

B O L E T I N

D E L A

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

S U M A R I O:

- GENERACION DE UNA MALLA REGULAR A PARTIR DE DATOS IRREGULARMENTE ESPACIADOS UTILIZANDO LA TEORIA DE LAS VARIABLES REGIONALIZADAS.
DAVID H. ZAMORA GUERRERO Y
JUAN M. BERLANGA GUTIÉRREZ
- LA CARTA DE LA DECLINACION MAGNETICA SINTETICA EN EL TERRITORIO NACIONAL.
JOSÉ O. CAMPOS ENRÍQUEZ Y
JOSÉ DE J. CAMPOS ENRÍQUEZ
- CALCULO DE SISMOGRAMAS SINTETICOS EN PRESENCIA DEL EFECTO DE ABSORCION.
GUILLERMO A. PÉREZ CRUZ Y
DAVID H. ZAMORA GUERRERO
- ESTATUTOS DE LA ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION.



perforadata, s. a.

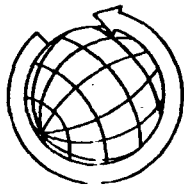
SERVICIOS DE EXPLORACION

- **GRAVIMETRIA**
- **SISMOLOGIA**
- **PERFORACION**
- **GASOMETRIA**
- **DELTA CARBONATOS**
- **POZOS DE AGUA**

**CON LA EXPERIENCIA DE 35 AÑOS AL SERVICIO DE LA INDUSTRIA
PETROLERA MEXICANA.**

**EDGAR ALLAN POE # 85
COLONIA POLANCO
MEXICO, D. F.**

**TEL.: 531-02-48
545-51-94**



GEOEVALUACIONES, S.A.

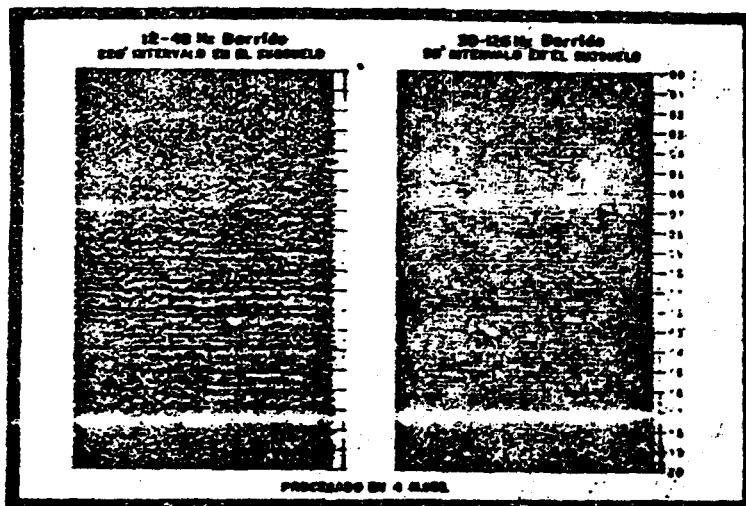
ESPECIALISTAS EN EXPLORACION

- EXPLORACION GEOELECTRICA.
- LEVANTAMIENTOS GEOHIDROLOGICOS INTEGRALES.
- EXPLORACION GEOLOGICA.
- PROSPECCION GRAVIMETRICA Y MAGNETOMETRICA.
- FOTOINTERPRETACION.
- LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS Y GEODESICOS.
- PROCESAMIENTO DE DATOS GEOFISICO-GEOLÓGICOS.
- EXPLORACION MINERA.
- SERVICIOS DE INTERPRETACION.
- ASESORIAS ESPECIALES.

Av. Amacuzac # 615 Tel. 5-32-3919 y 6-720992 Codigo Postal 09440
Col. San Andres Tetepilco México, 13 D.F.

Mayor energía para usted!

**MAYOR ENERGIA
MEJOR PENETRACION Y RESOLUCION
DEL VIBRADOR DE ESPECTRO AMPLIO
MAS POTENTE EN LA PRODUCCION
DE HOY**



El vibrador estándar de GSI, de alto poder en las más desafiante la más alta energía que se ofrece en el más fiable al de mayor precisión y el más digno de confianza.

POTENCIA: De 30,240 libras de fuerza³ plus permite el uso de masas pequeñas en el campo.

FLEXIBILIDAD: El vibrador de GSI puede mover hacia abajo o hacia arriba tanto como potencia entre 5 y 500 Hz con amplificación constante a la baja frecuencia.

PRECISIÓN: Los circuitos electrónicos patentados permiten un control de amplitud de fase que reduce considerablemente la distorsión armónica y permite barridos hacia arriba o hacia abajo o hacia fuera sobre el rango completo de frecuencia.

Los análisis están sincronizados con precisión mediante pulsos de radio que permiten un mayor eficiencia en el campo.

CONFIANZA: El diseño mecánico con mayor resistencia a las condiciones de operación y mantenimiento, reduciendo de este manera el costo sobre que se tiene para reparar.

A disposición inmediata.

Para mayor información, llamar o escribir a:
**GSI DE MEXICO, S.A. DE C.V. 200 0000 00, 20
7° PISO MEXICO D.F. TEL. 505-22-44.**



GSI DE MEXICO, S.A. DE C.V.

2000-0000 00

TEXAS INSTRUMENTS

ONE OF THE WORLD'S

**GEOFISICOS CONSULTORES PARA
PETROLEOS MEXICANOS**



Seiscor Corporation of Mexico

**RIO TIBER 50-101 MEXICO 5, D.F.
TELEFONOS : 514-47-94 514-47-96**

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

ESPECIALIZADOS EN :

SERVICIO DE GEOFISICA

- Levantamientos :**
- Sismológicos
 - Gravimétricos
 - 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

GENERACION DE UNA MALLA REGULAR A PARTIR DE DATOS
IRREGULARMENTE ESPACIADOS UTILIZANDO LA TEORIA
DE LAS VARIABLES REGIONALIZADAS

M. en C. David H. Zamora Guerrero *

Dr. Juan M. Berlanga Gutiérrez **

INTRODUCCION

La teoría de las variables regionalizadas, desarrollada por Matheron, puede ser aplicada efectivamente en la fase de estimación de un programa general de configuración de datos - irregularmente espaciados. Tratándose de información geofísica (datos gravimétricos, magnéticos, sísmicos, etc.) de naturalezas estocástica y determinística, tal teoría permite inferir valores donde por razones económicas o físicas no se tuvo acceso a ellos.

La herramienta básica de las variables regionalizadas conocida como "semivariograma" capta la relación espacial (o correlación) existente entre la información de interés y, en su ulterior utilización, juega un papel importante dentro del - procedimiento de estimación conocido como "kriging ordinario".

En este trabajo se proponen explotar todas las ventajas

* Petróleos Mexicanos
 Subdirección de Producción Primaria
 Coordinación Ejecutiva de Exploración
 Gerencia de Integración e Interpretación

** Minera Carbonífera Río Escondido (MICARE)
 Subdirección de Evaluación, Informática y Almacenes

inherentes del kriging ordinario para la estimación de los - puntos que conforman la malla regular, parte del proceso de - configuración automatizada.

CONFIGURACION AUTOMATICA

De las muchas aplicaciones de la configuración automática, la configuración de mapas que muestran el relieve estructural de las rocas del subsuelo, son críticamente importantes. Estos mapas son usados para controlar la exploración y explotación de yacimientos de petróleo o gas, ya que la ocurrencia del petróleo o gas está íntimamente relacionada con las características estructurales de las formaciones potencialmente - productoras. De lo anterior se desprende la necesidad de contar con un algoritmo confiable para la obtención de mapas configurados automáticamente.

En la mayoría de los esquemas de propósito general para configuración automática a partir de muestras al azar, los - siguientes pasos son llevados a cabo:

1. Se leen los datos crudos (o datos de campo) a ser configurados, junto con especificaciones del control del mapa como son títulos y alguna otra información para ser colocada en el mapa.
2. Se genera automáticamente un arreglo rectangular (por medio de algún algoritmo de interpolación) que contiene - los valores estimados de la superficie a configurar en - los nodos de una malla regular ("enmallado").
3. La malla regular es utilizada para producir "isopletas" (curvas de igual valor sin importar la naturaleza de los datos), por interpolación entre nodos.

4. Las isopletras son trazadas por un graficador.

De los pasos anteriores, el "enmallado" representa la etapa crucial, ya que, además de consumir la mayor parte del tiempo de computación, los resultados finales dependen de su precisión. Existen algunos criterios generales y obvios para juzgar la efectividad del algoritmo para generar la malla. Por ejemplo:

1. La isopletra resultante no debe contradecir los datos, esto es, la isopletra deberá ser exacta al menos en los puntos de control.
2. Las isopletras deberán ser curvas suaves, de tal manera que sean atractivas estéticamente y "naturales" en apariencia.
3. En algunos casos el requerimiento ha sido de que el mapa se parezca en mucho, a aquél que sería producido por un intérprete usando interpolación visual.
4. El tiempo de computación debe ser "razonable", de tal manera que el costo de un mapa configurado automáticamente sea competitivo con el producido manualmente.

Aunque existen muchos métodos para generar una malla de datos a partir de puntos irregularmente espaciados, la práctica ha mostrado que los métodos geoestadísticos, son los que más se acercan al grado de sofisticación requerido por un intérprete (Davis y David, 1978).

ESTIMACION PUNTUAL OPTIMA (SENTIDO GEOESTADISTICO)

La teoría geoestadística toma en cuenta la estructura de la correlación de una variable regionalizada dualmente. Esto

es atractivo tanto por las ventajas descriptivas como por las cuantitativas. En un nivel cualitativo, tal teoría permite - tener una idea de la estructura de la variabilidad del fenómeno bajo estudio; rasgos tales como zona de influencia de una muestra, anisotropías en diferentes direcciones y la continuidad de la variable medida, pueden ser definidos con precisión. Y en el nivel cuantitativo, tal teoría permite que la precisión de los estimadores usados, por ejemplo, en la estimación de un depósito mineral, sea determinada. Una vez que ha sido establecida la estructura de la variabilidad del fenómeno de interés, la variancia de estimación puede ser obtenida de una manera directa.

EL SEMIVARIOGRAMA

La herramienta básica de la geoestadística la constituye la función semivariograma, la cual mide el grado de correlación espacial entre muestras. El primer paso en cualquier estudio geoestadístico es la determinación del semivariograma experimental, $\gamma^*(h)$, el cual es definido a partir del valor esperado de la diferencia al cuadrado entre dos muestras $Z(x)$, $Z(x+h)$ separadas por un desplazamiento h . Lo anterior quedaría expresado por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E \left\{ (Z(x+h) - Z(x))^2 \right\} \quad \dots (1)$$

El semivariograma teórico dependiente de h y dado en (1) es definido entonces como la mitad de la variancia de las diferencias entre dos variables aleatorias separadas la distancia h .

El semivariograma experimental, como representación -

muestral del semivariograma teórico, es obtenido, para una dirección particular α , considerando todos los pares $N(h)$ de las muestras $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ separadas por una distancia h en tal dirección. Tal semivariograma queda expresado como:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i+h) - Z(x_i)\}^2 \quad \dots (2)$$

Para cada valor de h , se obtiene un punto de la gráfica γ vs. h . Esta función es evaluada en varias direcciones para determinar si existe anisotropía en la estructura de variabilidad del fenómeno. En términos generales podría decirse que, el semivariograma es una función creciente ya que dos muestras separadas difieren entre sí más, al aumentar la distancia que las separa.

Mientras un semivariograma experimental puede ayudar a determinar la estructura de correlación de un fenómeno ligada, por ejemplo, con la génesis de un yacimiento, todas las especulaciones de un fenómeno deben ser producidas a partir de un proceso de inferencia. El proceso sería análogo al del histograma de las muestras, es decir, del histograma teórico asociado al fenómeno en su totalidad.

Así pues, si un semivariograma experimental es construido, éste debe estar relacionado a un modelo teórico, si es que se quieren hacer conclusiones o estimaciones para aquellas áreas que no han sido muestreadas. Tales modelos son usados en la etapa del "krigeage" y otros procedimientos de estimación.

Existen ciertos modelos para un semivariograma. Estos se dividen en dos grupos. Uno de ellos es donde el semivariograma teórico se incrementa desde el inicio conforme aumenta

la distancia y tiende a nivelarse a un valor constante de . Entonces se dice que el modelo tiene meseta ("sill"), que generalmente se representa por la letra "C".

El otro grupo lo constituyen los modelos sin meseta, de los cuales el más frecuentemente usado es el modelo lineal. Este semivariograma es simplemente una línea recta que pasa - por el origen y está definido por su pendiente "p".

De los modelos que poseen meseta, los dos más comúnmente usados son el "esférico" y el "exponencial". El modelo esférico crece rápidamente, hasta nivelarse a una cierta distancia, en su meseta. Esta distancia, generalmente denotada por la letra "a", es la que define la distancia hasta la cual - existe correlación entre las muestras. Los puntos separados con distancias mayores a "a" no están relacionados o son independientes entre sí; por lo tanto, "a" es referida como la extensión de influencia (algunos usan una traducción desafortunada de "rango") de una muestra dentro del fenómeno en estudio. A continuación se presentan las expresiones y gráficas de los modelos teóricos más comunes:

MODELOS CON MESETA

ESFERICO	$\gamma(h) = C [(3h/2a) - (h/2a)^3]$ = C	, $h \leq a$, $h > a$
EXPONENCIAL	$\gamma(h) = C [1 - \exp(h/a)]$	
GAUSSIANO	$\gamma(h) = 1 - \exp((-h/a)^2)$	
EFEECTO PEPITA	$\gamma(h) = 0$ = C	, $h=0$, $h>0$

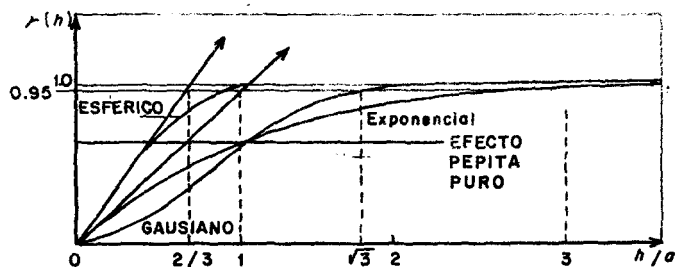


Fig. 1.- Modelos esférico, exponencial y gaussiano mostrando meseta.

MODELOS SIN MESETA

LINEAL	$\gamma(h) = ph$	
LINEAL GENERALIZADO	$\gamma(h) = ph^w$, $0 < w < 2$

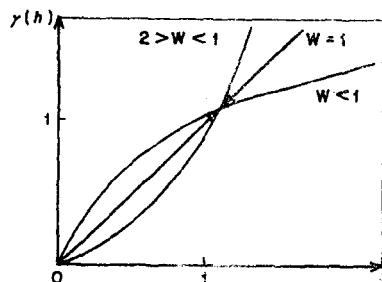


Fig. 2.- Modelos en h^w

La teoría geoestadística permite el cálculo de la variancia del error efectuado al extender el valor promedio pesado obtenido de un conjunto de muestras a un valor promedio desconocido Z^* de un nodo (o bloque) de tamaño específico, forma y orientación. Se trata de estimar el valor medio $Z(x)$ de un nodo por medio de una combinación línea Z^* a partir de n datos conocidos.

Si $Z_k^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$ es el promedio pesado del conjunto de muestras k , con coeficientes de peso λ_i , satisfaciendo $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, para una estimación insesgada, entonces la variancia del error en términos del semivariograma está dada por:

$$\sigma_E^2 = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, V) - \gamma(V, V) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) \quad \dots (3)$$

donde $\gamma(x_i, V)$ denota el valor medio de $\gamma(h)$ cuando un extremo del vector h está fijo en el punto x_i y el otro extremo describe independientemente el nodo (o bloque de volumen V).

La variancia de estimación, según la expresión (3), depende de la estructura de la variabilidad del fenómeno así reflejada en el variograma, de la geometría y posiciones relativas del nodo o bloque y del conjunto de muestras k . La variancia es también una función de los coeficientes λ_i y para una estimación óptima, éstos son escogidos de tal manera que la variancia de la estimación sea mínima.

KRIGING

El método del krigeage es una técnica de estimación local, la cual proporciona el mejor estimador lineal insesgado de las características desconocidas del fenómeno en estudio.

