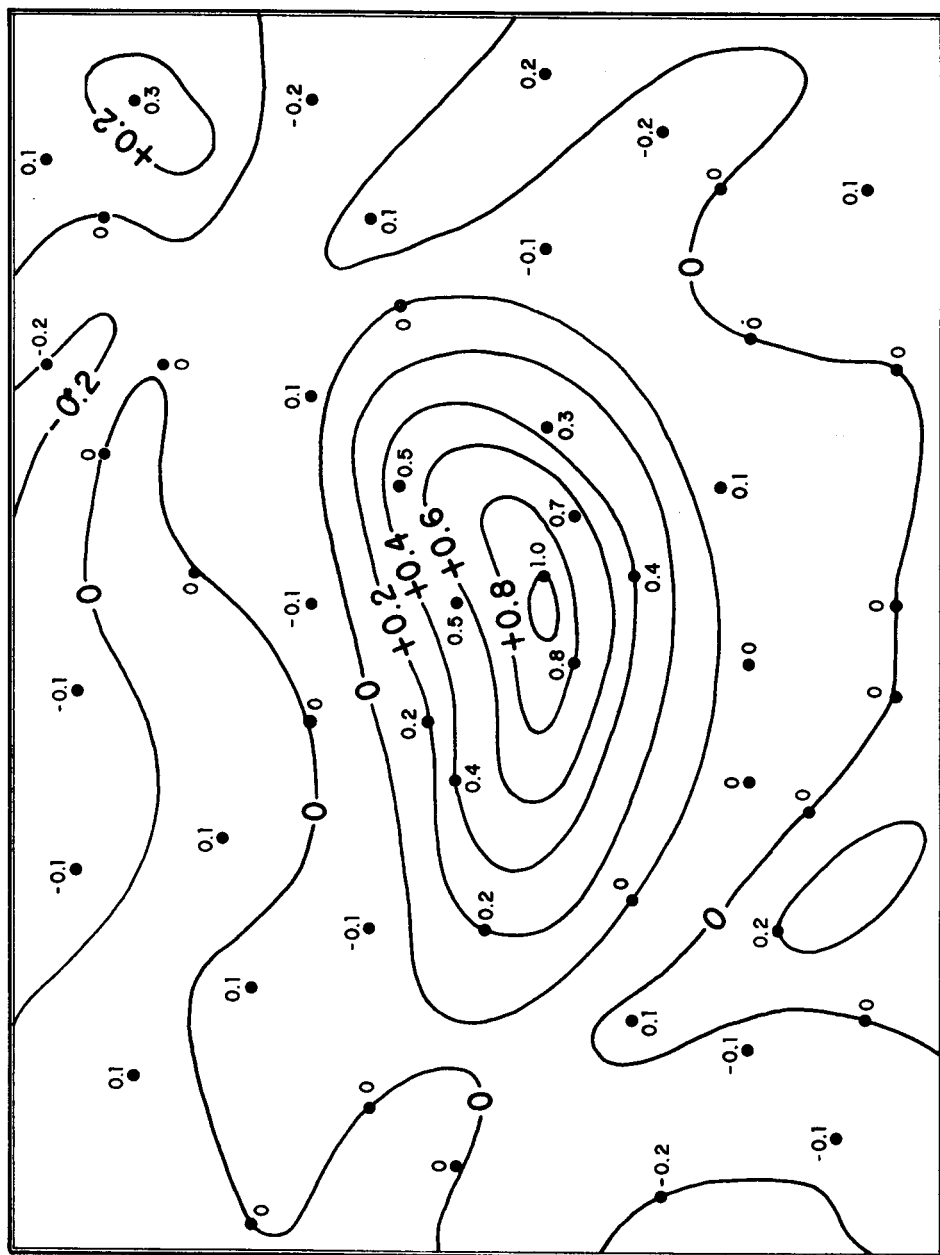


FIGURA 4

Con la condición de que el proceso sea adecuadamente controlado por el juicio del intérprete, creo que los mapas regionales calculados de esta manera, por métodos de mínimos cuadrados a partir de las partes menos anómalas del mapa, deben producir anomalías residuales que sean al menos tan buenas para la interpretación cuantitativa como aquellas obtenidas por medios gráficos. Cuando el área en estudio es grande, el método es mucho más rápido que los métodos gráficos. Como lo he sugerido, el método es realmente similar al empleado al construir un regional gráfico, excepto que la máquina hace el suavizamiento tan pronto como el intérprete le ha dicho dónde y cómo. También, el método de la máquina es bidimensional (plano) más bien que un proceso unidimensional. Quizá la ventaja principal sea que los resultados son reproducibles; esto es, si se usa la misma área y los mismos puntos en el cálculo por segunda vez, el resultado deberá ser el mismo.

USO DE LAS COMPUTADORAS ELECTRONICAS EN LA  
INTERPRETACION DE LAS ANOMALIAS MAGNETICAS,  
POR MEDIO DEL METODO INDIRECTO DE  
PERFIL MAGNETICO

Por el Ing. *Héctor Palafox R.*\*

RESUMEN

Con el empleo de las computadoras electrónicas, el método indirecto de perfil magnético, basado en la comparación del efecto magnético de modelos teóricos con respecto a las mediciones magnéticas observadas y sus derivadas, que había sido discriminado para la interpretación por lo tedioso de sus cálculos, puede ser útil en la interpretación de los datos obtenidos en el campo, ya que presenta dos importantes aplicaciones; una, como método de interpretación de perfil magnético, y otra, como un método auxiliar en los otros métodos.

Se describe el cálculo del efecto magnético y sus derivadas, para el caso particular de un dique vertical, por medio del uso de una computadora IBM, modelo 7040, para mostrar la ventaja del uso de las computadoras en este método de interpretación.

INTRODUCCION

Debido al perfeccionamiento de los sistemas de observación magnética en estos últimos años y principalmente con los sistemas de exploración aereo-

---

\* Gerencia de Exploración PETROLEOS MEXICANOS.

magnética, con magnetómetros de alta precisión, la magnetometría, ha adquirido una creciente demanda en la exploración geofísica, por la rapidez con que una área en exploración puede ser cubierta a un bajo costo.

Sin embargo, puesto que los datos obtenidos en el campo, no nos revelan en sí las características internas del subsuelo, se emplean varios métodos de interpretación para separar los efectos anómalos debidos a masas internas, principalmente que tengan interés económico, de los rasgos regionales.

Existen varios métodos de interpretación, sin embargo de los métodos más económicos y rápidos, son los de perfil magnético. Estos que por ser muy tardados y tediosos en sus cálculos habían sido discriminados para la interpretación magnética de los datos observados en el campo, están siendo nuevamente aplicados con el empleo de computadoras electrónicas que facilitan y solucionan la computación de sus cálculos en una forma rápida y exacta, permitiendo así, a este método, ser importante en las interpretaciones magnéticas.

## DIFERENTES METODOS DE INTERPRETACION

Los diferentes métodos de interpretación, de los datos magnéticos observados en el campo ya corregidos, pueden clasificarse en una forma general tal como se muestra en la tabla No. 1. En ella podemos distinguir dos grandes grupos; Cualitativos y Cuantitativos.