El objetivo de la estimación local es encontrar el mejor estimador del valor medio de una variable regionalizada asociada a un dominio limitado de dimensiones menores a los de la zona de quasi-estacionariedad del fenómeno.

La información requerida por el método del krigage consiste de un conjunto de datos (permeabilidades, porosidades, leyes de mineral, datos gravimétricos, etc.), e información estructural, es decir, del modelo del semivariograma que caracteriza la variabilidad de la zona estudiada.

El valor en cada nodo de la malla será estimado linealmente a partir de los n datos experimentales por el estimador lineal Z_k^* :

$$Z_k^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad \dots (4)$$

Los n coeficientes λ_i se calculan asegurando que el estimador Z_k^* sea insesgado y que la variancia de estimación sea mínima.

Aplicando el método de los multiplicadores de Lagrange es posible encontrar el conjunto óptimo de coeficientes λ_i sujetos a la condición $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$. Se genera así, un sistema lineal de $(n+1)$ ecuaciones con $(n+1)$ incógnitas (los n coeficientes λ_i más el multiplicador de Lagrange μ). Este sistema lineal se denomina "sistema del krigage", el cual queda expresado en función del semivariograma de la manera siguiente:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_k, x_i) + \mu = \gamma(x_k, V) \quad , \quad \forall k = 1, \dots, n \quad \dots (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad \dots (6)$$

Una vez resuelto el sistema para los coeficientes λ_i , la obtención de la variancia de estimación o variancia del krigage, es inmediata:

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i, V) + \mu - \gamma(V, V) \quad \dots (7)$$

En las expresiones anteriores x_i representa el soporte de la i-ésima muestra ubicada dentro de la zona de quasi-estacionariedad (zona de influencia determinada por el alcance de correlación o rango del semivariograma) y V denota el soporte del nodo cuyo valor promedio se desea estimar.

METODO DE TRABAJO

Para poder aplicar los conceptos anteriores fue necesario aplicar la siguiente metodología:

1. Desarrollo de la programación que cubre los dos aspectos fundamentales de una estimación geoestadística, es decir, el cálculo del semivariograma y la estimación kriging. En particular se desarrollaron programas para la generación de histogramas, el cálculo de la media, la variancia y los valores extremos de los datos, todo en un primer análisis estadístico de la información.
2. Cálculo de semivariogramas en varias direcciones con el objeto de poder determinar posibles anisotropías así como la obtención de los parámetros básicos del modelo del semivariograma ajustado (alcance de correlación, meseta, efecto pepita).
3. Estimación de los nodos de la malla por el método kriging.

RESULTADOS

En un experimento que consistió en la configuración de datos de anomalía de Bouguer de un prospecto de exploración petrolera (Fig. 3), la información original consistió de 4,967 puntos de control irregularmente espaciados e identificados, dentro de la zona de interés, por sus coordenadas X, Y y Z (anomalía de Bouguer).

Tres semivariogramas en las direcciones 0 (W-E), 45 (NE-SW) y 90 (N-S) grados (tabla 1, Figuras 4, 5 y 6) fueron generados y representados por modelos esféricos sobre los cuales discontinuidad al origen (efecto pepita) con un valor aproximado de $70 U^2$ atribuibles, principalmente, a errores en la medición, fueron observados. El alcance de correlación ("rango") es de aproximadamente 20,000 m, pero debido a la distribución espacial de los datos, un radio de búsqueda de 5,000 m es suficiente; por lo tanto, esto representa un ahorro en el tiempo de cómputo en la estimación de los nodos.

En las direcciones 45 y 90 grados se presentó un fenómeno conocido como "efecto de agujero", resultante de los cambios sucesivos existentes entre máximos y mínimos gravimétricos.

Con respecto a la estimación kriging, ésta se llevó a cabo una vez determinados los parámetros del modelo esférico de transición (modelos que tienen meseta). Estos parámetros fueron los siguientes:

efecto pepita	:	70.0
rango	:	20,000.0
meseta	:	8,000.0
tipo de estimación	:	"kriging normal"
radio de búsqueda	:	5,000.0

[illegible]

Fig. 3 - Histograma correspondiente a los 4967 datos de anomalía de Bouguer.

SEMIVARIOGRAMA : SOMBRETE									

MEDIA = -50564E-04 VARIANZA = .85195E-04 NUMERO DE DATOS = 4967									
TOLERANCIA DE LA DIRECCION 15- GRADOS : DIST = 2500-00 TOLERANCIA DEL DIST.									
DIRECCION 1 : DIRECCION 2 : DIST. : 90-0 GRADOS : 500-00 :									
INT :	NC	DIST	VARIOGRAMA	NC	DIST	VARIOGRAMA	NC	DIST	VARIOGRAMA
1 :	624	444.7	.6863E-02	600	451.4	.71119E-02	629	447.2	.64894E-02
2 :	4793	2531.2	.92296E-03	4356	2539.3	.12437E-04	4490	2533.8	.95975E-03
3 :	10083	5008.5	.24635E-04	9846	5019.9	.33846E-04	9814	5012.2	.26044E-04
4 :	14357	7509.	.38594E-04	13933	7508.9	.52845E-04	11368	7506.4	.49744E-04
5 :	18908	10009.2	.57540E-04	16990	10005.6	.73492E-04	11830	1000.5	.65313E-04
6 :	21982	12595.5	.64118E-04	12015	12506.4	.84118E-04	118747	12593.8	.78974E-04
7 :	25932	15002.5	.67285E-04	12050	15005.5	.92487E-04	120854	14999.5	.85862E-04
8 :	29953	17502.4	.76706E-04	12541	17502.3	.85961E-04	121787	17501.7	.78177E-04
9 :	32308	20000.	.77958E-04	127531	20003.7	.89348E-04	123002	22499.2	.64982E-04
10 :	35729	22507.2	.84717E-04	130224	22502.7	.78549E-04	123327	25498.9	.64982E-04
11 :	38352	24999.3	.85344E-04	131286	27500.4	.78456E-04	123809	27496.3	.56111E-04
12 :	42352	27499.3	.93348E-04	132082	30002.3	.70377E-04	120374	29499.4	.55042E-04
13 :	45352	29999.7	.97951E-04	132706	32496.8	.72004E-04	118932	32493.3	.55042E-04
14 :	47232	34999.	.10052E-05	132009	35001.0	.83054E-04	116774	35000.7	.55042E-04
15 :	49019	37501.2	.10225E-05	131774	37497.1	.86263E-04	113514	37494.7	.61311E-04
16 :	51817	39998.	.10345E-05	131774	39995.4	.10626E-05	111155	39992.5	.61789E-04
17 :	51430	42500.8	.10747E-05	129356	44995.4	.11298E-05	8139	42490.4	.69733E-04
18 :	54766	44999.4	.11259E-05	128315	47500.2	.11862E-05	5431	44982.8	.83100E-04
19 :	54255	47499.7	.11614E-05	125954	49997.7	.12097E-05	5403	47490.1	.10211E-05
20 :	54255	50000.	.11825E-05	125954	52498.4	.11512E-05	5403	49957.9	.94008E-04
21 :	551054	52499.7	.11926E-05	123782	54996.7	.10802E-05	11565	52490.4	.77492E-04
22 :	54922	54998.7	.11978E-05	121002	57497.7	.98562E-04	300	54992.5	.87266E-04
23 :	54906	57497.5						57494.3	.11324E-05
24 :									

Tabla 1 - Valores de los semivariogramas en las direcciones 0, 45 y 90 Grados.

SEMIVARIOGRAMA DE LA VARIABLE SOMERRETE
DIRECCION 0.00 GRAOS

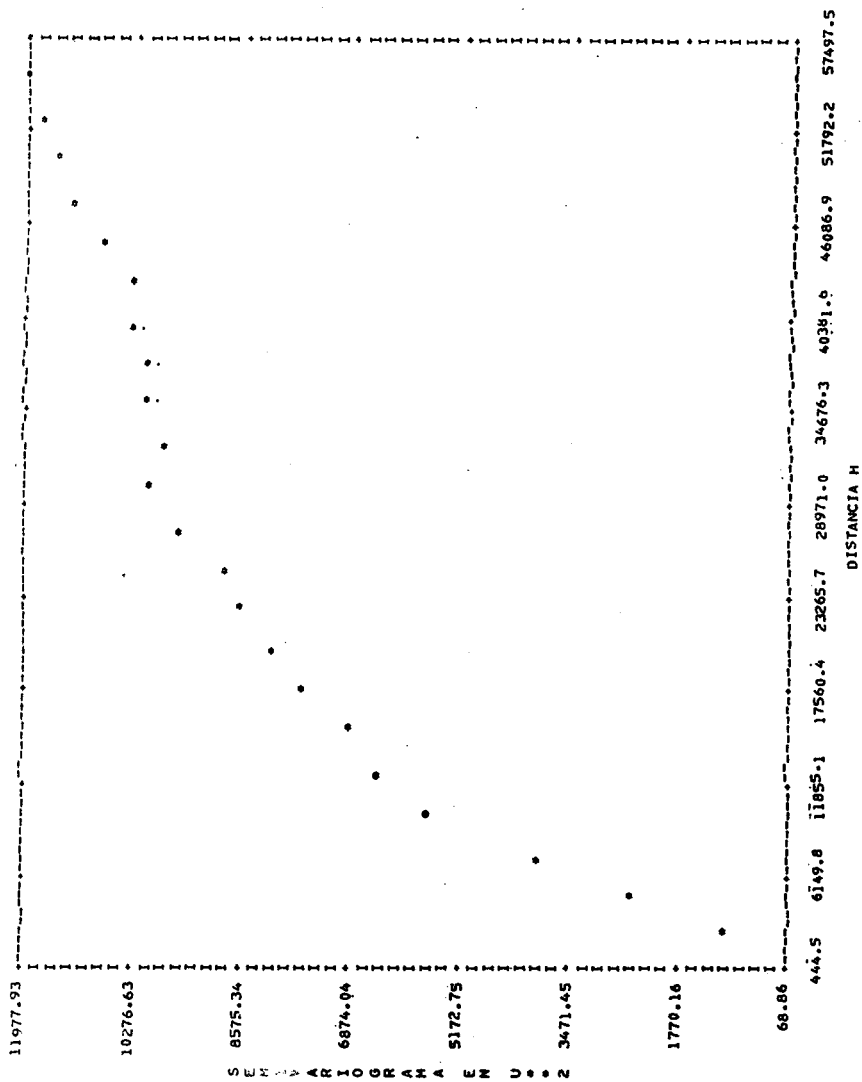


Fig. 4 - Gráfica del semivariograma en la dirección W-E (0 grados)

SEMI-VARIÓGRAMA DE LA VARIABLE SOMBRERETE
DIRECCIÓN 45.00 GRADOS

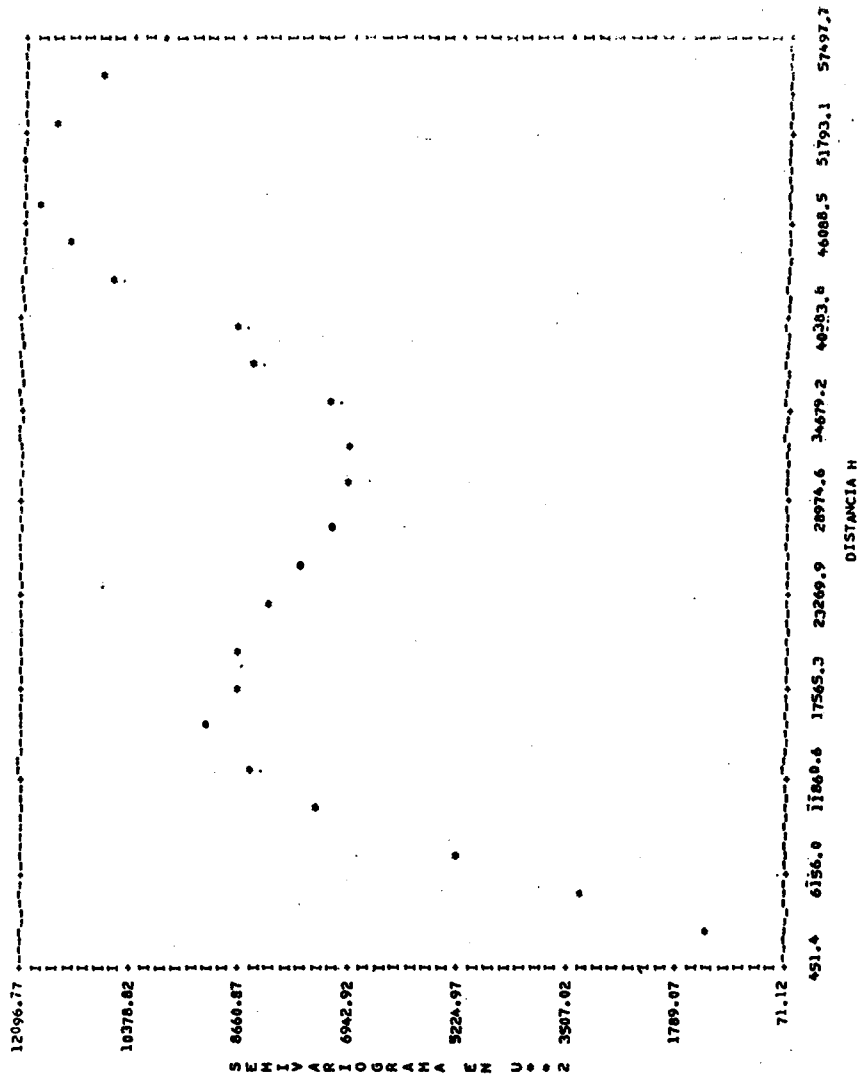


Fig. 5 - Gráfica del semivariograma en la dirección NE-SW (45 grados)

SEMIVARIOGRAMA DE LA VARIABLE SOBREMENITE
DIRECCION 90.00 GRADOS

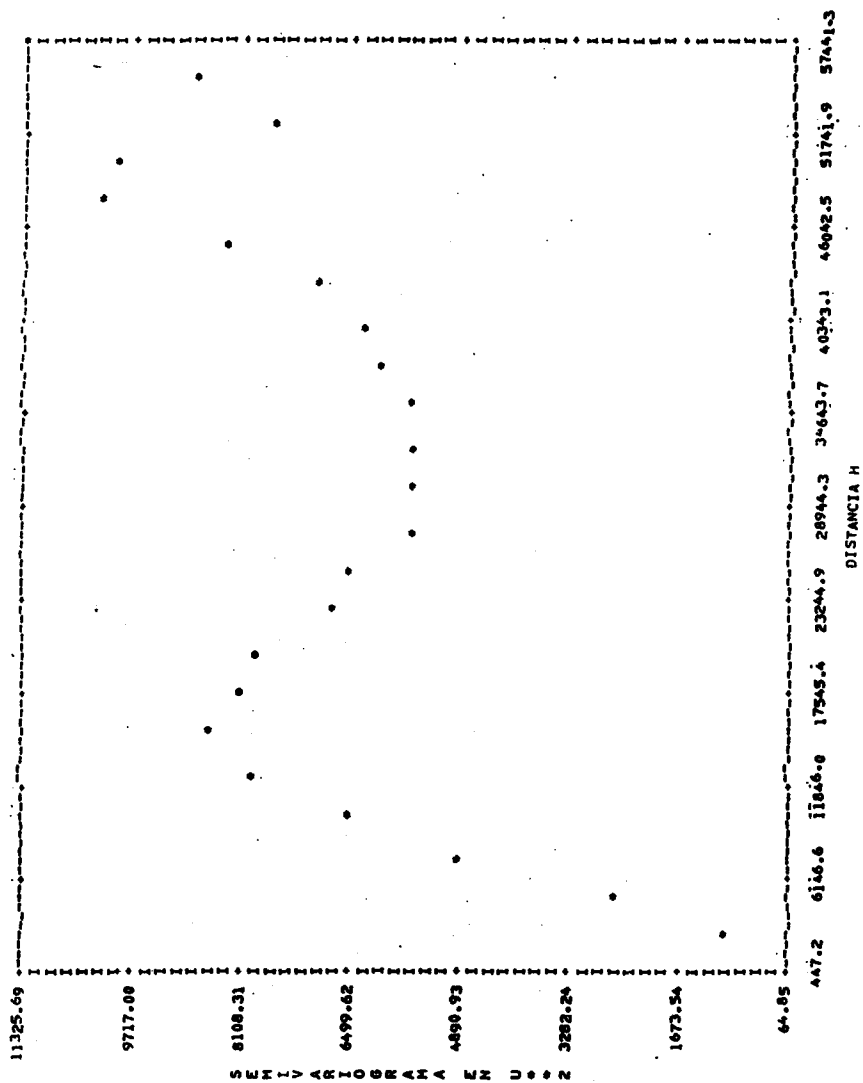


Fig. 6 - Gráfica del semivariograma en la dirección N-S (90 grados)

Del histograma se determinó si la estimación sería mediante el kriging normal o lognormal. En este caso se utilizó kriging normal.