Los métodos Cualitativos, solo nos dan una interpretación muy generalizada y superficial, obtenida por una simple observación y estudio de los mapas de contornos magnéticos, basada, ya sea, en la separación o forma de variación de las curvas de los mapas magnéticos o auxiliados de la idea que se tenga de los efectos magnéticos causados por ciertos cuerpos regulares o irregulares. En este tipo de interpretación, se requiere cierta experiencia de parte del interpretador para determinar la posible forma y clase de estructura geológica que cause las anomalías.

Los métodos cuantitativos los podemos subdividir en: métodos indirectos de perfil magnético, métodos de proyección ascendente y descendente del campo magnético, y los métodos a base de mapas residuales.

## METODOS DE INTERPRETACION MAGNETICA

CUANTITATIVOS	{	a) Basado en la Observación de los Gradientes Magnéticos.
		b) Auxiliados por la idea o conocimiento de los efectos magnéticos de algunas estructuras o cuerpos ya conocidos.
CUALITATIVOS	{	Métodos de los perfiles Magnéticos.
		Métodos de Proyección Ascendente y Descendente del Campo Magnético.
		Método de los Mapas Residuales.

TABLA I.

Descripción general de los métodos más comunes en la interpretación de los datos magnéticos observados.

El método indirecto de los perfiles magnéticos o simplemente llamado método de los perfiles, consiste en determinar las intensidades magnéticas de las anomalías causadas por estructuras de forma y magnetización ya especificadas. obtener sus perfiles y contornos, y compararlos con los perfiles y contornos de los datos del campo.

Se le llama método indirecto, puesto que la interpretación depende de modelos y no se parte de los datos observados. Además es de hacer notar que en magnetismo no existe ningún método directo en este tipo de interpretación cuantitativa, ya que el momento magnético de los modelos no puede ser encontrado independiente de la forma del modelo. (Gran y West, 1965).

Los métodos de proyección ascendente y descendente, principalmente están basados en el método de Peters, (Peters, 1949; Reford y Sumner, 1964) fundan su idea en que la continuidad del campo magnético no se extiende a través del cuerpo que causa la anomalía. Con este concepto, los campos verticales, observados en la superficie, se extienden hacia abajo o hacia arriba, por medio del cálculo del campo magnético a diferentes niveles, hasta localizar el origen de la anomalía. Después por otros medios analíticos, se separan los regionales y se determina en forma aproximada la profundidad del basamento.

La interpretación a base de mapas residuales, puede hacerse por medio de diferentes técnicas: una de las más usadas es el método denominado "Mapas Residuales", y la otra es por medio del método denominado de La Segunda Derivada, que debido a que ha sido adaptado para ser trabajado con computadoras electrónicas, es muy usado para la interpretación de los datos magnéticos observados. Existen más métodos para obtener mapas residuales, pero los más comunes son los dos métodos antes mencionados.

En el método de Mapas Residuales, los perfiles y mapas residuales, se construyen a partir de los datos observados, por medio del uso de graticulas o sistemas gráficos de acuerdo con el criterio del interpretador.

El método consiste en formar un mapa residual cuyo contorno consiste de varios puntos, a los cuales, se les ha calculado su valor residual. Cada uno de estos puntos del contorno, representa una combinación lineal de diferentes valores de intensidad magnética, medidos por medio de la graticula en el plano de contornos observados.

Otro método para obtener los residuales debido a una estructura, es el método de la Segunda Derivada de la componente vertical del campo magnético, o también llamada curvatura del campo magnético. Este método, está basado en la propiedad que, la segunda derivada de la componente vertical del campo magnético, con respecto a la profundidad, tiende a enfatizar las estructuras más pequeñas y más someras a expensas de las grandes estructuras regionales. (Elkins, 1951).

Para construir los mapas residuales a partir de este método, se pueden emplear computadoras electrónicas o pueden construirse a base de varios procedimientos gráficos o por medio del uso de graticulas construidas basándose



en los promedios de intensidad magnética radial. medidos desde un centro común. (Swartz, 1954).

## AMBIGÜIDADES EN LA INTERPRETACION

En todos los métodos de interpretación magnética, presentan una ambigüedad en la interpretación, ya que una anomalía magnética, puede ser causada por diferentes factores, tales como; diferentes formas del cuerpo anómalo, cambios de suceptibilidad de las rocas, magnetismo remanente, y otros más.

Por lo general, en muchas de las interpretaciones, existe la insertidumbre si una anomalía es debido a un relieve del basamento o a una variación de la suceptibilidad, y en estos casos, se requiere auxiliarse de otro tipo de método, por ejemplo: sismología u otro método.

Otro tipo de insertidumbre en la interpretación, se presenta cuando las características magnéticas del basamento son muy bajas, o en su defecto, con capas magnéticas dentro de los sedimentos arriba del basamento. Para estos casos, también es necesario auxiliarse de otros medios para resolver el problema.

## EMPLEO DEL METODO INDIRECTO DE PERFIL MAGNETICO. CON EL USO DE COMPUTADORAS.

Tanto en exploración minera como la petrolera, toda interpretación de los datos magnéticos, está relacionada con lo económico y la rapidez del método que se emplee.

En general, es necesario hacer un estudio cualitativo de la información que se tiene, pero este tipo de interpretación solo nos daría una posible idea de la causa de la anomalía. Aunque la interpretación hecha en esta forma pudiera estar acertada, requiere de más estudio por medio de otros métodos de interpretación. En particular, el método de los perfiles, presenta gran utilidad, ya que, nos permite calcular la profundidad del basamento en una forma bastante aproximada, rápida y económica. Esto es de gran utilidad en la explora-

ción en búsqueda del petróleo, ya que, muchas de las deformaciones geológicas o estructuras que forman trampas adecuadas para la acumulación del petróleo, están asociadas a las deformaciones del basamento.

Para hacer una interpretación por medio de los perfiles en forma rápida y económica, es necesario; o contar ya con los perfiles magnéticos de diferentes modelos con diferentes combinaciones de sus parámetros, o contar con un sistema que nos proporcione estos perfiles en forma muy rápida y económica que nos facilite la interpretación.

Para la primera alternativa, existen varios modelos con sus perfiles y contornos, tales como los de Vacquier et al (1951), Parker (1965) y otros más. Pero estos modelos solo están contruidos para casos definidos para determinados valores de sus parámetros, y no están cubiertos todos los casos que se presentan en la práctica. Ahora también es imposible pensar en tener un gran número de diferentes perfiles para diferentes modelos con diferentes combinaciones de sus parámetros, que satisfagan todos los casos.

Aunque existen fórmulas, para muchos casos, éstas presentan una serie de cálculos que, si no son difíciles, son demasiado tediosos y muy tardados, en tal forma que si se tratara de efectuar los cálculos a mano, esto sería demasiado tardado e impráctico.

Ahora, si uno hace uso de las computadoras electrónicas, la obtención de los perfiles magnéticos y contornos de diferentes modelos regulares o irregulares es posible obtenerlos en cuestión de unos cuantos minutos y además con mayor exactitud.

En esta forma, no es necesario tener los perfiles y contornos de un gran número de modelos, solo se requiere que las fórmulas, varias de las cuales ya han sido deducidas años atrás que no eran usadas por falta de medios rápidos de cálculo, sean adaptadas para ser trabajadas en las computadoras electrónicas y obtener los perfiles magnéticos de diferentes modelos en el preciso momento en que se está haciendo la interpretación. Esto permite obtener una mejor interpretación por medio de la comparación de los perfiles observados con los calculados.

Existen actualmente ya algunos métodos adaptados para ser trabajados en computadoras, y obtener diferentes perfiles de anomalías magnéticas causadas

por cuerpos en dos o tres dimensiones, regulares o irregulares, en una forma rápida, sencilla, económica y exacta.

Por lo general estos métodos están basados en la siguiente secuencia:

Primero, se determina la forma del cuerpo que causa la anomalía.

Segundo, conociendo su forma se determina la profundidad y el perfil magnético.

Como un caso particular, vamos hacer mención al método ideado por Talwani y Heirtzler (1964), cuyo método está basado en una fórmula deducida por Heiland (1946), para la atracción de prismas seminfinitos en dos dimensiones, pero que es modificada para obtener las anomalías causadas por cuerpos irregulares en dos dimensiones.

En este método, el primer paso es representar la forma del cuerpo anómalo por un polígono irregular en una sección transversal. Después, se calculan las intensidades horizontales, verticales, y totales de la anomalía, para diferentes puntos en la superficie, y así, obtener el perfil magnético causado por esa anomalía. Para el cálculo de las intensidades, se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$V_i = 2(J_x Q_i - J_z P_i) \dots\dots\dots(1)$$

$$H_i = 2(J_x P_i + J_z Q_i) \dots\dots\dots(2)$$

donde,  $J_x$  y  $J_z$  son las componentes de la intensidad de polarización en las direcciones X y Z.  $P_i$  y  $Q_i$  son expresados como:

$$P_i = \frac{Z_{ji}^2}{Z_{ji}^2 + X_{ij}^2} (\phi_i - \phi_j) + \frac{Z_{ji} X_{ij}}{Z_{ji}^2 + X_{ij}^2} \log \frac{r_j}{r_i} \dots\dots(3)$$

$$Q_i = \frac{Z_{ji} X_{ij}}{Z_{ji}^2 + X_{ij}^2} (\phi_i - \phi_j) - \frac{Z_{ji}^2}{Z_{ji}^2 + X_{ij}^2} \log \frac{r_j}{r_i} \dots\dots(4)$$

donde;  $j = i + 1$ ;  $X_{ij} = X_i - X_j$ ;  $Z_{ji} = Z_j - Z_i$ ;  $r_i = \sqrt{X_i^2 + Z_i^2}$

En la figura 1, podemos ver la gráfica de un polígono irregular, en el que se describen la posición de los diferentes parámetros.

Si uno procede a calcular en el sentido de las manecillas del reloj, al calcular  $V_1$  y  $H_1$ , el valor de  $i$  será igual a 1, y el valor de  $j$ , será igual a 2, y las intensidades vertical y horizontal del campo magnético, en el punto P, será expresado por la suma de los efectos magnéticos de cada lado del polígono.

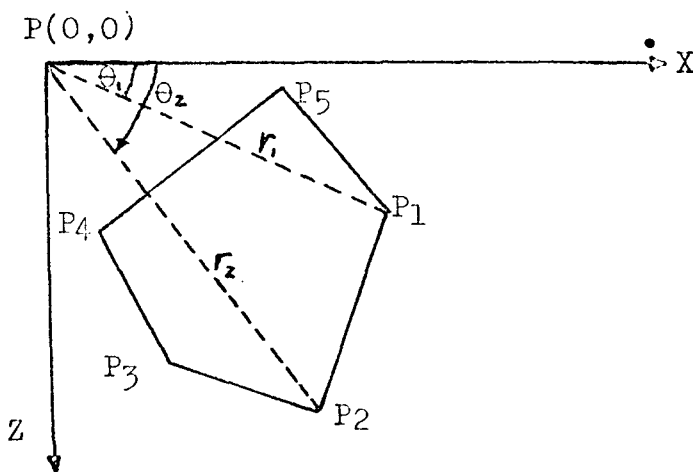


Figura No. 1

Representación del contorno de un cuerpo de dos dimensiones,  
por un polígono irregular.

Ahora calculando el efecto magnético en varios puntos sobre el eje X, obtendremos el perfil magnético causado por un cuerpo de forma irregular en dos dimensiones.

En cuanto a la intensidad total del campo magnético al punto P, se puede calcular por la ecuación:

$$T = V \text{ Sen } I + H \text{ Cos } I (\text{Cos}(C - D))$$

donde V y H, son las componentes vertical y horizontal del campo magnético de la anomalía medidos en el punto P. I es el ángulo de inclinación y D es la declinación. C es el ángulo que forma la dirección de la línea de observación respecto a la dirección Norte-sur.

Otro método de gran utilidad en magnetometría, es el ideado por Talwani (1965), que permite calcular los perfiles magnéticos de anomalías causadas por cuerpos de dimensiones finitas, magnetizados homogéneamente y de forma irregular en tres dimensiones. Sus fórmulas son derivadas de las anomalías magnéticas que causan láminas que tienen forma de polígonos irregulares y que son usadas para obtener las tres componentes de las anomalías magnéticas, causadas por cuerpos irregulares en un punto sobre la superficie de la tierra, y teniendo la ventaja de poder ser efectuado para cualquier dirección de magnetización del cuerpo anómalo.

El método consiste primero, en representar en contornos la forma del cuerpo cuya anomalía se está calculando y sirve de modelo, (figura No. 2). Segundo, cada contorno es representado por una lámina horizontal de forma poligonal. Tercero, una doble integración se hace sobre la lámina horizontal y finalmente, por medio de métodos numéricos o basándose en curvas parabólicas, se hace la integración con respecto a Z, obteniendo así las componentes magnéticas del cuerpo anómalo.

Por medio de este método, y adaptado a una computadora digital, solo es necesario introducir las coordenadas de cada uno de los vértices de los polígonos que representan los contornos, la dirección de magnetización y las coordenadas de los puntos a donde se desea calcular la anomalía magnética. Con estos datos en cuestión de unos cuantos minutos, se determinan las componentes vertical, horizontal y total del campo magnético de la anomalía.

Existen otros métodos similares para cuerpos de dos y tres dimensiones ideados por Hughson (1964), Bott (1963) y otros más, que están fundados más o menos en la misma secuencia y bases de los dos métodos descritos anteriormente, solo con ligeras variaciones.