Los resultados de la estimación por kriging pueden juzgarse de las gráficas mostradas por las Figuras 7 y 8, y que corresponden a mapas de contornos generados por el paquete - GPCPII. En el primero de ellos se utilizó el método de interpolación que viene integrado en el paquete y el segundo se utilizó la estimación del kriging normal.

CONCLUSIONES

Aunque para este trabajo basado en kriging un solo mapa fue generado, la comparación visual entre el mapa obtenido - por el método de pesos basados en la distancia y proyección de los planos tangentes (del paquete de configuración automática de propósito general GPCPII) y el mapa resultante generando una malla por kriging, muestra inmediatamente un plano más suave en el obtenido por este último método y que no es más que el resultado de introducir el modelo de variabilidad del fenómeno bajo estudio, caracterizado por el alcance de correlación espacial, efecto pepita y meseta.

El mapa generado por el método del GPCPII presenta mucho "ruido" o cierres que parecen no tener relación con la variabilidad característica de las observaciones gravimétricas. Este mapa pudiera, tal vez, ser "mejorado" en el sentido geofísico si se escogieran valores más apropiados de los parámetros necesarios para la ejecución de dicho paquete.

En cambio, el mapa obtenido a partir de la malla generada por kriging presenta eventos que sugieren alguna relación con eventos geológicos. Para corroborar lo anterior, sería

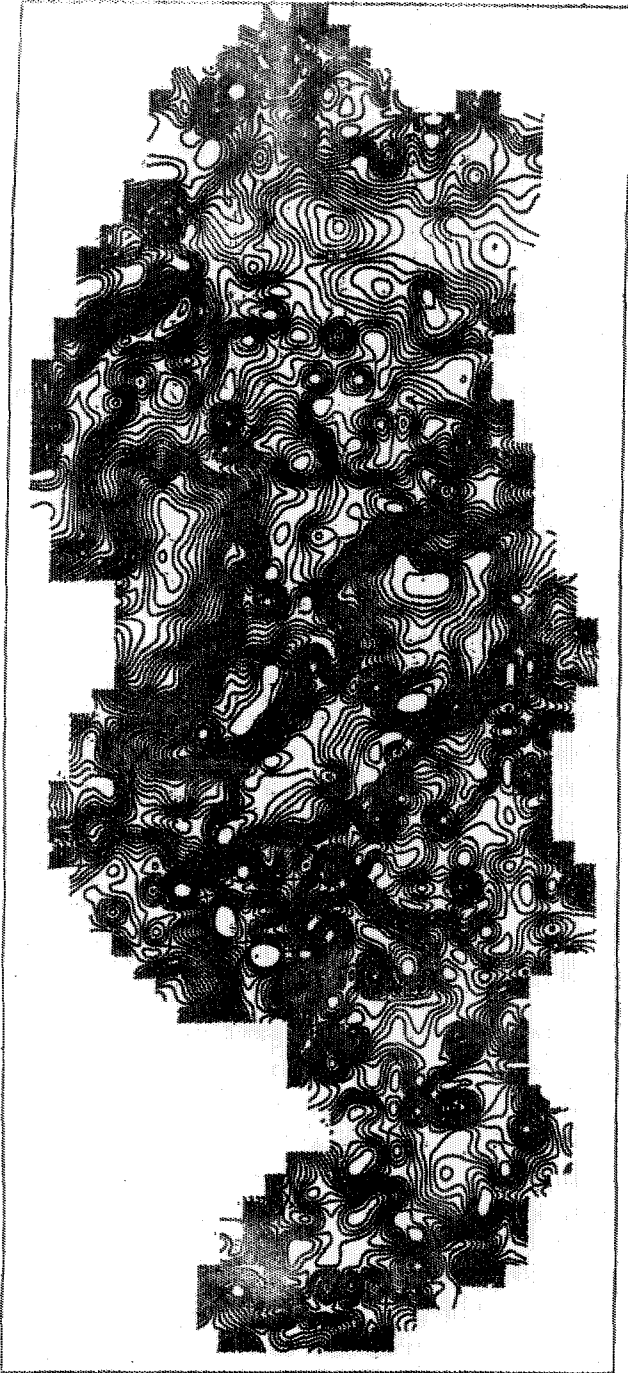


Fig. 7 - Mapa configurado automáticamente a partir de una malla generada con el algoritmo del paquete GPCPII.

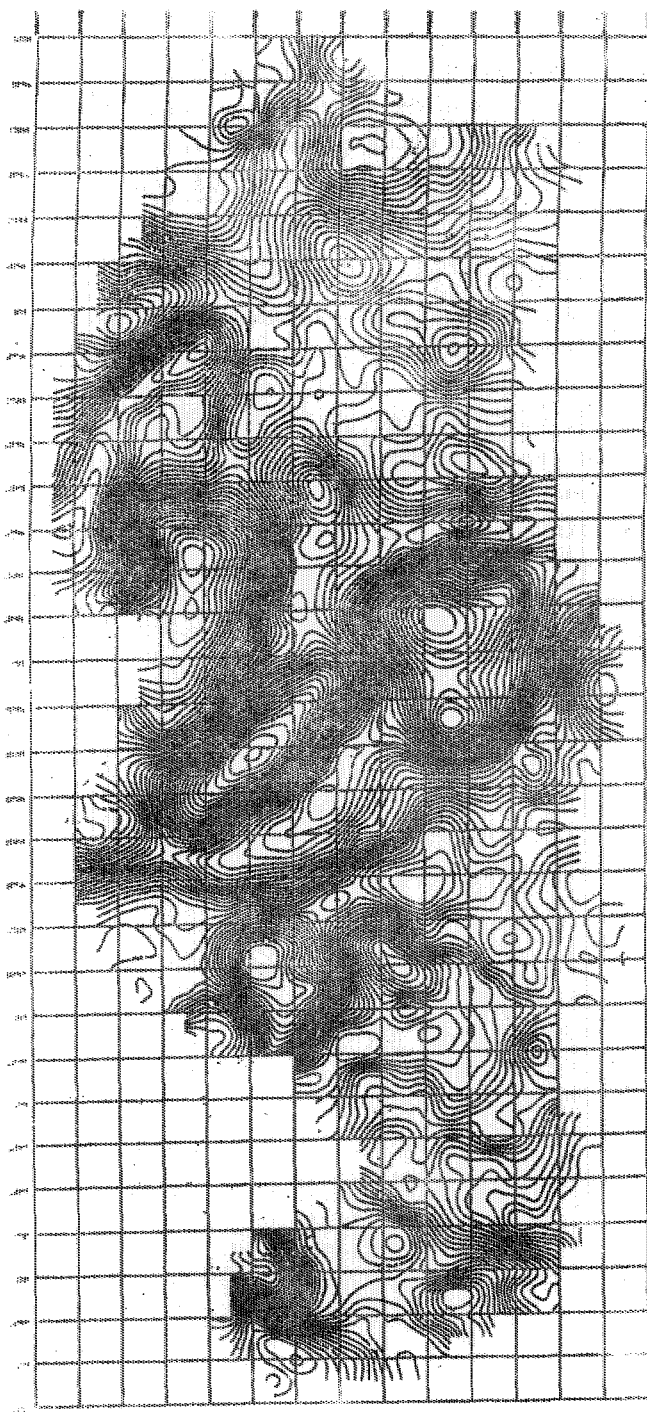


Fig. 8 - Mapa configurado automáticamente a partir de una malla generada con el algoritmo del "Kriging".

necesario presentar ambos planos a un intérprete con conocimientos geológicos y geofísicos de la región y basado en su experiencia determinar cuál de estos planos satisface la "sofisticación" requerida y además cuál de ellos podría servirle para propósitos de interpretación.

Por último, se recomienda hacer pruebas en áreas de estudio donde prospecciones gravimétricas y magnetométricas hayan sido efectuadas y corroboradas con evidencias geológicas para mostrar así la bondad del método. En el corto plazo se recomienda la incorporación del "kriging universal" a fin de captar la variabilidad de fenómenos no-estacionarios (Huijbregts y Matheron, 1971); igualmente se sugiere probar otros modelos de variabilidad (sin meseta, modelos anidados). Lo anterior traerá como consecuencia contar con herramientas más versátiles en la construcción de mapas de observaciones geofísicas.

REFERENCIAS

- Davis M. W. D. and David M. "Automatic kriging and contouring in the presence of trends (Universal kriging made simple)". The Journal of Canadian Petroleum (1978).
- Huijbregts C. and Matheron G. "Universal kriging (an optimal method for estimating and contouring in trend surface analysis)". Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Decision Making in the Mineral Industry. Special Vol.12 (1971).
- Matheron G. "The theory of regionalized variables and its applications". Le Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique. Fasc. 5, CG, Fontainebleu (1971).

LA CARTA DE LA DECLINACION MAGNETICA SINTETICA
EN EL TERRITORIO NACIONAL

Dr. José Oscar Campos Enríquez *

Ing. José de Jesús Campos Enríquez **

INTRODUCCION

El campo magnético terrestre es una de las características de nuestro planeta que ha sido estudiada desde los albores de nuestra civilización. Entre los pioneros que hicieron grandes aportaciones en este campo de la geofísica se encuentran GILBERT y GAUSS. En la actualidad se cuenta con aproximadamente 175 observatorios magnéticos en todo el globo. La IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) es el organismo internacional que coordina las actividades de investigación relacionadas al campo magnético terrestre. Uno de los productos de la IAGA es un modelo matemático, basado en funciones armónicas esféricas, del campo geomagnético. Este modelo es conocido como el IGRF (International Geomagnetic Reference Field). Basados en el IGRF para el período de 1980-1985 (D.R. Barraclough, 1981), se elaboraron cartas sintéticas de los elementos del campo magnético principal. El objetivo de este trabajo, además de presentar una de estas cartas sintéticas (cartas de la declinación magnética, de la inclinación magnética, de la componente vertical y de la componente total), que próximamente serán editadas por la Direc-

* Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos - CFE.
Morelia, Mich.

** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática - DGG.
México, D. F.

ción General de Geografía, es de presentar el concepto del campo magnético por medio del IGRF y enumerar algunas de sus posibles aplicaciones en ciencias de la tierra y del espacio.

EL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE.

El campo magnético terrestre tiene sus fuentes por un lado en el interior del planeta, y, por el otro principalmente, en su interacción con el Sol. El campo geomagnético es la suma de las siguientes partes: (1) del campo magnético promedio, (2) del campo de anomalías y (3) de variaciones pseudoperiódicas y transitorias. El campo magnético promedio constituye aproximadamente el 99% del campo geomagnético. Su origen se encuentra en el interior del globo terráqueo, particularmente en un núcleo fluido. El origen del campo de anomalías se encuentra en la corteza terrestre. Está relacionado con la distribución de minerales ferromagnéticos. Las variaciones, tanto periódicas como transitorias, son originadas directa o indirectamente por corrientes eléctricas en la atmósfera superior y más allá (relacionadas con la actividad solar).

El campo magnético promedio varía suavemente a lo largo de la superficie de nuestro planeta, su magnitud varía entre 24,000 y 60,000 nanoteslas (nT; una nanotesla es igual a una gamma). Su distribución geográfica presenta características de gran escala. Por su lado el campo de anomalías es extremadamente irregular, y por lo general su intensidad no es mayor a varios cientos de nanoteslas. Debido a su origen, su estudio aporta información trascendental sobre la corteza terrestre. Este es el campo que es analizado en la exploración de energéticos y de materias primas (exploración petrolera, geotérmica, minería), así como en el estudio de la estructura de la corteza.

Las variaciones denominadas transitorias se clasifican en pseudoperiódicas y en variaciones irregulares. A las primeras pertenecen las variaciones diurnas solar y lunar (pseudoperíodos de 24 y 25 horas), a las segundas pertenecen las denominadas tormentas magnéticas.

El campo magnético se define unívocamente en cada punto del espacio por sus elementos: La declinación, inclinación, componente total, vertical, horizontal (componentes en la dirección N y E). En la Figura 1 se define a estos elementos. Ellos no son independientes y por ejemplo se tiene entre los mismos, las siguientes relaciones:

$$H^2 = X^2 + Y^2$$

$$\tan I = \frac{Z}{H}$$

EL CAMPO MAGNETICO PROMEDIO

Hasta hace 150 años aproximadamente GAUSS (1839) obtuvo la primera presentación analítica del campo magnético promedio basado en un desarrollo en funciones armónicas esféricas. Del análisis de la importancia de cada término en el desarrollo, llegó a la conclusión de que el campo magnético promedio deriva enteramente de un potencial escalar, que su origen se debe buscar en el interior del planeta y que los tres primeros términos, numéricamente los más importantes, representan el potencial de un dipolo situado en el centro del planeta.

Podemos, pues, ver que en una primera aproximación el campo magnético promedio se puede representar por un dipolo magnético. La magnitud de este dipolo es $8.1 \times 10^{22} \text{ A.m}^2$ y su eje hace un ángulo de 11.5° con el eje de rotación de la Tierra.

Sin embargo, los patrones irregulares, tanto en valores como en forma, del campo magnético promedio sólo se logran representar si se toman en cuenta más términos en el desarrollo en funciones esféricas armónicas, Gauss llevó su desarrollo hasta el 4° grado.

El campo magnético promedio sufre cambios muy lentos con el transcurso del tiempo. Esta característica es denominada variación secular. En determinadas regiones de nuestro planeta ella puede exceder a 100 nT por año. La variación secular ha sido constatada en los subsecuentes análisis del campo magnético.

DESARROLLO EN FUNCIONES ESFERICAS ARMONICAS

El potencial de origen interno del campo magnético promedio está dado por la expresión:

$$V = a \sum_n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} \sum_m (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) P_n^m(\cos \theta)$$

Las componentes ortogonales (Figura 1) del campo magnético promedio están dadas, respectivamente, por:

$$X = \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} = \sum_n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \sum_m (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) \frac{dP_n^m}{d\theta}(\cos \theta)$$

$$Y = -\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \lambda} = -\frac{1}{\sin \theta} \sum_n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \sum_m (-g_n^m \sin m\lambda + h_n^m \cos m\lambda) P_n^m(\cos \theta)$$

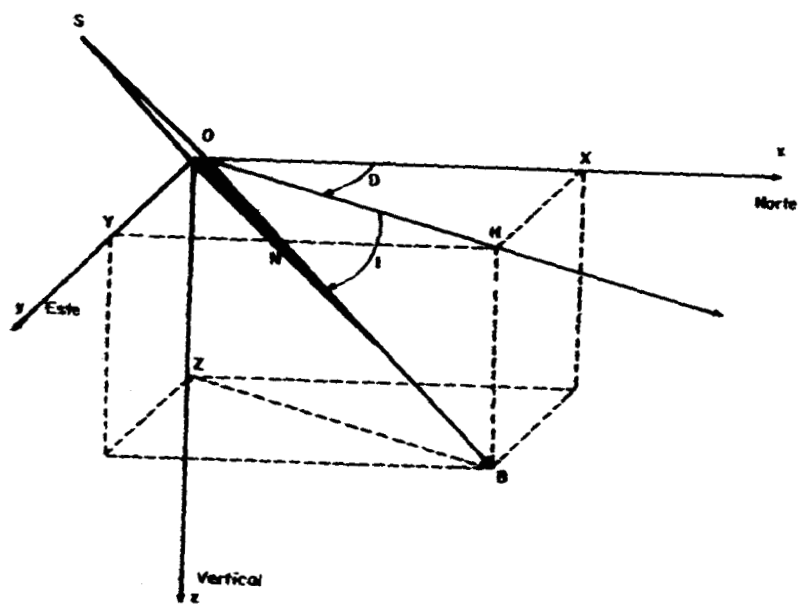


Fig. 1: Los elementos del campo magnético terrestre.

$$Z = \frac{\delta V}{\delta r} = - \sum_n (n+1) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \sum_m (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) P_n^m(\cos\theta)$$

donde a representa el radio promedio de la tierra (6371.2 km), r la distancia radial geocéntrica, θ la colatitud, y ϕ la longitud del punto en el que se evalúan estas expresiones.