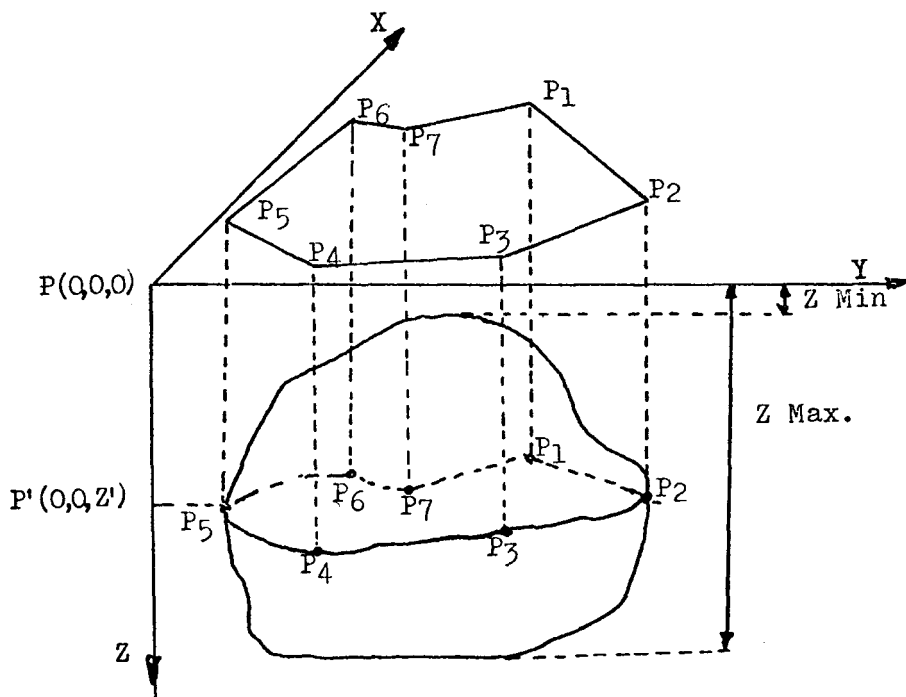


Figura No. 2

Representación del contorno de un cuerpo de forma arvitraria  
por un polígono irregular en un plano horizontal  
a una profundidad  $Z^1$ .

Aunque los métodos anteriores son muy rápidos y exactos, y en general a partir de ellos se pueden calcular perfiles magnéticos de cuerpos regulares, existen varios modelos sencillos de forma definida y fórmulas ya dadas, que también pueden ser adaptadas para ser trabajadas con computadoras y obtener los perfiles magnéticos y curvas, en una forma un poco más sencilla y posiblemente más rápida. Entre los modelos más interesantes cuyos perfiles pueden ser usados en la interpretación por comparación con los perfiles observados, tenemos: el "Modelo Laminar" (Ribbon Model), "El Modelo Tabular" (Tabular Model), el efecto de una lámina horizontal (Step Model), cilindro vertical y horizontal, y algunos otros más.

Ahora pasemos a describir como el método de los perfiles magnéticos, sirve como auxiliar de otros métodos de interpretación.

Frecuentemente, las mediciones de la componente vertical del campo magnético y sus derivadas son usadas para determinar el efecto magnético causado por masas en el subsuelo en un punto sobre la superficie, pero existen ciertas ambigüedades en la interpretación, tales como: los parámetros que describen en detalle la posición, forma y otras dimensiones de los cuerpos anómalos, que no pueden ser definidas por las mediciones magnéticas o sus derivadas. Entonces se requiere un método auxiliar para reducir los problemas de interpretación que se está estudiando. Para esto, el método indirecto de los perfiles magnéticos puede presentar una gran ayuda, sólo se requiere que a las fórmulas que permiten calcular los perfiles de los diferentes modelos, sean derivadas con respecto a la profundidad, sacándoles su primera y segunda derivada, y después adaptarlas también para ser calculadas en una computadora electrónica.

Con esto, podemos obtener el perfil y curvas de el modelo así como las curvas y perfiles de las derivadas de la componente vertical con respecto a Z, para que después por comparación con la anomalía residual obtenida con la segunda derivada y sus perfiles, podamos determinar muchos de los datos los cuales no son bien definidos por el método de la segunda derivada.

También, este método de los perfiles interviene en la interpretación por medio de los métodos cualitativos, ya que con la experiencia que se tenga de los efectos magnéticos de diferentes estructuras, nos proporciona una ayuda para determinar por simple observación de los planos de contornos y sus perfiles, donde podría encontrarse una anomalía y cual podría ser la causa de esa anomalía.

## CALCULO DEL PERFIL DEL CAMPO MAGNETICO VERTICAL. Y SUS DOS DERIVADAS PARA UN DIQUE VERTICAL. CON UNA COMPUTADORA IBM 7040.

Como un ejemplo en la forma en que se pueden obtener los perfiles magnéticos del campo vertical y sus derivadas, de un cuerpo anómalo, por medio del uso de computadoras, vamos a describir el cálculo del perfil de la compo-

nente vertical del campo magnético y sus derivadas, para un dique vertical polarizado verticalmente haciendo uso de una computadora IBM Modelo 7040.

Para el cálculo de este caso, podríamos hacer uso del método ideado por Talwani y Heirtzler, con algunas modificaciones para obtener la primera y segunda derivada, empleando la distribución de la figura No. 3, pero tratándose

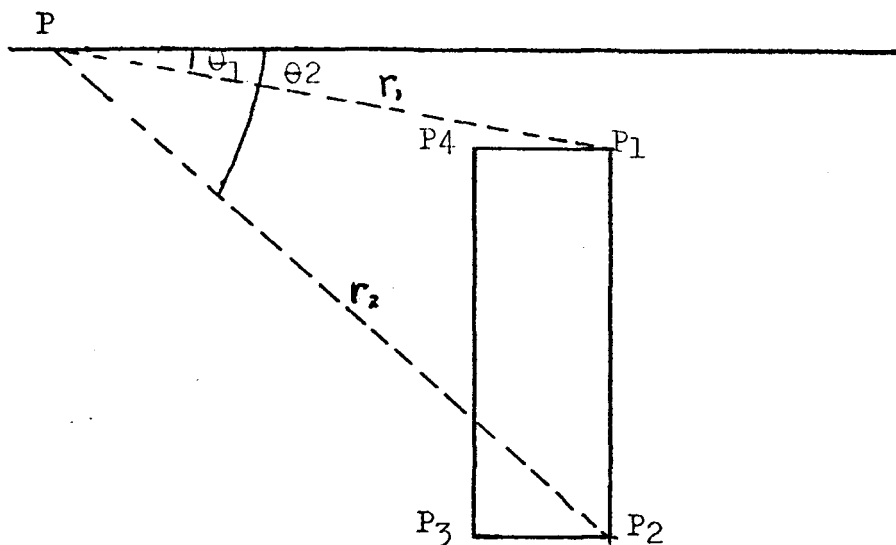


Figura No. 3

Distribución de los parámetros que serían usados si se empleara el método de Talwani-Heirtzler.

de un cuerpo de forma sencilla y regular, vamos hacer uso de la fórmula dada por Nettleton (1942), de una hoja vertical cuyo efecto magnético es similar al efecto de un dique de dos dimensiones en posición vertical y polarizado verticalmente. La expresión para este caso es:

$$V_o = 2 \times 10^5 \text{ I T} \left[ \frac{Z_1}{Z_1^2 + X^2} - \frac{Z_2}{Z_2^2 + X^2} \right]$$



La primera derivada de  $V_o$ , expresada en gamma/pie, es:

$$V_1 = \frac{\partial V}{\partial Z} = 2 \times 10^5 I T \left[ \frac{X^2 - Z^2 I}{(Z_1^2 I + X^2)^2} - \frac{X^2 - Z_2^2 I}{(Z_2^2 I + X^2)^2} \right] \dots (6)$$

La segunda derivada de  $V_o$ , expresada en gammas/pie<sup>2</sup> es:

$$V_2 = \frac{\partial^2 V}{\partial Z^2} = 8 \times 10^5 I^2 T X^2 \left[ \frac{Z_2}{(Z_2^2 I + X^2)^3} - \frac{Z_1}{(Z_1^2 I + X^2)^3} \right] \dots (7)$$

donde;  $V_o$  es la componente vertical del campo magnético causado por el cuerpo anómalo, expresado en gammas.  $I$ , es la intensidad de polarización, supuesta vertical, expresada en unidades cgs.  $T$ , es el espesor del dique en pies.  $Z_1$ , es la profundidad a la parte superior del dique expresado en pies.  $Z_2$  es la profundidad a la parte inferior del dique dada en pies.  $X$  es la distancia horizontal, medida sobre la superficie desde el punto al cual se calcula la componente vertical, al centro del dique proyectado a la superficie. (figura No. 4).

Este problema es programado en Fortran IV, para ser trabajado en una computadora electrónica IBM Modelo 7040.

Este programa está hecho en tal forma que la componente vertical del dique, así como sus derivadas, pueden ser calculadas para cualquier punto sobre el eje  $X$ . En esta forma podemos calcular el efecto magnético de varios puntos y así obtener el perfil magnético de la componente vertical y el perfil de sus derivadas.

El tiempo empleado para la lectura de este programa es aproximadamente de 50 segundos y el tiempo total para el cálculo de unos 50 puntos de un contorno, es aproximadamente de 75 segundos. Además puede calcular varios puntos, para diferentes combinaciones de sus parámetros en una sola vez que el programa sea introducido a la computadora.

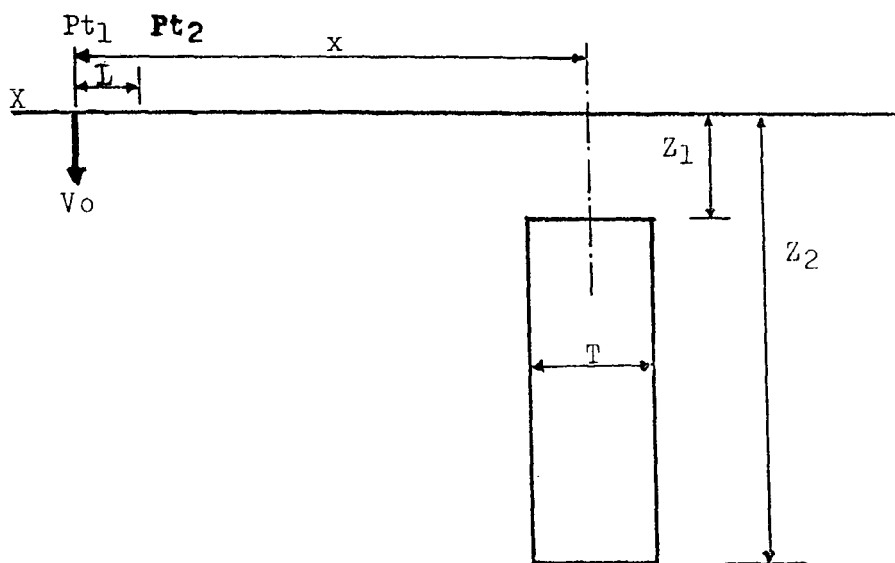


Figura No. 4

Representación de un dique vertical y sus parámetros en dos dimensiones.

Este programa aunque no esté programado para hacer la gráfica de los valores de los efectos magnéticos de todos los puntos, puede adaptarse para hacerlo, y el tiempo total de cálculo y graficación sería aproximadamente de 3 minutos por gráfica de unos 50 puntos:

En el Appendix I, se muestra el problema programado en Fortran IV y se describen como ejemplo el cálculo de 2 ejemplos, Teóricos y Arbitrarios de la componente vertical y sus derivadas de 6 diferentes puntos a la izquierda del dique, resueltos en una sola vez. (El tiempo empleado en este caso para el cálculo, fué de 68 seg.)

Debido a que la máquina requiere un cierto lenguaje, vamos a representar algunos de los símbolos de las ecuaciones (5), (6) y (7) en la siguiente forma:

L representa la separación horizontal en la superficie del perfil.

M representa la máxima distancia a la izquierda del punto central del dique proyectado a la superficie, desde la cual se va a empezar a calcular los puntos para el perfil magnético.

A (K, 1) representa I

A (K, 2) representa T

A (K, 3) representa  $Z_1$

A (K, 4) representa  $Z_2$

## CONCLUSIONES

Como podemos ver con el uso de las computadoras electrónicas, es posible ahora calcular los perfiles magnéticos y contornos de diferentes cuerpos de cualquier forma, ya sea en 2 o 3 dimensiones con diferentes direcciones de magnetización con una gran exactitud y rapidez. Con esto es posible emplear este método de los perfiles como un método de interpretación cuantitativo o como auxiliar de otros métodos.

Su uso puede ser muy útil para la determinación del basamento y explicar los diferentes fenómenos encontrados en las interpretaciones de los datos de campo.

Este método así como todos los métodos de interpretación magnética, tiene sus limitaciones y en forma general podemos decir que: a parte de las limitaciones presentadas por ambigüedades en la interpretación magnética, la construcción de los perfiles de estos modelos teóricos está limitada por 3 aspectos principalmente; uno de ellos es que siempre existe insertidumbre en la forma definitiva del cuerpo, ya que diferentes formas de cuerpos en diferentes condiciones que pueden causar la misma anomalía. Segundo, entre más exacto se requiera un trabajo, más detallado debe ser el método, pero este requiere más tiempo y es mucho más costoso quedando limitado por el tiempo disponible y la cuestión económica. Tercero, debe tomarse en cuenta que cada

vez que uno realiza un nuevo ajuste en la forma del cuerpo en la interpretación, envuelve 2 o 3 nuevas calculaciones a cada punto sobre el perfil, por lo cual debe uno limitarse a programar los perfiles en una forma detenida y así evitar pérdidas de tiempo y dinero, ya que el costo de operación de una computadora es elevado.

## APENDICE 1

### Comentarios del Programa.

En la carta No. 6, (DIMENSION A (2, 4)), el número 2 debe ser cambiado por el número de modelos a los que se quiere calcular su perfil. En la primera tarjeta de datos, debe escribirse en las primeras 5 columnas, el número de problemas. De la columna 6 a la 15, se debe escribir la distancia máxima (M), de la columna 16 a la 25, se escribe la separación de Pts.

En las siguientes tarjetas de datos se empleará una tarjeta de datos para cada problema que se desee calcular. En cada tarjeta, entre la columna 2 y 11, se debe colocar el valor de I, con 4 fracciones decimales. De la columna 12 a la 16, se pone el valor de T, con 2 fracciones decimales. De la columna 27 a la 41, va el valor de  $Z_1$ . El valor de  $Z_2$  va entre las columnas 42 y 56, también con 2 fracciones decimales.