$P_n^m(\theta)$ representa la función asociada de Legendre, de grado n y orden m . g_n^m y h_n^m son los coeficientes del desarrollo, que son el resultado del análisis del campo geomagnético.

En una descripción completa del campo magnético terrestre, la serie que representa V debe extenderse hasta $m = n = \infty$, pero en la práctica la serie se trunca en un valor máximo (N) tanto para m como para n , el cual en la actualidad es normalmente tomado entre 8 y 15. Así la representación analítica que resulta estará expresada por $N(N+2)$ coeficientes g_n^m, h_n^m ($m = 0, 1, 2, \dots, N$; $n = 1, 2, \dots, N$). A causa de esta truncación, los respectivos modelos matemáticos sólo representarían a aquellas partes del campo geomagnético, cuyos rasgos geográficos son mayores a varios miles de kilómetros. Es esta la parte cuyo origen se encuentra en el núcleo fluido de la Tierra.

BANCO DE DATOS

Gauss basó su análisis en datos relativos a 84 puntos situados sobre 12 meridianos y 7 paralelos equidistantes. El conocimiento que en la actualidad se tiene del campo magnético es un resultado de observaciones efectuadas, por prospectores geofísicos en tierra, mar, aire, en millones de puntos y la información acumulada por los observatorios magnéticos y las observaciones efectuadas desde satélites a diferentes alturas. Entre los satélites artificiales que han realizado -

observaciones del campo magnético se puede citar al OG02, - OG04, OG06, Cosmos 49 y MAGSAT. Así como datos derivados de campañas internacionales, tales como el proyecto MAGNET, la cartografía magnética a niveles nacionales realizada por muchos países de Europa, América, África, Asia y Australia.

LA IAGA, Y EL IGRF.

En la década de 1960 existían aproximadamente una docena de modelos matemáticos del campo magnético, todos ellos - basados en desarrollos en funciones armónicas esféricas. Por un lado se tenía a los modelos superficiales, aquéllos que son calculados con la hipótesis de la aproximación esférica (es decir, la figura de la Tierra es aproximada por una esfera), y en base a observaciones superficiales, las cuales no proporcionan una buena aproximación del campo a la altitud - de los satélites.

Por otro lado se tiene a los modelos espaciales, basados en observaciones hechas desde satélite, ellos aproximan el campo magnético a la altitud de los satélites con una - exactitud de ± 30 nT. Ambas clases de modelos son de calidad comparable en la superficie del planeta. Como ejemplo de modelo superficial se cita el modelo de Leaton et al. - (1965) y como ejemplo de modelo espacial se tiene el MGST - (1968) de Langel et al. (1980).

En este contexto los geomagneticianos, agrupados en la IAGA, organismo que pertenece a la IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) y la cual es una de 16 uniones - científicas federadas por el ICSU (International Council of Scientific Unions), decidieron en 1960 elegir un modelo que sería universalmente adoptado por la comunidad científica in - ternacional y que sería llamado IGRF, Campo Geomagnético -

Internacional de Referencia (International Geomagnetic Reference Field). Para hacerlo se analizaron los méritos respectivos de los modelos más recientes.

La IAGA reunida en Washington en 1968 escogió el IGRF, para 1965, cuyo período de validez estricta estaría comprendido entre 1955 y 1967. En la Tabla 1 se dan los coeficientes del IGRF para 1965. En la actualidad el IGRF consiste en dos series de modelos: Una serie predictiva definida por las siglas DGRF, su validez está limitada a un período de 5 años. Para el período 1965-1975 ellos son: DGRF-1965, DGRF-1970 y DGRF-1975, respectivamente. Para el período 1975-1980 se adopta un modelo provisional llamado PGRF-1975. Para el período 1980-1985 se tiene el IGRF-1980. (N.E.Peddie, 1983).

APLICACIONES DEL IGRF.

El conocimiento del campo magnético promedio (de cualquier elemento), así como de su variación secular es muy importante en las ciencias de la tierra (Geofísica, Geomagnetismo) y en las ciencias del espacio (Estudios de la ionósfera y magnetósfera, física de la radiación cósmica, etc.), así como en navegación. Dada la relevancia para nuestras economías, sólo abundaremos en un poco más de detalle en sus aplicaciones en la exploración geofísica.

El análisis del campo magnético terrestre aporta información muy útil sobre la estructura de la corteza terrestre. Esto explica que el método geofísico de exploración conocido como magnetometría sea ampliamente utilizado en la exploración de energéticos, materias primas y materiales estratégicos (yacimientos de hidrocarburos, reservorios geotérmicos, uranio y minerales), así como en estudios previos a la

Tabla 1.- Coeficientes del IGRF-1965.0

Campo Principal (γ)				Variación Secular ($\gamma/\text{año}$)	
n	m	g_n^m	h_n^m	g_n^m	h_n^m
1	0	-30339		15.3	
1	1	-2123	5758	8.7	-2.3
2	0	-1654		-24.4	
2	1	2994	-2006	0.3	-11.8
2	2	1567	130	-1.6	-16.7
3	0	1297		0.2	
3	1	-2036	-403	-10.8	4.2
3	2	1289	242	-0.7	0.7
3	3	843	-176	-3.8	-7.7
4	0	958		-0.7	
4	1	805	149	0.2	-0.1
4	2	492	-280	-3.0	1.6
4	3	-392	8	-0.1	2.9
4	4	256	-265	-2.1	-4.2
5	0	-223		1.9	
5	1	357	16	1.1	2.3
5	2	246	125	2.9	1.7
5	3	-26	-123	0.6	-2.4
5	4	-161	-107	0.0	0.8
5	5	-51	77	1.3	-0.3
6	0	47		-0.1	
6	1	60	-14	-0.3	-0.9
6	2	4	106	1.1	-0.4
6	3	-229	68	1.9	2.0
6	4	3	-32	-0.4	-1.1
6	5	-4	-10	-0.4	0.1
6	6	-112	-13	-0.2	0.9
7	0	71		-0.5	
7	1	-54	-57	-0.3	-1.1
7	2	0	-27	-0.7	0.3
7	3	12	-8	-0.5	0.4
7	4	-25	9	0.3	0.2
7	5	-9	23	0.0	0.4
7	6	13	-19	-0.2	0.2
7	7	-2	-17	-0.6	0.3
8	0	10		0.1	
8	1	9	3	0.4	0.1
8	2	-3	-13	0.6	-0.2
8	3	-12	5	0.0	-0.3
8	4	-4	-17	0.0	-0.2
8	5	7	4	-0.1	-0.3
8	6	-5	22	0.3	-0.4
8	7	12	-3	-0.3	-0.3
8	8	6	-16	-0.5	-0.3

Construcción de grandes obras de ingeniería civil (presas, - centrales nucleoelectricas, puentes, etc.).

Para esto el geofísico busca aislar de sus observaciones el efecto debido a fuentes localizadas en la corteza terrestre. Esto lo logra (1) eliminando los efectos de las variaciones pseudoperiódicas y transitorias mediante técnicas especiales de observación; (2) sustrayendo el campo cuyo origen, como ya lo hemos mencionado, se encuentra en el núcleo fluido del planeta.

Esta tarea venía realizándose mediante la aplicación de técnicas basadas en el método de mínimos cuadrados. A priori, se suponía que el campo magnético promedio está representado por una superficie de grado dado y con el resultado del ajuste polinomial se podía efectuar esta separación. El gran problema de esta técnica reside en la dificultad para combinar estudios aledaños cuando las respectivas observaciones fueron efectuadas en épocas distintas.

Debido a que el IGRF es un sistema internacional de referencia que permite tomar en cuenta la variación secular, se constituye como el ente matemático ideal para la realización de estas tareas que se originan en la exploración geofísica.

LA ELABORACION DE CARTAS SINTETICAS DE LOS ELEMENTOS DEL CAMPO MAGNETICO PROMEDIO.

Con el objeto de satisfacer a nivel nacional las necesidades del conocimiento de los distintos elementos del campo magnético promedio en la República Mexicana y darle una mayor divulgación al IGRF, se procedió a elaborar cartas sintéticas de la declinación (Figura 2), inclinación, campo total, componente vertical. Estas cartas se elaboraron para la época

CARTA DE DECLINACION MAGNETICA

1:500,000
1:1,000,000
1:2,000,000
1:5,000,000
1:10,000,000

El presente mapa muestra la declinación magnética en México y los países limítrofes, para el año 1970. La declinación magnética es la diferencia entre el norte verdadero y el norte magnético. Se expresa en grados y minutos, con signo (+ o -) para indicar si el norte magnético está al este o al oeste del norte verdadero. Este mapa es una reproducción de la obra "Atlas de México" del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

ESCALA 1:5,000,000

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA
GEOGRAFIA E INFORMATICA
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

OCEANO
PACIFICO

GOLFO DE MEXICO

REPUBLICA UNIDA DE AMERICA

REPUBLICA DE EL SALVADOR

GUATEMALA

GUATEMALA

GUATEMALA

GUATEMALA

GUATEMALA

GUATEMALA

GUATEMALA

GUATEMALA

GUATEMALA

GUATEMALA

GUATEMALA

GUATEMALA

ca 1985. O, en la 2ª edición 1981-1982 (D. K. Barraclough, 1981).

La escala de las cartas es de 1:5'000'000, ellas representan la información de manera gráfica, mediante la configuración de líneas isovalor (isógonas, isoclinas e isopetas). También es posible proporcionar información más detallada en forma de tabla para cualquier área de interés y relacionada a otras épocas. El costo de este servicio implicaría principalmente el tiempo de computadora empleado en la elaboración de esta información.

BIBLIOGRAFIA

- Barraclough, David R. (1981): The 1980 Geomagnetic Reference Field. *Nature*, Vol. 294, 5 Nov. 1981.
- Gauss, C.F. (1839) *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus*, Leipzig.
- Langel R. A., R. H. Estes, G. D. Mead, E. B. Fabiano y F. R. Lancaster (1980): Initial Geomagnetic Field Model From MAGSAT Vector Data, *Geophys. Res. Letter*, 7, No. 10, Oct. 1980.
- Leaton B. R., S.R.C. Malin y Margaret J. Evans (1965): An Analytical Representation of the Estimated Geomagnetic Field and its Secular Change for the epoch 1965.0 *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, Vol. 17, No. 3-4.
- Peddie, Norman W. (1983): International Geomagnetic Reference Field-its evolution and the difference in total field intensity between new and old models for 1965-1980. *Geophysics*, Vol. 48, No. 12, pp. 1691-1696.

CALCULO DE SISMOGRAMAS SINTETICOS EN PRESENCIA
DEL EFECTO DE ABSORCION

Ing. Guillermo Pérez Cruz *

M. en C. David H. Zamora Guerrero *

INTRODUCCION

Un aspecto importante en la interpretación sismológica - es la construcción de modelos unidimensionales (sismogramas sintéticos) mediante los cuales sea posible explicar la presencia y carácter de ciertos eventos de reflexión, tanto en - los sismogramas de campo como en las secciones apiladas.

Los modelos unidimensionales hasta ahora empleados están contruidos sobre la base de incidencia normal, capas planas paralelas de velocidad constante y pérdidas por transmisión.

Aunque los fenómenos de absorción y dispersión de la - energía durante la propagación ondulatoria son reconocidos - desde el siglo pasado, sólo hasta hace relativamente poco - tiempo han dejado de ser ignorados en la construcción de sismogramas sintéticos.

Es la idea de muchos geofísicos dedicados a la exploración sismológica, que el efecto de absorción de la energía - sísmica, particularmente de las ondas de cuerpo, es muy pequeño como para ser considerado como parámetro físico importante

-
- Petróleos Mexicanos
 Subdirección de Producción Primaria
 Coordinación Ejecutiva de Exploración
 Gerencia de Integración e Interpretación

de los materiales durante la propagación de la energía dentro del medio.

En los tiempos de la estratigrafía sísmica, sismología - de alta resolución, caracterización de yacimientos y del perfilado sísmico vertical, la llamada absorción selectiva de - frecuencias, representada por el factor de atenuación específico "Q", resulta ser un parámetro físico importante que junto con otros como la velocidad y la densidad, caracterizan a los materiales de la corteza terrestre.

En el presente trabajo se plantea un método para obtener el sismograma sintético en términos de la teoría de las comunicaciones, que incluye pérdidas por transmisión, múltiples y absorción. Para probarlo se presentan algunos ejemplos basados en información de registros sísmicos y de densidad.

FACTORES QUE AFECTAN LA AMPLITUD DE LA ONDA SISMICA

La amplitud de una onda que se origina cerca de la superficie y viaja en el subsuelo atravesando contactos de impedancia acústica, es reducida por tres factores principales, que son:

- 1) Divergencia esférica.
- 2) Pérdidas por transmisión y reflexión.
- 3) Atenuación por efecto de absorción.

El primero, la divergencia esférica, puede ser determinado con precisión para un medio dado, en términos de la proporcionalidad inversa del cuadrado de la distancia viajada por - la onda, desde el punto de tiro a un punto cualquiera.

El segundo y tercer factor producen un decaimiento exponencial de la amplitud, en función de la distancia viajada -

por el pulso acústico. Además, el segundo puede conocerse - sólo si el tercero es conocido y viceversa. En este trabajo se prestará especial atención al factor de atenuación por - efecto de absorción.

MODELO DE ATENUACION

El efecto de atenuación por absorción de la energía puede representarse por el siguiente modelo:

$$A_x = A_0 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

Aquí A_x es la amplitud del pulso acústico medida a una distancia x del punto de tiro; A_0 es la amplitud inicial del pulso y α es el factor de atenuación espacial dado por la siguiente relación:

$$\alpha = \frac{W}{2 C Q} \quad (2)$$

Donde w es la frecuencia angular,

c es la velocidad de fase y

Q es el factor de atenuación específico.

El factor Q tradicionalmente ha sido asociado con la absorción, que es la relación de la energía perdida ΔE por ciclo de movimiento armónico elástico, a la energía máxima E almacenada en un volumen de material al principio del ciclo. La expresión usada para Q es la siguiente:

$$Q = \frac{2\pi}{\alpha} \frac{\Delta E}{E} \quad (3)$$

Experimentos de laboratorio sobre muchos sólidos, las rocas entre ellos, han mostrado que hasta frecuencias relativamente altas, la cantidad Q es substantialmente independiente de la frecuencia en muy buena aproximación.

Se han propuesto modelos matemáticos de propagación para explicar la relación entre Q y la frecuencia. El modelo más aceptado en la actualidad es el propuesto por Futterman en 1962.

Futterman establece que, como principio de causalidad, la presencia de absorción implica la presencia de dispersión (variación de la velocidad con la frecuencia) y viceversa; obtiene varias expresiones conocidas como "pares de absorción-dispersión". El modelo aquí utilizado es el conocido como "tercer par" y que está dado por:

$$C(W) = C_0 \left\{ 1 - \frac{1}{\pi Q_0} \operatorname{Ln} \gamma \frac{W}{W_0} \right\}^{-1} \quad (4)$$

$$Q'(W) = Q_0 \left\{ 1 - \frac{1}{\pi Q_0} \operatorname{Ln} \gamma \frac{W}{W_0} \right\} \quad (5)$$

donde $\operatorname{Ln} \gamma = 0.5772157$ es la constante de Euler, Q_0 y C_0 son el factor de calidad y la velocidad de fase respectivamente para una frecuencia de corte arbitraria $w_0 \neq 0$, para lo cual los fenómenos de absorción y dispersión están ausentes.

Analizando la ecuación (4) se puede observar que:

- 1) Para cualquier valor de Q_0 y C_0 , la velocidad de fase $c(w)$ aumenta con la frecuencia, y

- 2) La velocidad de fase $c(w)$ tiende a C_0 para valores grandes de Q_0 , digamos mayores de 1000.