HECTOR PALAFOX TSN	SOURCE STATEMENT	FORTAN SOURCE LIST	09/22/67
0 \$1BFTC C	THEORETICAL MAGNETIC ANOMALIE DUE TO VERTICAL DIKE.		
1	READ (5,2) N,M,L		
5	2 FORMAT (15,2110)		
6	DIMENSION A(2,4)		
7	READ (5,3) ((A(K,J),J=1,4),K=1,2)		
20	3 FORMAT (F11.4,3F15.2)		
21	10 DO 100 K=1,N		
22	WRITE (6,20) A(K,1),A(K,2),A(K,3),A(K,4)		
23	20 FORMAT(1X4H I = F10.4,4X4H T = F10.4,4X5H Z1 = F10.4,4X5H Z2 = F10.4)		
24	WRITE (6,21)		
25	21 FORMAT(4X8H HOR-DIST13X7H MAG-EFF11X9H FIRST-DER9X10H SECOND-DER)		
26	22 DO 70 I=0, M, L		
27	X=I		
30	V0= 2.*10.**5*A(K,1)*A(K,2)*A(K,3)/(A(K,1)*A(K,3)**2+X**2)-A(K,4) 1/(A(K,1)*A(K,4)**2+X**2)		
31	V1= 2.*10.**5*A(K,1)*A(K,2)*((X**2-A(K,1)*A(K,3)**2)/((A(K,1)*A(K,13)**2+X**2)**2)-(X**2-A(K,1)*A(K,4)**2)/((A(K,1)*A(K,4)**2+X**2)**2))		
32	V2= 8.*10.**5*A(K,1)**2*A(K,2)*X**2*(A(K,4)/(A(K,4)**2+A(K,1)+X**2)**3) 12)**3)- A(K,3)/(A(K,3)**2+A(K,1)+X**2)**3)		
33	WRITE (6,25) X, V0, V1, V2		
34	25 FORMAT(F14.4,F18.6,2F20.8)		
35	70 CONTINUE		
37	100 CONTINUE		
41	STOP		
42	END		

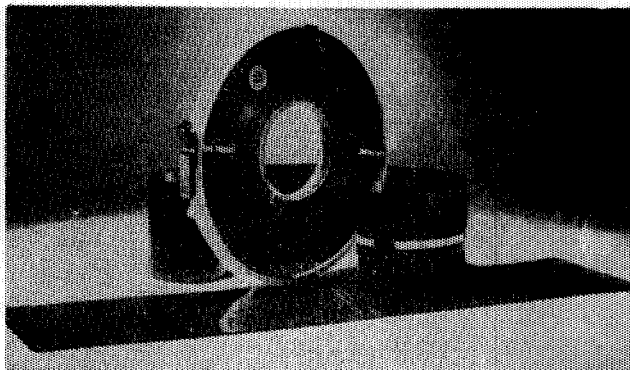
HECTOR PALAFOX			IBLDR --- JOB		000000
OBJECT PROGRAM IS BEING ENTERED INTO STORAGE.					
I =	0.0010	T = 8000.0000	Z1 = 8000.0000	Z2 = 20000.0000	
HOR.DIST		MAG.EFF	FIRST.DER	SECOND.DER	
0.0000	120000.000000		-20.99999952	-0.00000000	
500.0000	-8466.437744		3.58642530	-0.00029693	
1000.0000	-10827.067627		0.83306008	0.00000414	
1500.0000	-6543.924561		0.23169356	0.00000618	
2000.0000	-4123.120911		0.08378010	0.00000296	
2500.0000	-2784.789001		0.03661104	0.00000145	
I =	0.0014	T = 8000.0000	Z1 = 8000.0000	Z2 = 20000.0000	
HOR.DIST		MAG.EFF	FIRST.DER	SECOND.DER	
0.0000	119999.998047		-20.99999952	-0.00000000	
500.0000	-2540.679443		4.17379820	-0.00052255	
1000.0000	-12271.546143		1.31269839	-0.00001149	
1500.0000	-8283.631348		0.40466850	0.00000781	
2000.0000	-5442.714722		0.15315453	0.00000471	
2500.0000	-3751.884125		0.06851575	0.00000250	

## REFERENCIAS

- Bott, M. H. P., 1963, Two methods applicable to computers for evaluating magnetic anomalies due to finite three dimensional bodies: *Geophysical Prospecting*, v. 11, pp. 292-299.
- Dobrin, M. B., 1961, "Introducción a la prospección geofísica. Ediciones Omega, Barcelona. España.
- Elkins, T. A., 1951, The second derivative method of gravity interpretation: *Geophysics*, v. 16, pp. 29-50.
- Grant, F. S. y West, G. F., 1965, "Interpretation theory in applied geophysics: New York. McGraw-Hill.
- Henderson y Zietz, 1949, The up-ward continuation in total magnetic intensities fields: *Geophysics*, v. 14, pp. 517-534.
- Hughson, J. T., 1964, The calculation of total-intensity magnetic anomalies for certain bodies by digital computers.
- Muriedas, A., 1966, La exploración de áreas nuevas por el método aeromagnético: *A.M.G.E.*, v. 7, pp. 245-269.
- Nettleton, L. L., 1942, Gravity and magnetic calculations: *Geophysics*, v. 7, pp. 302.
- , 1954, Regionals, residuals and Structures: *Geophysics*, v. 19, pp. 1-22.
- Peters, L. J., 1949, The direct approach to magnetic interpretation and its practical application: *Geophysics*, v. 14, pp. 290-320.
- Reford, N. S. y Sumner, J. S. 1964, Aeromagnetics: *Geophysics*, v. 29, pp. 482-516.
- Swartz, C. A., 1954, Some geometrical properties of residuals maps: *Geophysics*, v. 19, pp. 46-70.
- Talwani, M., 1965, Computation with help of a digital computer of magnetic anomalies caused by bodies of arbitrary shape: *Geophysics*, v. 30, pp. 797-817.
- Talwani, M. y Heirtzler, J. R., 1964, Computational of magnetic anomalies caused by two dimensional structures, of arbitrary shape; *Computers in the mineral industries, part 1; Staford University Publications, Geol. sciences*, v. 9, pp. 464-480.

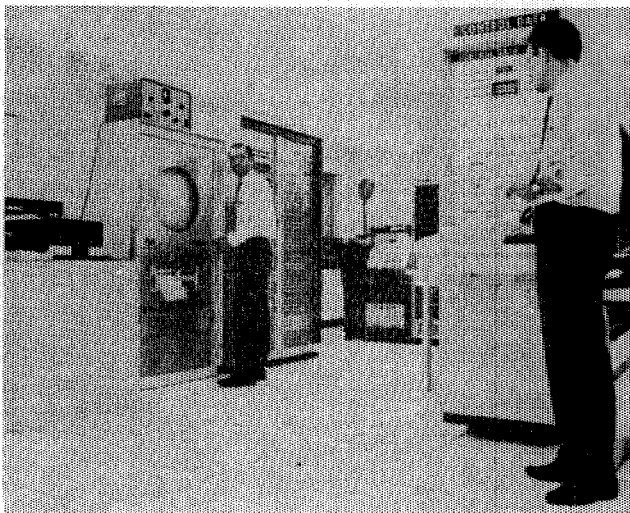
## Petty procesa cintas como estas

(Grabaciones Sismológicas,  
analógicas o digitales hechas  
por usted o por Petty)



## en estas computadoras

(El muy completo centro de  
Proceso de Petty en San Antonio,  
Texas, incluye un sistema de  
Computación CDC, asociado con  
equipo de conversión ADA, de  
máxima capacidad sísmica  
y un grupo experimentado de  
programación Geofísica)



con

## programas sofisticados

(Punto Común de Reflección,  
apilamiento, deconvolución  
de reverberación filtrado de  
fase 0, etc.)

Para encontrar más aceite, lo  
invitamos a usar los 40 años de  
experiencia de Petty,  
en Exploración Geofísica.



HOME OFFICE: TOWER LIFE BUILDING  
SAN ANTONIO, TEXAS, U.S.A. — TEL: 512 CA 6-1393

**PETTY GEOPHYSICAL ENGINEERING CO. DE MEXICO, S.A. DE C.V.**  
Av. Juárez 97 — Desp. 405-406 — Tel. 21-08-34 — México 1, D.F.



## **EXPLORACIONES:**

**GEOHIDROLOGICAS**

**PETROLERAS**

**GEOFISICAS**

**MINERAS**

## **ESTUDIOS:**

**CORROSION SUBTERRANEA**

**MECANICA DE SUELOS**

**AGUA SUBTERRANEA**

**REG. ELEC. EN POZOS**

**TOPOGRAFICOS**



## **FABRICACION Y VENTA DE EQUIPOS:**

**RELACION DE CAIDAS DE POTENCIALES**

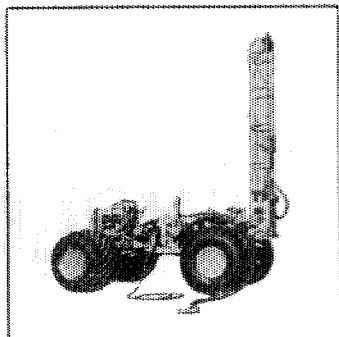
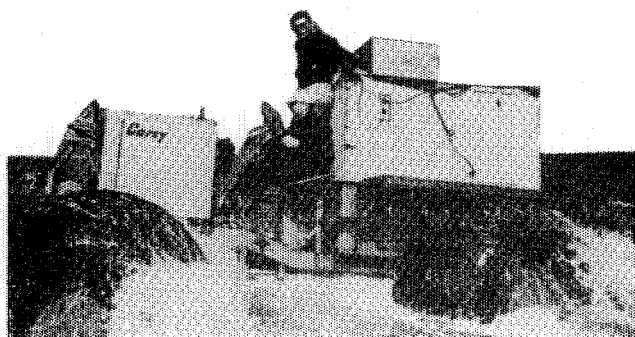
**REGISTROS ELECTRICOS DE POZOS**

**RESISTIVIDAD ELECTRICA**

**POLARIZACION INDUCIDA**

**SOLICITE INFORMES A: SAN JUAN DE LETRAN 475-B-103**

**CIUDAD TLATELOLCO — MEXICO 3, D. F.**



LA UTILIDAD DEL TRANSPORTADOR FLOTANTE "CAREY"  
EN ACCION EN EL AREA MAR DEL NORTE.

## "TRANSPORTADOR FLOTANTE CAREY"

Considere estas ventajas cuando usted planee su próximo trabajo:

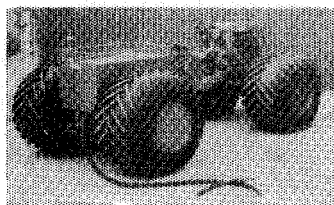
**ROBUSTEZ.**—Eje de Conducción Planetario (standard en todos los "transportadores flotantes" CAREY) elimina rompimientos del eje y diferencial.

**SEGURIDAD.**—Es fácilmente obtenible un servicio de campo completo y garantiza un máximo de eficiencia. Todos los "transportadores flotantes", utilizan máquina de encendido automático, dirección de poder, y en la parte trasera tiene un cabrestante o malacate. Es aprovechable para 24 hrs. de servicio.

**VERSATILIDAD.**—Los "transportadores flotantes" vienen equipados, con equipo de perforación, tanques de agua, cabina de instrumentos, soportes, y son completamente anfibios para todas las operaciones. Dependiendo del terreno, son opcionales las llantas de tierra firme o llantas de agricultura.

Permita que CAREY trabaje con usted para sus diseños en áreas difíciles o pantanosas según sea su aplicación específica. Se puede tener rentado o comprado.

Llame o escriba a CAREY MACHINE & SUPPLY CO., 5810 South Rice Ave., Houston, Texas 77036. Teléfono 713 Mo 7-5695 o en México a Distribuidores Industriales. Lafragua No. 13-201, México 1, D. F., Tel. 35-24-07.



VEHICULO ANFIBIO CAREY  
ROBUSTEZ - SEGURIDAD - ECONOMIA

REPRESENTANTES EN MEXICO:  
DISTRIBUIDORES INDUSTRIALES, S. A  
Lafragua No. 13-201

# EXPLORACIONES,

===== S. A. =====



Iturbide No. 36 Desp. 201

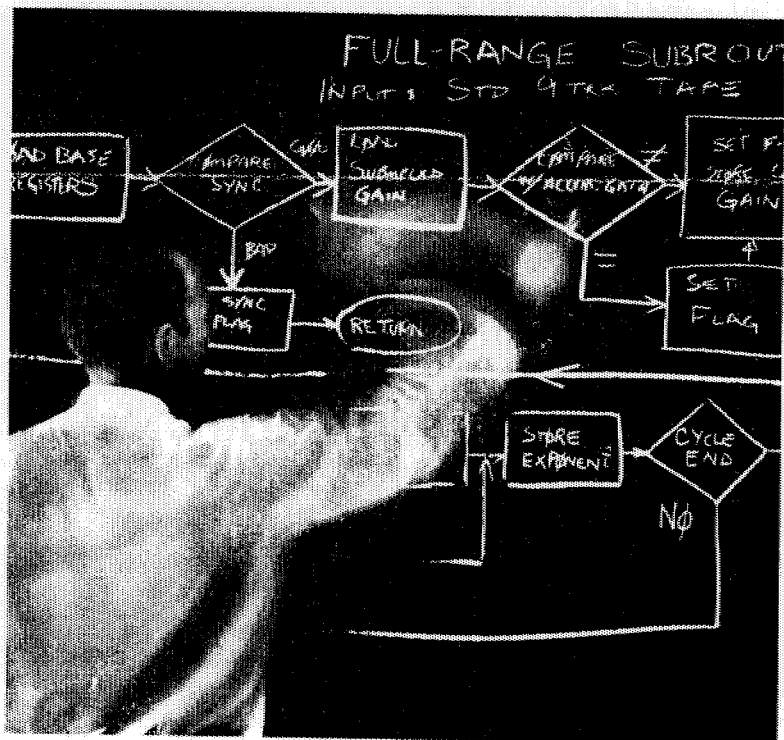
Tel. 10-15-64

MEXICO, D. F.

# WESTERN

## SIEMPRE *EN MARCHA*

desde la programación de rango completo producida por amplificadores de incremento binario, hasta los nuevos conceptos sobre orígenes sísmicos.



933 North La Brea Avenue • Los Angeles, California 90038, E.U.A.  
520 North Market Street • Shreveport, Louisiana 71107, E.U.A.