VALORES TIPICOS DE "Q" EN LAS ROCAS

Las mediciones del factor Q en las rocas han sido realizadas en laboratorio (Born, 1940 y Knopoff, 1964) in situ (Mc Donald, 1958) y en pozos profundos a partir de perfiles sísmicos verticales (Hauge, 1981). Se ha observado (Born, 1940) que para el intervalo de frecuencias sísmicas, el factor Q es independiente de la frecuencia en especímenes de roca en los que el contenido de agua es bajo o nulo, mientras que en especímenes en los que el contenido de agua intersticial es substancial, Q varía en forma lineal con la frecuencia.

En la gráfica de la Figura 1, se muestra en forma gráfica los valores de Q correspondientes a distintas unidades rocosas. Las fuentes de información que permitieron construir la gráfica son Born (1940) y Knopoff (1964).

Del gran número de experimentos se ha deducido que los factores que influyen en los valores de Q en las rocas son los siguientes:

- 1) Porosidad-compacidad.
- 2) Contenido de fluidos.
- 3) Tamaño de grano (efecto de frontera de grano).

Se cree (Knopoff, 1964) que los efectos de fronteras de grano son los más importantes en la variación del factor Q en las rocas. Lo anterior se hace evidente cuando observamos con detenimiento la tabla de la Figura 1. Los valores más pequeños de Q se ven asociados a materiales detríticos como son las lutitas, areniscas y calizas oolíticas, así como a las ro

cas ígneas intrusivas holocristalinas de textura fanerítica.

Los valores más grandes de Q corresponden a rocas que - exhiben ausencia de materiales detríticos como son las calizas, las rocas ígneas y las metamórficas.

En este punto es conveniente resaltar que los valores pequeños del factor Q corresponden a materiales con alto grado de absorción y viceversa.

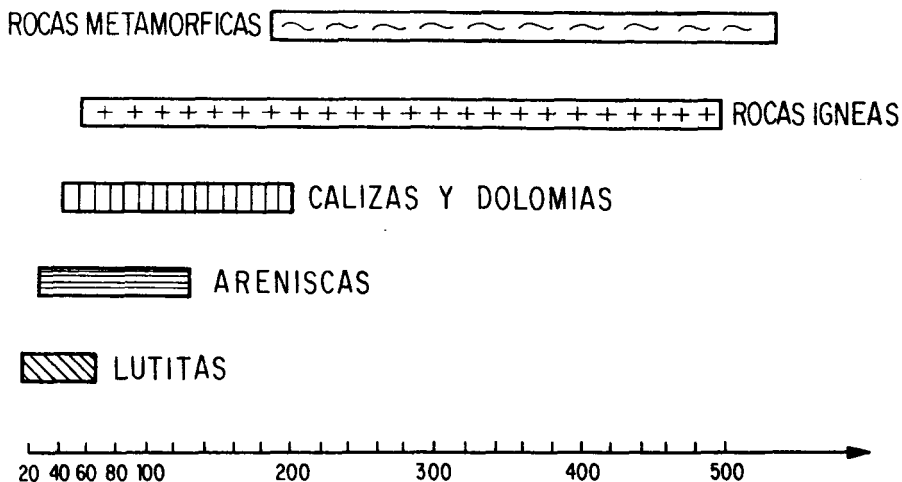


FIG. 1.- VALORES CARACTERISTICOS DE " Q " EN LAS ROCAS

ECUACIONES DEL MOVIMIENTO EN PRESENCIA DE ABSORCION

Consideremos una onda plana compresional propagándose en la dirección Z positiva. La ecuación diferencial que gobierna al movimiento ondulatorio en un medio libre de pérdidas - por absorción en una dimensión es:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{m}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (6)$$

* en donde ρ es la densidad, m es el módulo elástico que relaciona el esfuerzo con la deformación, c es la velocidad de fase y u es el desplazamiento en la dirección z .

Una solución a esta ecuación diferencial es:

$$u = u_1 e^{i(\omega t - kz)} + u_2 e^{i(\omega t + kz)} \quad (7)$$

en donde u_1 representa el desplazamiento en la dirección positiva z , u_2 en la dirección negativa y k es el número de onda igual a ω/c .

Se puede demostrar (Ganley, 1981) que en el caso de propagación en presencia de absorción, la ecuación diferencial que gobierna al movimiento está dada por:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{M}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (8)$$

siendo M un módulo elástico complejo que relaciona los esfuerzos con la deformación. La solución a esta ecuación es:

$$u = u_1 e^{i(\omega t - Kz)} + u_2 e^{i(\omega t + Kz)} \quad (9)$$

siendo K la constante de propagación compleja dada por:

$$K = k - i\alpha \quad (10)$$

donde α es el factor de atenuación espacial.

Debido a que el módulo elástico M es complejo, la velocidad resulta ser también una cantidad compleja dada por:

$$V = \frac{W}{K} = \frac{M}{P} \quad (11)$$

COEFICIENTES DE REFLEXION Y TRANSMISION EN UN MEDIO ESTRATIFICADO CON PRESENCIA DE ABSORCION.

Si consideramos el caso de propagación ondulatoria en una interfase de medios con propiedades acústicas diferentes como el que se muestra en la Figura 2 y suponemos que la amplitud del desplazamiento unitario incidente está dado por $e^{i(Wt-K_1Z)}$, entonces la amplitud de la onda reflejada será $R e^{i(Wt-K_1Z)}$ y la amplitud de la onda transmitida será $T e^{i(Wt-K_2Z)}$.

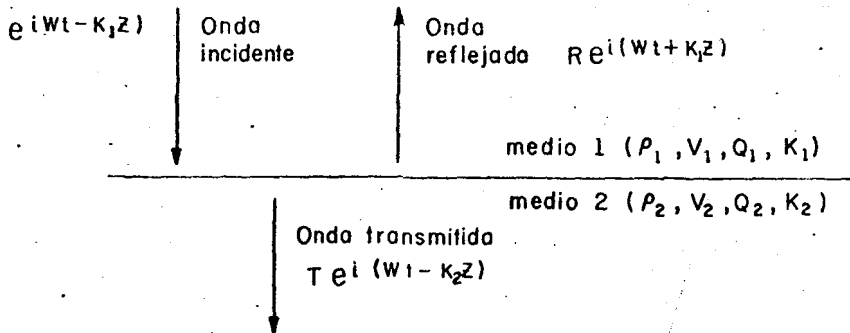


FIG. 2.- PROPAGACION ONDULATORIA EN UNA INTERFASE DE MEDIOS CON PROPIEDADES ACUSTICAS DIFERENTES.

De las ecuaciones resultantes al imponer las condiciones de continuidad de desplazamientos y esfuerzos normales en la interfase, se pueden obtener las expresiones para los coeficientes de reflexión R y transmisión T:

$$R = \frac{\rho_1 V_1 - \rho_2 V_2}{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2} ; \quad T = \frac{2 \rho_1 V_1}{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2} \quad (12)$$

Nótese que las fórmulas para los coeficientes de reflexión y transmisión son las mismas que para el caso elástico, excepto que la velocidad de fase es reemplazada con la velocidad compleja y por tanto R y T son ahora funciones complejas de la frecuencia.

Para el caso de un medio multiestratificado como el de la Figura 3, caracterizado por diferentes parámetros acústicos, los coeficientes de reflexión y transmisión están dados por:

$$R_i = \frac{\rho_i V_i - \rho_{i+1} V_{i+1}}{\rho_i V_i + \rho_{i+1} V_{i+1}}$$

$$T_i = \frac{2 \rho_i V_i}{\rho_i V_i + \rho_{i+1} V_{i+1}} \quad (13)$$

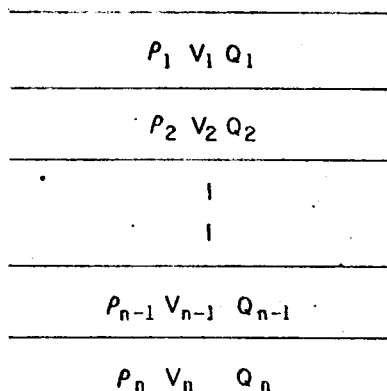


FIG. 3.- MEDIO MULTIESTRATIFICADO CARACTERIZADO POR DIFERENTES PARAMETROS ACUSTICOS.

MODELO DEL SISMOGRAMA SINTETICO CON EFECTO DE ABSORCION.

En una capa cualquiera i de un medio estratificado como la que se muestra en la Figura 4, los movimientos ondulatorios descendente y ascendente pueden ser representados en el dominio de la frecuencia de la siguiente manera:

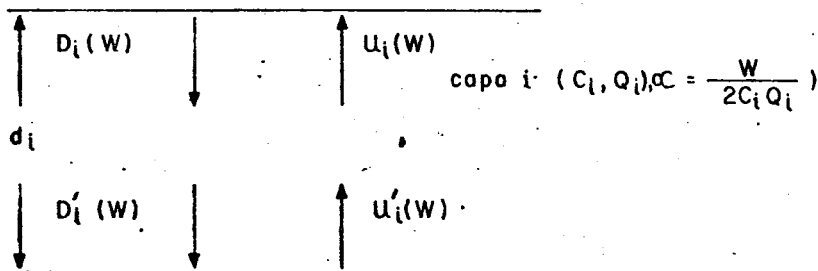


FIG. 4.- MOVIMIENTO ASCENDENTE Y DESCENDENTE EN EL DOMINIO DE LAS FRECUENCIAS DENTRO DE UNA CAPA i DE UN MEDIO ESTRATIFICADO.

Si $D_i(w)$ es el espectro de la onda descendente en la cima de la capa i , entonces $D_i^-(w)$, el espectro de la onda descendente en la base de la capa i , será

$D_i^-(w) = D_i(w) e^{-\alpha d_i} e^{-i w d_i / C_i}$ De una forma similar será la onda ascendente: $U_i^-(w) = U_i(w) e^{-\alpha d_i} e^{-i w d_i / C_i}$

De las ecuaciones anteriores vemos que la pérdida exponencial en el medio es la forma principal de las pérdidas dependientes de la frecuencia. Sin embargo, también existe una dependencia de la frecuencia de los coeficientes de reflexión que debe ser tomada en cuenta.

La expresión del sismograma sintético puede ser obtenida en forma análoga al procedimiento empleado por Treitel y Robinson (1966) para el caso de propagación elástica en medios multiestratificados con pérdidas por transmisión y múltiples. Partiendo de ello, Ganley (1981) ha mostrado que la expresión en el dominio de la frecuencia que permite obtener el sismograma sintético en la superficie, es la siguiente:

$$X(w) = (1 - R_0) U_1(w) + 1 \quad (14)$$

donde R_0 es el coeficiente de reflexión entre la primera capa y el aire y

$$U_1 = Y_1 \times D_1 \quad (15)$$

siendo:

$$Y_l = e^{-2\alpha d_l} e^{-2i w d_l / C_l} \left[\frac{R_l + Y_{l+1}}{1 + R_l Y_{l+1}} \right], \quad l = n, n-1, \dots, 1 \quad (16)$$

En la expresión anterior,

$$c(W) = \frac{W}{2cQ_0} \quad (17)$$

$$c(W) = c_0 \left[1 - \frac{1}{\pi Q_0} \ln \gamma \frac{W}{W_0} \right]^{-1} \quad (18)$$

$$Q'(W) = Q_0 \left[1 - \frac{1}{\pi Q_0} \ln \gamma \frac{W}{W_0} \right] \quad (19)$$

Las ecuaciones anteriores representan el modelo del sísmograma sintético con efecto de absorción.

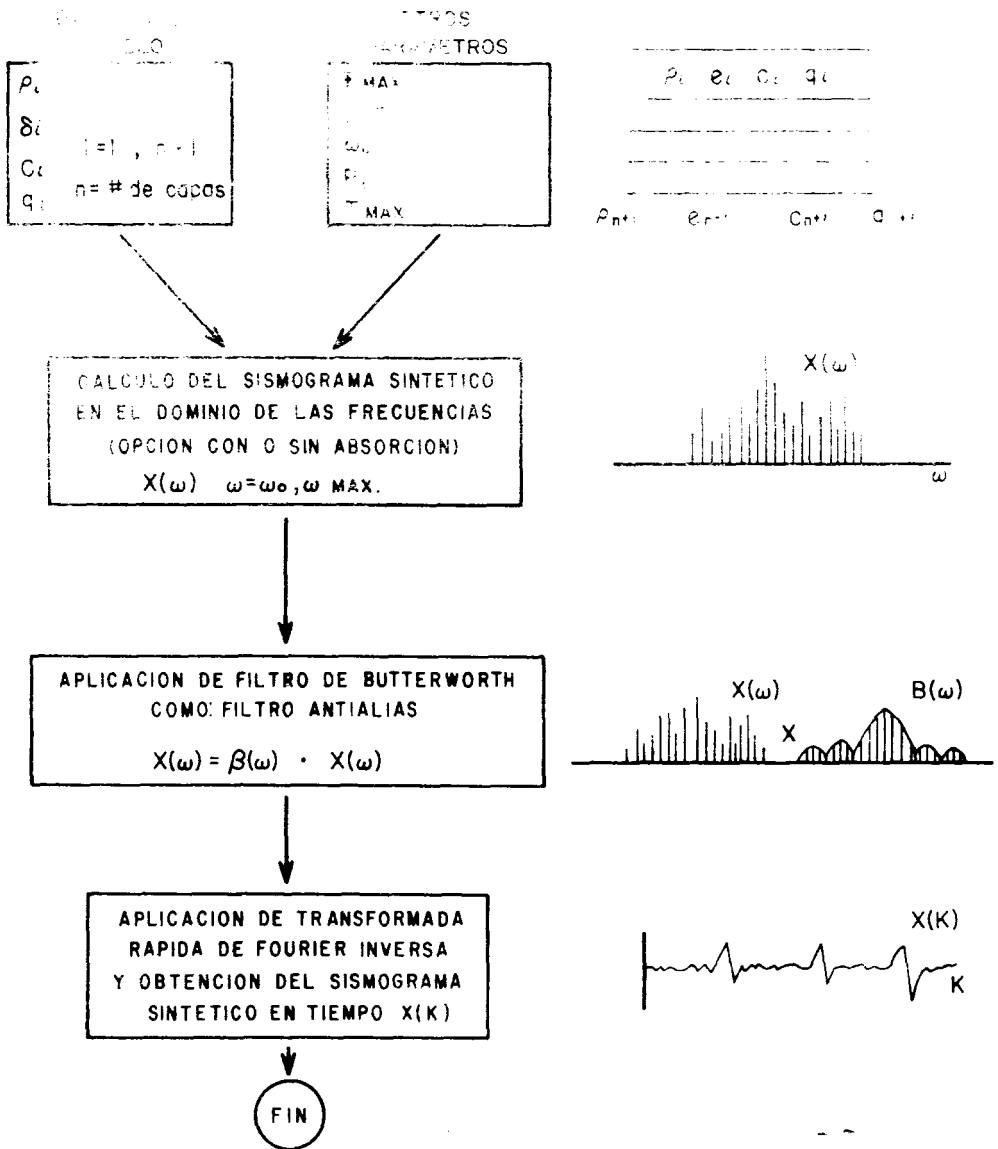
PROCEDIMIENTO Y SECUENCIA DE CALCULO

Las expresiones 14, 15, 16, 17, 18 y 19 fueron programadas en FORTRAN IV para una PDP 11/70, para el cálculo del sísmograma sintético con presencia de absorción.

El diagrama de bloques que se muestra en la Figura 5, representa los pasos principales seguidos en la secuencia del cálculo.

p_0	d_0	c_0	q_0
⋮			
p_{n+1}	d_{n+1}	c_{n+1}	q_{n+1}

MODELO



EJEMPLOS

A continuación se presentan dos ejemplos de aplicación - del procedimiento descrito anteriormente.

EJEMPLO # 1.

Tomando como base los datos de velocidad, densidad y litología de un pozo de exploración petrolera, se construyó un modelo de 10 capas (ver Figura 6). Los valores de "Q" asociados a cada capa fueron inferidos de acuerdo a la litología. El sismograma con efecto de absorción resultante se muestra en la Figura 7. Con el mismo programa se obtuvo el sismograma sin efecto de absorción. La diferencia es evidente. El sismograma con efecto de absorción muestra un contenido aparente de bajas frecuencias provocando un ensanchamiento de los pulsos de reflexión y en consecuencia menor resolución, además de un pequeño adelanto en tiempo de los pulsos de reflexión en relación con el sismograma sin absorción.

EJEMPLO # 2.

Un modelo un poco más completo se muestra en la Figura 8. Este modelo consta de 30 capas, el cual inicialmente está representado por los coeficientes de reflexión y la supuesta estructura de "Q" asociada.

Resultados similares al ejemplo anterior son obtenidos en relación con el carácter de los eventos de reflexión y su aparición en tiempo. Dichos resultados se muestran en la Figura 9.

CONCLUSIONES

1) Aunque hasta la fecha el mecanismo físico que da lugar al fenómeno de absorción de la energía sísmica en las rocas no es completamente conocido, sabemos que afecta en forma

distinto a diferentes tipos de roca, por lo que puede considerarse como un parámetro físico de los materiales de importancia en exploración sísmológica.

2) Las rocas detríticas o clásticas poseen los valores más bajos de Q , es decir, tienen mayor capacidad de absorción de la energía sísmica.

3) A mayor absorción de los materiales ocurre un adelanto en el tiempo de arribo de los pulsos sísmicos.

4) El programa de cálculo del sismograma sintético con efecto de absorción presentado aquí puede ser empleado por el intérprete como una herramienta más, para describir en forma complementaria las características del subsuelo.

5) A diferencia de otros algoritmos de sismogramas sintéticos, el presentado aquí tiene la ventaja de no requerir - capas de velocidad uniformemente espaciadas en tiempo.

6) La cantidad de atenuación de la energía sísmica por efecto de absorción en los sismogramas de reflexión, sólo es posible si y sólo si las pérdidas por transmisión y reflexión son conocidas y viceversa.

MODELO SISMICO 1D

VELOCIDAD (m/s)

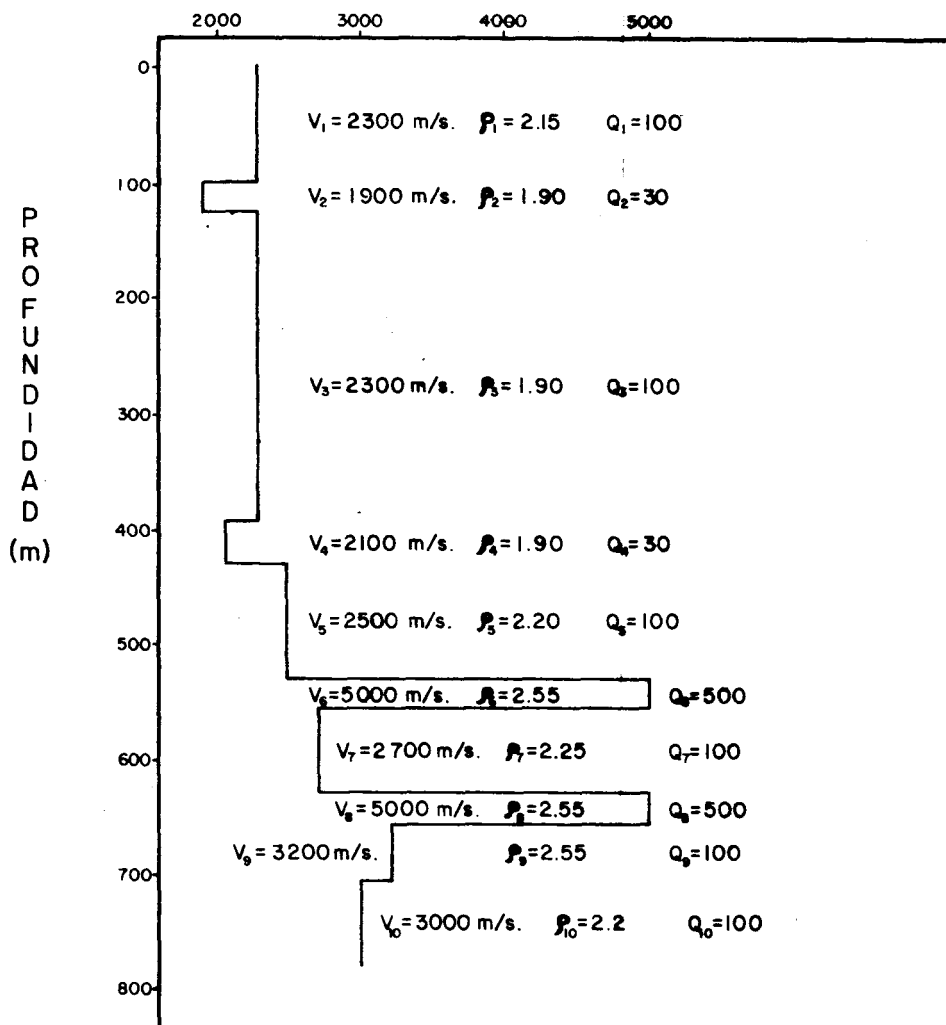


FIGURA 6.- MODELO DE 10 CAPAS.

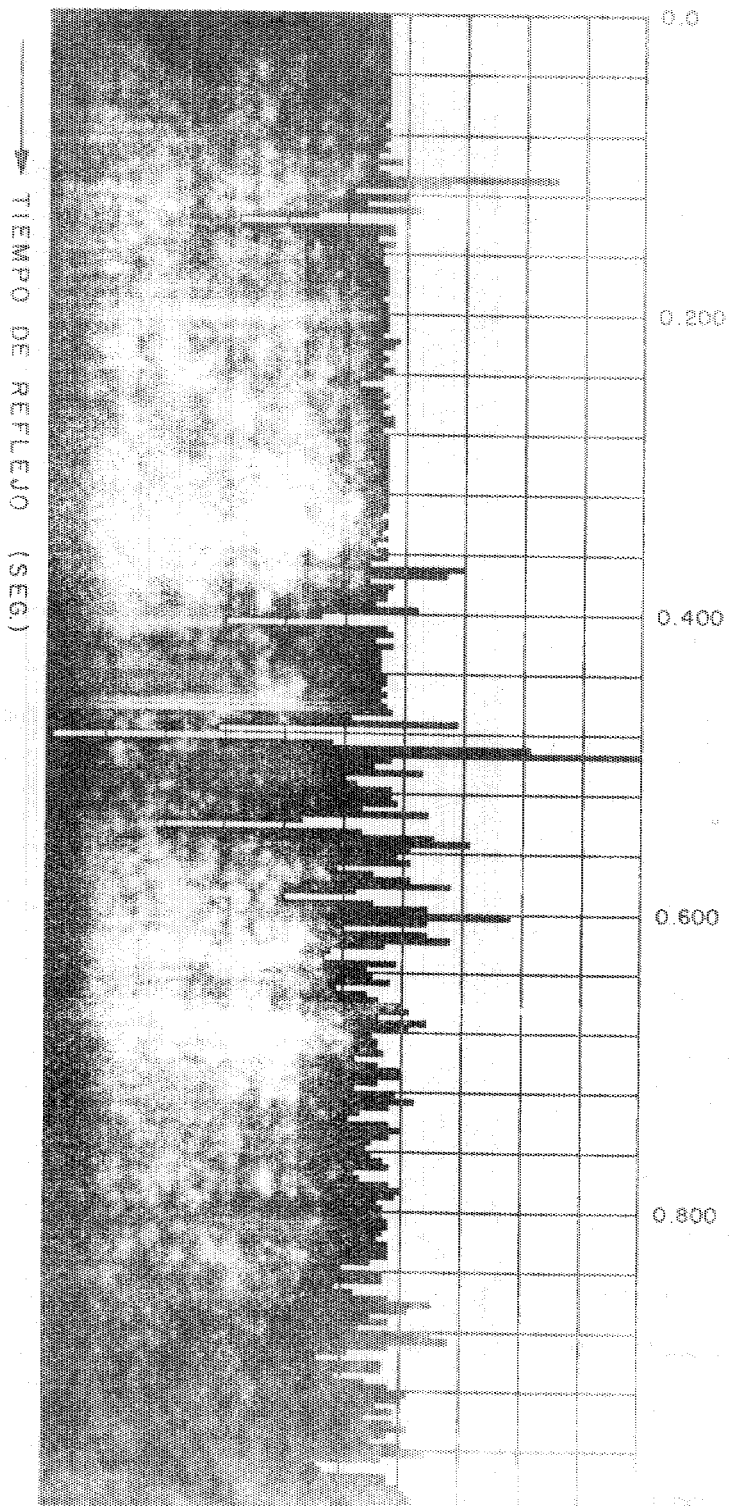


FIGURA 7A.- GRAFICA DEL SISMOGRAMA SINTETICO SIN ABSORCION
DEL MODELO DE LA FIGURA 6.

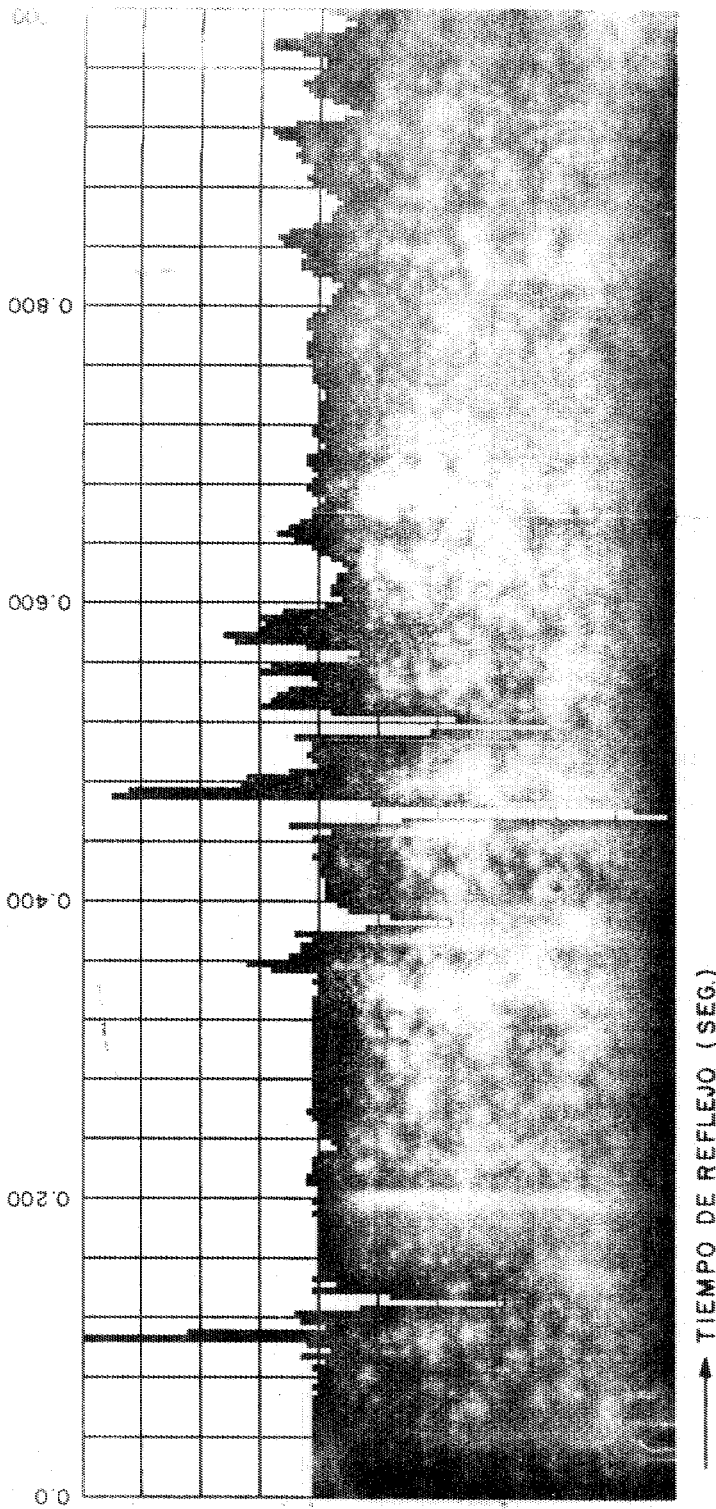


FIGURA 7B.—GRAFICA DEL SISMOGRAMA SINTETICO CON ABSORCION
DEL MODELO DE LA FIGURA 6.

a) MODELO DE ABSORCION "Q"

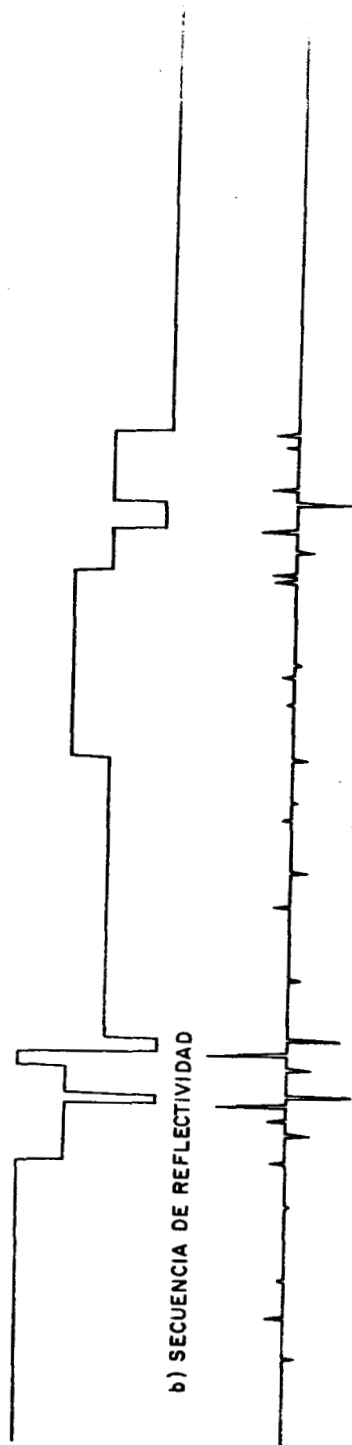


FIGURA 8.- MODELO CON 30 CAPAS

c) SISMOGRAMA CON EFECTO DE ABSORCION



d) SISMOGRAMA SIN EFECTO DE ABSORCION



FIGURA 9.- RESULTADOS DEL METODO

PROGRAM ABSORB

PROGRAMA PARA CALCULAR EL SISMOGRAMA SINTETICO CON O SIN
EFECTO DE ABSORCION.
FORTRAN IV PLUS. PDP 11/70

DIMENSION PULS(1024)
COMPLEX X(1024), BTW(1024), CPULS(1024)
COMMON /DATOS/ RO(50), CO(50), D(50), QOIN(50)
DATA PULS /1024*0. /

CALL OFILES
CALL LMODEL (N, KTO, KALF, NBTW, WL, FMAX, R1, PERI, KWLT)
CALL TDOBL (KALF, T0, N)
CALL NSAMPS (T0, KTO, FMAX, DELW, NW, DELT)
CALL SINT (NW, DELW, R1, N, X)
CALL BTWOR (NW, NBTW, DELW, WL, BTW)
CALL PROD (X, BTW, NW)
CALL MIRROR (X, NW, NW2)
IF (KWLT .LE. 0) GO TO 10
CALL PULSO (PULS, NW2, PERI, DELT)
CALL CXARRAY (NW2, PULS, CPULS)
CALL MIRROR (CPULS, NW, NW2)
CALL FFT (NW2, CPULS, -1)
CALL PROD (X, CPULS, NW2)
10 CALL FFT (NW2, X, 1)
CALL RARRAY (NW2, PULS, X)
CALL WRARRAY (NW2, PULS)
STOP
END

SUBROUTINE OFILES

ABRE ARCHIVOS : TAPE1 - CONTIENE LOS DATOS DEL MODELO
TAPE3 - CONTIENE EL SISMOGRAMA SINTETICO A SER
GRAFICADO.