**WESTERN**  
**GEOPHYSICAL**   
DIVISION OF LITTON INDUSTRIES

# **PERFORACIONES, S. A.**

**CONTRATISTA DE PERFORACION  
EXPLORATORIA DESDE 1950 PARA**

**PETROLEOS MEXICANOS**

**SECRETARIA DE MARINA**

**CONSTRUCTORA MALTA, S. A.**

**NATIONAL SOIL SERVICES, CO.**

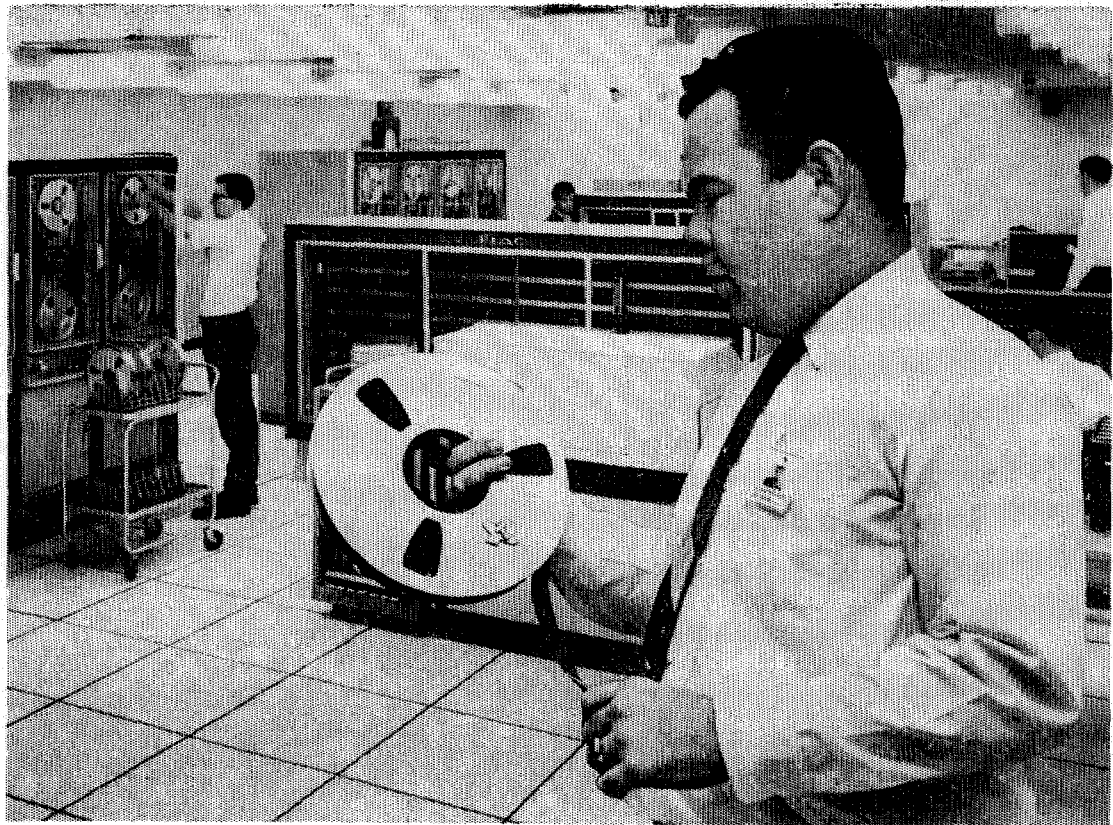
**CIA. FUNDIDORA DE FIERRO Y  
ACERO DE MONTERREY, S. A.**

**Y PARTICULARES**

**AVENIDA JUAREZ No. 119 - 5o. PISO**

**Teléfonos: 21-37-25 y 21-36-42**

**MEXICO 1, D. F.**



**Su trabajo: PRODUCCION SISMICA!**

**Procesos solicitados: PROGRAMAS AEN-0, DCN-1, DPG-0**

La cinta que Carlos Bissell se prepara a montar en un centro GSI de procesamiento, contiene registros de una de las líneas principales de su levantamiento marino. La oficina de interpretación necesita una sección después de que los sismogramas han sido editados (eliminadas trazas ruidosas, cambio de polaridad, etc.), corregidos por desplazamiento horizontal, deconvueltos y reunidas las trazas de profundidad común. Usted tiene prisa por ver los resultados en el informe semanal. Ahora es el momento en que Carlos tiene que producir.

¿Qué le ayuda a Carlos a producir? Primero, él conoce su trabajo. Ha sido entrenado para ello y tiene más de cinco años de experiencia en producción sísmica, 12 meses de esta aquí mismo, en este centro. Segundo, trabaja con equipo digital de alta velocidad, probado en producción y específicamente diseñado para procesar datos sísmicos. Tercero, tiene a su mando una biblioteca completa de alta eficiencia, programas de producción para aprovechar la potencia elaboradora del TIAC. Sobre todo, él está respaldado por hombres de la mayor, experiencia digital en producción sísmica—

Programadores, geofísicos de área, sismólogos, investigadores y gerentes de operaciones.

Con todo este apoyo, Carlos tiene que producir. Es su levantamiento y Ud. quiere su información geofísica libre de ruido y múltiples, y deconvuelta.

GSI está entregando producción sísmica digital en todo el mundo. Carlos podría hacer este mismo trabajo al igual que otros en centros de procesamiento sísmica digital pertenecientes a GSI en Dallas, Nueva Orleans, Midland, Houston, Londres, Calgary y en otros que se abrirán próximamente.

GSI significa producción geofísica, sísmica digital o analógica, gravimetría, magnetometría, acumulación de datos de campo, procesamiento o interpretación.

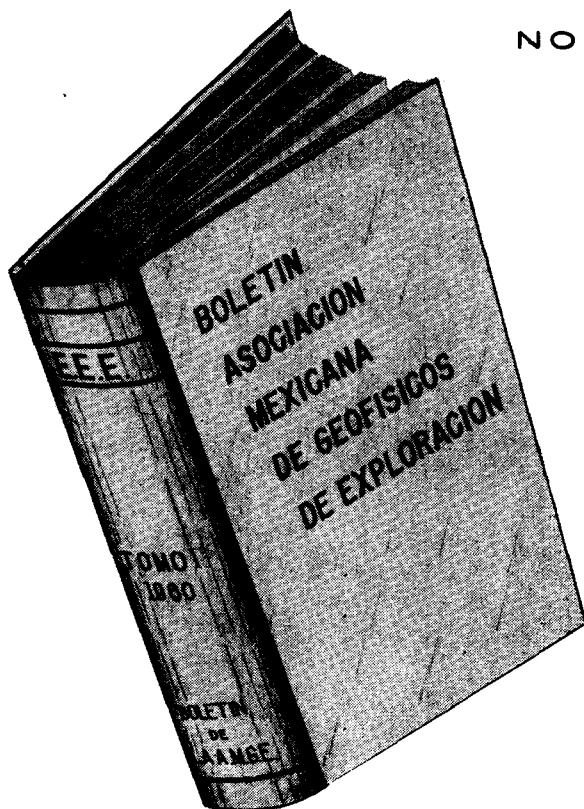
Estamos obligados a ello. Es nuestro trabajo.

**GSI**

**de Mexico S. A. de C. V.**

AVENIDA JUAREZ 119, DESPACHO 42  
MEXICO CITY, D. F.





SOCIOS  
\$100.00  
NO SOCIOS  
\$150.00

ADQUIERA UD. LOS VOLUMENES NUMEROS I - II - III - IV -  
V - VI - VII Y VIII CORRESPONDIENTES A LOS AÑOS DE 1960 -  
1961 - 1962 - 1963 - 1964 - 1965 - 1966 Y 1967 EMPASTADOS EN  
KERATOL CON SUS INICIALES GRABADAS EN ORO.

PEDIDOS A LA  
ASOC. MEX. DE GEOF. DE EXPL.