BYTE FNAME(40)
TYPE *, ' NOMBRE DEL ARCHIVO QUE CONTIENE EL MODELO : '
ACCEPT 10, FNAME
10 FORMAT (40A1)
OPEN (UNIT=1, NAME='FNAME', TYPE='OLD', FORM='UNFORMATTED')
OPEN (UNIT=3, NAME='ABSORB.SIS', TYPE='NEW', FORM='UNFORMATTED')
RETURN
END

```

C-----
C SUBROUTINE MODEL (N, KTO, KALF, NBTW, WL, FMAX, R1, PERI, KWLT)
C
C   LEE LOS DATOS DEL MODELO Y PARAMETROS DE ENTRADA:
C
C   N      - NUMERO DE CAPAS DEL MODELO
C   RO(I)  - DENSIDAD DE LA I-ESIMA CAPA (GR/CM**3)
C   CO(I)  - VELOCIDAD DE FASE DE LA I-ESIMA CAPA (M/S)
C   D(I)   - ESPESOR DE LA I-ESIMA CAPA (M)
C   QGIN(I) - 1/Q DE LA I-ESIMA CAPA
C   KTO    - 4 A 8 VECES EL TIEMPO DE VIAJE
C   KALF   - VARIABLE DE CONTROL: = 0 SISMOGRAMA SIN ABSORCION
C           = 1 SISMOGRAMA CON ABSORCION
C   NBTW   - EXPONENTE DEL FILTRO DE BUTTERWORTH (=12 EN LOS
C           EJEMPLOS)
C   WL     - FRECUENCIA DE CORTE DEL FILTRO (=125 HZ EN LOS
C           EJEMPLOS)
C   FMAX   - FRECUENCIA MAXIMA PARA DEFINIR EL INTERVALO DE
C           MUESTREO (=250 HZ ==> 2 MSEG LA SALIDA DE MUESTREO
C           EN TIEMPO EN LOS EJEMPLOS)
C   R1     - COEFICIENTE DE REFLEXION ENTRE AIRE Y PRIMERA CAPA
C           (=0.99 EN LOS EJEMPLOS)
C   PERI   - PERIODO DEL PULSO DE RICKER (=0.010 EN LOS EJEMPLOS)
C   KWLT   - VARIABLE DE CONTROL: > 0 GENERA PULSO DE RICKER
C           < 0 = 0 NO GENERA PULSO
C
C   COMMON /DATOS/ RO(50), CO(50), D(50), QGIN(50)
C   READ (1,*) N
C   DO 10 I = 1, N
C     READ (1,*) RO(I), CO(I), D(I), QGIN(I)
10  CONTINUE
C   READ (1,*) KTO, KALF, NBTW, WL, FMAX, R1, PERI, KWLT
C   RETURN
C   END
C-----
C SUBROUTINE TDOBL (KALF, T0, N)
C
C   CALCULA EL TIEMPO DE REFLEJO A LA BASE DE LA CAPA N
C
C   COMMON /DATOS/RO(50),CO(50),D(50),QGIN(50)
C   T0 = 0.
C   NM1 = N-1
C   DO 10 K = 1, NM1
C     T = D(K) / CO(K)
C     QGIN(K) = KALF * QGIN(K)
C     T0 = T0 + T
10  CONTINUE
C   T0 = 2. * T0
C   RETURN
C   END

```

```

C-----
C
C
C
C
SUBROUTINE NSAMPS (T0, KT0, FMAX, DELW, NW, DELT)
CALCULA EL NUMERO DE MUESTRAS E INTERVALO DE MUESTREO EN EL
DOMINIO DE LA FRECUENCIA.
DATA PI2 /6.2831853/
TN = KT0 * T0
DELT = 1. / (2.*FMAX)
NW = TN / DELT
N = 2
IF (N .GE. NW) GOTO 10
N = 2 * N
GOTO 5
10 NW = N
NW = NW / 2 + 1
DELT = PI2 * FMAX / (NW-1)
RETURN
END
C-----
C
C
C
SUBROUTINE SINT (NW, DELW, R1, N, X)
CALCULA EL SISMOGRAMA SINTETICO
COMMON /DATOS/ RO(50), CO(50), D(50), QOIN(50)
COMPLEX V, Z1, Z2, R, Y, U, X(1), BB
DATA GAMA, W0, PI /1.7810725, 0.011190808, 3.1415927/
DO 70 I = 1, NW
W = FLOAT(I-1) * DELW
Y = CMPLX(0.,0.)
DO 60 K = 1, N
J = N - K + 1
ALFA = 0.5 * W * QOIN(J) / CO(J)
IF (I .EQ. 1) GO TO 30
A = QOIN(J) / PI
B = ALOG(GAMA * W / W0)
C = CO(J) / (1.-A*B)
QPIN = 1. / (1.-A*B) * QOIN(J)
VR = 0.5 * C * (1.+1. / SQRT(1.+QPIN*QPIN))
V = CMPLX(VR, 0.5*VR*QPIN)
IF (J .EQ. N) GO TO 10
Z1 = RO(J) * V
GO TO 20
10 Z2 = V*RO(J)
GO TO 60
20 CONTINUE
R = (Z1-Z2) / (Z1+Z2)
GO TO 40
30 IF (J .EQ. N) GO TO 60
RR = (RO(J) * CO(J) - RO(J+1) * CO(J+1)) / (RO(J)*CO(J)+
RO(J+1) * CO(J+1))
R = CMPLX(RR, 0.)
AA = 1.
BB = CMPLX(1., 0.)
GO TO 50
40 CONTINUE
F = -2. * ALFA * D(J)
AA = EXP(F)
XX = -2. * W * D(J) / C
BB = CEXP(CMPLX(0.,XX))
50 Y = AA * BB * (R+Y) / ((1., 0.)+R*Y)
Z2 = Z1
60 CONTINUE
U = Y / ((1., 0.)+R1*Y)
X(I) = (1.-R1) * U
70 CONTINUE
RETURN
END

```

```

C-----
0000 SUBROUTINE BTWOR (NW, NBTW, DELW, WL, BTW)
0000
0000 GENERA LOS COEFICIENTES DEL FILTRO DE BUTTERWORTH EN EL
0000 DOMINIO DE LAS FRECUENCIAS
0000
0000 COMPLEX BTW(NW)
0000 N = 2 * NBTW
0000 WL = WL * 6.2831853
0000 DO 10 I = 1, NW
0000     A = (FLOAT(I-1)*DELW/WL)**N
0000     YL = SQRT(1./(1.+A))
0000     BTW(I) = CMPLX(YL,0.)
1000 CONTINUE
0000 RETURN
0000 END
C-----
0000 SUBROUTINE PROD (XXX, YYY, NXY)
0000
0000 CALCULA EL PRODUCTO ENTRE DOS VECTORES COMPLEJOS
0000
0000 COMPLEX XXX(1), YYY(1)
0000 DO 10 I = 1, NXY
0000     XXX(I) = XXX(I) * YYY(I)
1000 CONTINUE
0000 RETURN
0000 END
C-----
0000 SUBROUTINE MIRROR(X, NW, NW2)
0000
0000 CENTRA EL ESPECTRO DEL SISMOGRAMA PARA MULTIPLICARLO CON EL
0000 ESPECTRO DEL FILTRO DE BUTTERWORTH.
0000
0000 COMPLEX X(1)
0000 NW2 = 2 * (NW - 1)
0000 NMAX = NW2 / 2 - 1
0000 DO 10 K = 1, NMAX
0000     X(NW+K) = CONJG(X(NW-K))
1000 CONTINUE
0000 RETURN
0000 END
C-----
0000 SUBROUTINE PULSO (PULS, LPULS, PERI, DELT)
0000
0000 GENERA EL PULSO DE RICKER EN EL DOMINIO DEL TIEMPO (OPCION
0000 DEL PROGRAMA).
0000
0000 DIMENSION PULS(1), XPULS(200)
0000 DO 10 I=1, LPULS
0000     PULS(I) = 0.0
1000 CONTINUE
0000 T = -DELT
0000 X = 0.8862269
0000 LLW = (LPULS/2) + 1
0000 DO 20 I = 1, LLW
0000     T = T + DELT
0000     Y = 6. * ((T/PERI)**2)
0000     IF (Y .GT. 20) GO TO 20
0000     PULS(I) = X * (Y-0.5) * EXP(-Y)
2000 CONTINUE
0000 RETURN
0000 END

```

```
C-----
C SUBROUTINE CXARRAY (NW2, PULS, CPULS)
C GENERA UN ARREGLO COMPLEJO
C DIMENSION PULS(1)
C COMPLEX CPULS(1)
C DO 10 I = 1, NW2
C   CPULS(I) = CMPLX (PULS(I), 0.)
10 CONTINUE
RETURN
END

C-----
C SUBROUTINE FFT (LX, CX, ISIG)
C FFT DE CX(LX):
C CX(K)=SQRT(1/LX) SUM (CX(J)*EXP (2*PI*ISIG*I*(J-1)*(K-1)/LX))
C COMPLEX CX(1), CARG, CW, CTEMP, C1
C C1 = CMPLX(0., 1.)
C J = 1
C SC = SQRT(1./FLOAT(LX))
C DO 30 I = 1, LX
C   IF (I .GT. J) GOTO 10
C   CTEMP = CX(J) * SC
C   CX(J) = CX(I) * SC
C   CX(I) = CTEMP
10 M = LX / 2
20 IF (J .LE. M) GOTO 30
C J = J - M
C M = M / 2
C IF (M .GE. 1) GOTO 20
30 J = J + M
C L = 1
40 ISTEP = 2 * L
C DO 50 M = 1, L
C   CARG = C1 * (3.14159265*ISIG*(M-1)) / L
C   CW = CEXP(CARG)
C   DO 50 I = M, LX, ISTEP
C     CTEMP = CW * CX(I+L)
C     CX(I+L) = CX(I) - CTEMP
50 CX(I) = CX(I) + CTEMP
C L = ISTEP
C IF (L .LT. LX) GO TO 40
RETURN
END

C-----
C SUBROUTINE RARRAY (NW2, PULS, X)
C GENERA UN ARREGLO REAL
C DIMENSION PULS(1)
C COMPLEX X(1)
C DO 10 I = 1, NW2
C   PULS(I) = REAL (X(I))
10 CONTINUE
RETURN
END

C-----
C SUBROUTINE WRARRAY (NW2, PULS)
C ESCRIBE EL SISMOGRAMA SINTETICO EN TAPE3
C DIMENSION PULS(1)
C WRITE (3) (PULS(I), I = 1, NW2)
RETURN
END
```

REFERENCIAS

- Born, W. T., 1940, The attenuation constant of earth materials: Geophysics, v. 6, p. 132-148.
- Futterman, W. I., 1962, Dispersive body waves: J. Geophys. Res., v. 67, p. 5219-5226.
- Ganley, D. C., 1981, A method for calculating synthetic seismograms which include the effects of absorption and dispersion: Geophysics, v. 46, p. 1100-1107.
- Hauge, P. S., 1981, Measurements of attenuation from vertical seismic profiles: Geophysics, v. 46, p. 1548-1558.
- Knopoff, I., 1964, Q: Rev. Geophysics, v. 2, p. 625-660.
- Mc Donald, F. J., Angona, F. A., Mills, R. L., Sengbush, R. L., Van Nostrand, R. G. y White, J. E., 1958, Attenuation of shear and compressional waves in Pierre shale: Geophysics, v. 23, p. 421-439.
- Treitel, S., y Robinson, E. A., 1966, Seismic wave propagation in layered media in terms of communication theory: Geophysics, v. 31, p. 17-32.

Estimado Socio:

Dentro del programa de actividades de la Mesa Directiva 87-88 se contempló la revisión de los Estatutos que nos rigen.

Con objeto de que todos los socios participen activamente en esta revisión, a continuación publicamos los Estatutos existentes para que sean analizados y nos hagas llegar tus comentarios, modificaciones, sugerencias, etc., a través de tu Delegación o directamente a la Directiva Nacional en el Apartado Postal 57-275, C.P. 06500, México, D. F., a más tardar el día 15 de septiembre del presente año, con lo que nos ayudarás sustancialmente en esta tarea.

ESTATUTOS DE CONSTITUCION DE LA ASOCIACION MEXICANA
DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

ARTICULO 1º.- DENOMINACION Y DOMICILIO.

Sección 1a. El nombre de esta Sociedad será el de "Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración".

Sección 2a. Su domicilio se establece en México, D. F.

Sección 3a. Su funcionamiento se regulará por el contenido de los Artículos 2670 a 2687 del Código Civil para el Distrito y Territorios Federales.

ARTICULO 2º.- DURACION DE LA ASOCIACION.

La duración de esta Asociación será ilimitada a menos que se extinga por razones contenidas en estos Estatutos o en los Artículos 2685 del Código Civil.

ARTICULO 3º.- OBJETO.

Sección 1a. El objeto de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración será promover el estudio de la Geofísica en lo general, y especialmente las ramas de esa ciencia que se dedican a la exploración e investigación de la Corteza Terrestre, - para crear el interés científico y mantener un elevado nivel de conocimientos de todos sus miembros.

Sección 2a. La Asociación Mexicana de Geofísicos de Explora-

ción será una asociación científica y no perseguirá fines de lucro por ningún motivo. El financiamiento de la Asociación se hará mediante las cuotas anuales de los socios, cuyo monto se fijará en los Reglamentos de la Asociación.

ARTICULO 4º.- SOCIOS.

- Sección 1a. Los miembros o socios de la Asociación serán las personas elegidas y calificadas de acuerdo con los Estatutos de la Asociación en vigor en la fecha de su elección.
- Sección 2a. Los miembros de la Asociación se clasificarán en: Socios Honorarios, Activos, Aspirantes, Coasociados y Patrocinadores.
- Sección 3a. Socios Honorarios.— Podrán ser elegidos como Socios Honorarios toda persona que en opinión unánime de la Asamblea haya hecho una contribución distinguida para el desarrollo de la Geofísica o en cualquier campo relacionado con ella.
- Sección 4a. Socios Activos.— Toda persona dedicada a la enseñanza o a estudios y trabajos geofísicos o relacionados con ellos, podrá ser aceptada como "Socio Activo" siempre que haya sido graduado en una universidad o instituto de estudios superiores nacional o extranjero de reconocida solvencia educacional. El solicitante deberá, además, haber estado activo en su campo relacionado con la Geofísica durante un período no menor de cuatro años. A falta de este último requisito, el aspirante podrá ser admitido como Socio Activo si tiene un prestigio profesional que reconozca

por unanimidad el Comité Ejecutivo.

Sección 5a. Los Socios Honorarios y Activos gozarán de todos los privilegios de la Asociación. Podrán ocupar, por elección de la Asamblea, cualquier puesto - del Comité Ejecutivo o puestos que éste le confiera, tener voz y voto en las asambleas o en - todo lo relacionado con la Asociación, recomendar a nuevos socios y publicar en donde les convenga su afiliación a la Asociación.

Sección 6a. Socios Aspirantes. - Quienes hayan aprobado cuatro cursos de materias Geofísicas, Geológicas, de Ingeniería Petrolera, Ingeniería Minera o Ingeniería Mecánica y Eléctrica, en una institución de reconocida solvencia técnica o que hayan realizado trabajos prácticos equivalentes podrán ser aceptados como socios aspirantes, siempre - que en los momentos en que formulen su solicitud se encuentren realizando trabajos geofísicos de exploración. Tales socios aspirantes gozarán de todos los privilegios de los socios activos de la Sociedad pero no podrán ser electos o nombrados para ocupar puestos en el Comité Ejecutivo o en alguna comisión. Tampoco podrán recomendar solicitudes de nuevos socios. Tendrán el derecho de publicar en tarjetas o informes profesionales su afiliación en la Sociedad, siempre y - cuando indiquen su calidad de Socios Aspirantes. El Comité Ejecutivo podrá ascender a los aspirantes a la categoría de activos cuando hayan adquirido las condiciones exigidas a los de tal categoría y cuando así lo solicite el socio aspirante.

Sección 7a. Socios Coasociados. - Podrán ser miembros co-asociados, todas las personas que estén interesadas en la Geofísica. Gozarán y tendrán los mismos privilegios que los socios activos, pero no tendrán voz ni voto en las asambleas, ni podrán ser electos o nombrados para ocupar puestos en el Comité Ejecutivo o en alguna comisión. Tampoco podrán recomendar solicitudes de nuevos socios ni tendrán el derecho de publicar en tarjetas o informes profesionales su afiliación en la Sociedad.

Sección 8a. Elección de Socios. - Los candidatos activos, aspirantes o co-asociados, solicitarán su admisión del Comité Ejecutivo y su petición deberá ir recomendada por un número de socios activos no menor de tres. El candidato deberá exponer en la petición su profesión y experiencia. Si el Comité Ejecutivo considera que son apropiadas las condiciones personales del solicitante, publicará en el Boletín de la Sociedad el nombre del solicitante y de los socios que lo recomiendan. Si durante los 30 días siguientes a la publicación no presentan los miembros activos objeciones para su ingreso, quedará considerado el solicitante como "Socio provisionalmente electo". Al celebrarse la siguiente Asamblea General, los asistentes ratificarán o rechazarán la elección.

Sección 9a. Socios Patrocinadores. - Podrán ser Socios Patrocinadores personas o compañías que tengan interés en sostener a la Asociación, aportando cuotas extraordinarias.

Sección 10a. Cuando se comuniqué al candidato su elección, la

comunicación irá acompañada de una copia de los Estatutos de la Sociedad y el nuevo socio deberá pagar la cuota completa del año en curso en un plazo de treinta días, si el socio vive en los Estados Unidos Mexicanos, y este plazo será de noventa días para aquellos socios que residan en el extranjero. Cumplidos los precedentes requisitos se entregará a cada uno de los socios una tarjeta titular que le acredite como tal.

ARTICULO 5°.- ETICA.

Sección 1a. Todos los miembros de la Asociación se comportarán de acuerdo con los principios de la ética profesional y privada.

Sección 2a. Todo socio que, después de una investigación ajustada al Reglamento, sea considerado como culpable de violar los principios de conducta a que se refiere la precedente Sección 1a., será amonestado, suspendido temporalmente en su calidad de socio o dado de baja definitivamente. Los precedentes acuerdos deberán ser ratificados por la Asamblea General.

Sección 3a. La condición de socio es intransferible. Los socios deberán pagar la cuota anual dentro del plazo que señale el Reglamento y de no hacerlo así, el Comité Ejecutivo acordará su baja definitiva como miembro de la Sociedad.

Sección 4a. Los socios que se separen voluntariamente o que reglamentariamente hayan sido dados de baja, perderán todo derecho con la Asociación.

ARTICULO 6°.- FUNCIONARIOS DE LA ASOCIACION.

Sección 1a. Los funcionarios de la Asociación serán: Un Pre
sidente, un Vice-Presidente, un Secretario, un
Tesorero, un Editor y cuatro Vocales, quienes -
constituirán el Comité Ejecutivo de la Sociedad.

Sección 2a. Los funcionarios de la Sociedad serán elegidos
cada dos años por todos los socios activos me-
diante votación secreta.

Sección 3a. Se nombrará un comité de elección formado por -
tres personas, escogidas entre los funcionarios
de cada una de las mesas directivas de períodos
anteriores.

Sección 4a. El comité de elección deberá solicitar a los so-
cios activos que postulen candidatos para cada
uno de los puestos del Comité Ejecutivo.

Sección 5a. El comité de elección enviará por correo a cada
uno de los socios una boleta de votación con los
nombres de los candidatos postulados para que -
cada miembro de la Asociación vote por el candi-
dato que prefiera. Las boletas de votación no
deberán llevar el nombre del socio sino únicamen-
te un número u otra marca que sirva para contro-
lar la cantidad de boletas emitidas.

Sección 6a. Los candidatos electos tomarán cargo de sus pue-
tos en la Asamblea General más cercana después
de la elección.

Sección 7a. En caso de quedar vacante cualquier puesto de la
Mesa Directiva, excepto el de Presidente, el Co-
mité Ejecutivo podrá designar a la persona que -

deberá ocupar el puesto vacante hasta la termina
ción del período correspondiente.

ARTICULO 7º.- OBLIGACIONES DE LOS MIEMBROS DEL COMITE
EJECUTIVO.

- Sección 1a. La obligación del Comité Ejecutivo en conjunto es la de ejecutar los acuerdos de la Asamblea y llevar la buena marcha de la Asociación; publicar regularmente un boletín con artículos y - colaboraciones de los socios; organizar asambleas periódicas de interés técnico y una reunión anual para que en ella se traten asuntos de interés técnico que concierna a todos los socios y temas de interés nacional.
- Sección 2a. Para toda acción del Comité Ejecutivo se requiere mayoría de votos de los funcionarios del mismo.
- Sección 3a. Los miembros del Comité Ejecutivo pueden votar - en persona o por correo.
- Sección 4a. El Presidente será el funcionario que deberá presidir todas las asambleas y reuniones de la Asociación y deberá tomar la responsabilidad de la Asociación y de los actos del Comité Ejecutivo y será el encargado de organizar la reunión anual de la Asociación.
- Sección 5a. El Vice-Presidente deberá hacerse cargo de la - Presidencia durante las ausencias del titular y será también responsable de organizar la reunión anual de la Asociación. Podrá también actuar en cualquier puesto o comisión que el Presidente le confiera.

Sección 6a. El Secretario deberá llevar la representación y obligaciones del Presidente y Vice-Presidente en ausencia de ellos. Deberá comunicar a los miembros de la Asociación los acuerdos tomados por el Comité Ejecutivo y será también responsable de organizar la reunión anual de la Asociación.

Sección 7a. El Tesorero llevará la representación y obligaciones de la Asociación en ausencia del Presidente, Vice-Presidente o Secretario. El estará a cargo de las finanzas de la Asociación y deberá informar anualmente, cubriendo un año fiscal, del estado de las mismas mostrando un balance donde se expliquen los ingresos y egresos en el período correspondiente.

Sección 8a. El Editor deberá ser el responsable del negocio editorial para la publicación regular del Boletín de la Asociación y tendrá autoridad para solicitar colaboraciones, artículos, etc., que deberán publicarse, así como rechazar los que en su opinión no deban publicarse. El puede nombrar a los ayudantes que crea necesarios. Deberá presentar anualmente un informe y un balance del estado del negocio editorial.

Sección 9a. Los Vocales tendrán la obligación de ayudar al Presidente del Comité Ejecutivo a través de los puestos o comisiones que él les confiera.

ARTICULO 8°.- ASAMBLEAS.

Sección 1a. Los miembros de esta Asociación se reunirán en Asamblea General Ordinaria una vez cada año como mínimo, en el lugar y fecha que señale el Comité

Ejecutivo. En dicha Asamblea se dará lectura al acta de la sesión anterior y se leerán y discutirán los trabajos de carácter científico y de interés general que hayan sido presentados. El - Presidente rendirá, en representación del Comité Ejecutivo, un informe anual sobre las actividades de la Sociedad y sobre su estado financiero.

Sección 2a. La Asamblea renovará cada dos años el Comité Ejecutivo en votación ordinaria.

Sección 3a. Además de la Asamblea General Ordinaria se celebrarán las extraordinarias que acuerde el Comité Ejecutivo o que solicite un número de asociados no menor de la quinta parte del número total de socios.

Sección 4a. Las decisiones de la Asamblea se adoptarán por mayoría de socios presentes. Sin embargo, para destituir al Comité Ejecutivo antes del término de su plazo legal será necesario que en la Asamblea esté presente el 75 por ciento de los - socios activos.

ARTICULO 9°.- SECCIONES LOCALES.

Sección 1a. Se pueden formar Secciones Locales en los Estados de la República entre los miembros de la Asociación y personas locales relacionadas con la Geofísica.

Sección 2a. Cada Sección Local pugnará por llevar adelante el objetivo de la Asociación.

Sección 3a. Cada Sección Local tendrá un Representante que

2.
fungirá como Presidente de Debates en las asambleas locales.

Sección 4a. El Representante de cada Sección Local será nombrado por los socios activos que se encuentren en esa localidad.

ARTICULO 10°.- SOCIEDADES AFILIADAS.

Sección 1a. El Comité Ejecutivo puede hacer arreglos para afiliarse con cualquier Grupo o Sociedades afines.

Sección 2a. Las condiciones de afiliación deben concertarse de manera que en cualquier momento se anule tal afiliación, pagando solamente la cuota o cuotas a las que hubiera obligación de cubrir o que pudieran quedar pendientes al suceder la anulación.

ARTICULO 11°.- COMITES.

Sección 1a. El Comité Ejecutivo puede nombrar los comités o comisiones que sean necesarios para la buena marcha de la Asociación.

Sección 2a. La duración de cualquier comité o comisión nombrada por el Comité Ejecutivo termina cuando ha cumplido la misión encomendada o cuando termina el Comité Ejecutivo que lo nombró.

ARTICULO 12°.- ENMIENDAS A LOS ESTATUTOS.

Sección 1a. Las enmiendas a los Estatutos pueden ser propuestas por cualquier grupo de socios mayor de

diez, por cualquier funcionario de la Asociación, o por un Comité nombrado por el Presidente.

~~Sección 2a.~~ Cualquier proposición de enmienda deberá exponerse primero al Comité Ejecutivo para después publicarse en el boletín de la Asociación.

~~Sección 3a.~~ Posteriormente a la publicación de la enmienda ~~propuesta~~ se enviará a cada socio una boleta de votación para que en ella indique si está o no ~~de~~ acuerdo con la enmienda.

~~Sección 4a.~~ En Asamblea General se dará a conocer el resultado de la votación y se hará la enmienda si por ~~ella~~ votó la mayoría.

~~Sección 5a.~~ Toda enmienda deberá ser publicada en el Boletín ~~de~~ la Asociación.

REGLAMENTOS

ARTICULO 1º.- PUBLICACIONES.

~~Sección 1a.~~ La Sociedad publicará un boletín que se llamará Boletín de la Asociación Mexicana de Geofísicos ~~de~~ Exploración.

~~Sección 2a.~~ El Boletín se publicará periódicamente a intervalos que fijará el Comité Ejecutivo.

~~Sección 3a.~~ Todos los informes de los funcionarios y Comités ~~deberán~~ ser publicados en el boletín. A los ~~miembros~~ de la sociedad se les informará de los ~~actos~~ del Comité Ejecutivo y de la Asociación -

por medio del boletín.

- Sección 4a. Todos los originales, traducciones o cartas conteniendo información que el Editor juzgue de interés para los miembros de la Asociación, deberá ser publicado en el boletín. El Editor será el único que decida cuál material deba publicarse.
- Sección 5a. El precio de subscripción del boletín será fijado por el Comité Ejecutivo. De las cuotas anuales de los socios se separará como mínimo la mitad para el pago de la subscripción del boletín de los socios correspondientes. El financiamiento del boletín se complementará con los ingresos por concepto de anuncios de casas patrocinadoras.
- Sección 6a. El Comité Ejecutivo puede autorizar la impresión de números especiales que sean financiados y distribuídos de acuerdo con el comité de reglamento o la asamblea general.

ARTICULO 2º.- CUOTAS.

- Sección 1a. Los miembros honorarios no pagarán cuota alguna y tendrán derecho a recibir el boletín y cualquier otra publicación de la Asociación, sin cargo alguno.
- Sección 2a. La cuota anual de un socio activo será de -
\$ 100.00 (CIEN PESOS 00/100) M. N., en la cual estará incluída la subscripción al boletín. La cuota anual de un co-asociado será de \$ 75.00
(SETENTA Y CINCO PESOS 00/100) M. N., en la cual estará incluída la subscripción al boletín. La

cuota anual de un aspirante será de \$ 50.00 (CINCUENTA PESOS 00/100) M. N.; incluyendo en esta cantidad la subscripción al boletín. La cuota anual de un socio patrocinador será de \$1,000.00 (UN MIL PESOS 00/100) M. N. o mayor, de acuerdo con los deseos del socio patrocinador, en la cual estarán incluidas la subscripción del boletín y las publicaciones extras.

Sección 3a. Todas las cuotas deberán ser cubiertas dos meses antes o un mes después de cada 1° de enero. A cada socio se le enviará por correo el recibo correspondiente indicando la cantidad que debe cubrir y la pena a la que se hace acreedor si no la cubre a tiempo. El boletín de la Asociación no se enviará a los que adeuden cuotas. Los socios activos que no estén al corriente en sus cuotas, perderán el derecho de votar. Todos los socios atrasados en el pago de sus cuotas perderán todos los privilegios sociales, mientras no se pongan al corriente.

ARTICULO 3°.- COMITE DE REGLAMENTO.

Sección 1a. El Comité de Reglamentos de la Asociación estará constituido por: el Presidente de la Asociación en el período pasado, por el Presidente en funciones, y por los representantes de las diferentes Secciones Locales.

Sección 2a. El Comité de Reglamentos formulará un manual que no esté en conflicto con los estatutos de constitución, para la correcta aplicación de los mismos.

Los reglamentos nuevos, o enmiendas a los existentes, que proponga el Comité de Reglamentos, deberán ser aprobados por el Comité Ejecutivo.

ARTICULOS TRANSITORIOS

ARTICULO 1°.

Sección 1a. El Comité Ejecutivo designado al constituirse - esta Asociación ejercerá sus funciones hasta el 31 de diciembre de 1960.

ARTICULO 2°.

Sección 1a. El Comité Ejecutivo actual y los futuros nombrarán al Comité de Elección dentro de los socios activos de la Asociación mientras que el tiempo permita cumplir con lo establecido en el Artículo 6°. Sección 3a.

Sección 2a. El Comité Ejecutivo actual nombrará totalmente al Comité de Reglamentos y el siguiente se nombrará de acuerdo con el Artículo 3°. Sección 1a. de los Reglamentos.

Sección 3a. El Comité Ejecutivo actual calificará y aprobará provisionalmente las solicitudes de ingreso de - nuevos socios activos, aspirantes, co-asociados o patrocinadores que se reciban hasta el 30 de - junio de 1959, sin el procedimiento indicado en el Artículo 4°. Sección 8a., no obstante, la - Asamblea General siguiente deberá aprobar, si - así lo cree conveniente, en forma definitiva -

dichas decisiones.

Sección 4a. Las personas que firmaron el Acta de Constitución de esta Sociedad o que firmaron la Circular No. 1 dando su anuencia para pertenecer a la Asociación, se considerarán como Socios Fundadores, así como todos los que se inscriban hasta - el 30 de junio de 1959.

México, D. F., agosto 5 de 1958.



CONSULTORES Y CONTRATISTAS
DE
GEOLOGIA Y GEOFISICA.

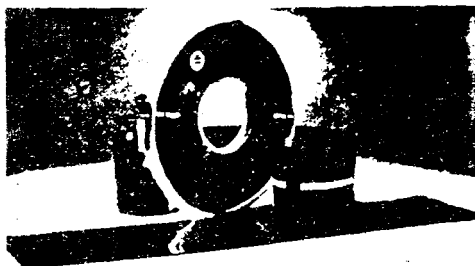
Compañía Mexicana de Exploraciones, S.A.

RIO BALSAS 101 8º PISO APDO. POSTAL 5-255
MEXICO 5, D. F.

TELS. 28-83-90 14-44-02

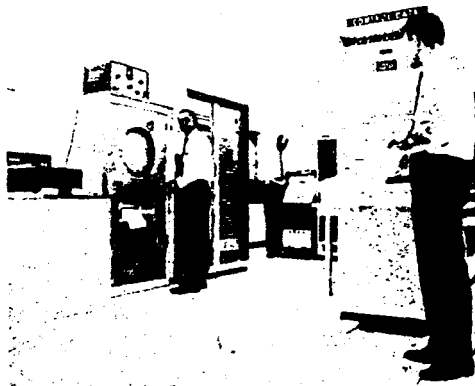
Petty procesa
cintas como estas

(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 Reflexión,
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.



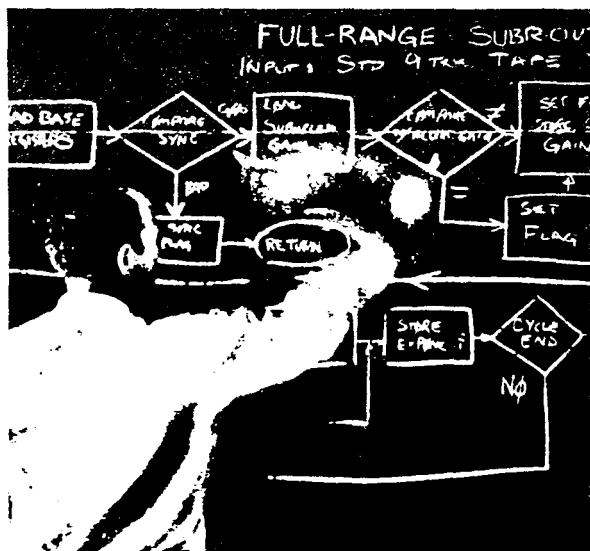
HOME OFFICE: TOWER LIFE BUILDING
SAN ANTONIO, TEXAS, U.S.A. — TEL: 512 CA 6-1393

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



433 North La Brea Avenue, Los Angeles, California 90008, U.S.A.
 720 North Market Street, Suite 100, Tempe, Arizona 85281, U.S.A.

WESTERN
GEOPHYSICAL
 DIVISION OF LITTON INDUSTRIES