



**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. 533-62-46**

# COMPANÍA MEXICANA AEROFOTO. S. A.



## ESPECIALIDADES

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

132 empleos especializados.

## EQUIPO

1 Avión Queen Air A-80 Mat. XB-XAX  
1 Avión Riley Rocket. Mat. XB-SAR  
1 Avión Beech Craft Mat. XB-VIG  
2 Aviones Piper Astec Mat. XB-MOJ y WOO  
1 Avión Cessna 185 Mat. XB-TIS  
Unidad Central de Proceso IBM. 1131  
Lectora-perforadora de tarjetas IBM. 1442  
Unidad Impresora, IBM. 1132  
1 Cámara Fotogramétrica Zeiss MRK-A  
1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-9  
1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-8  
1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-5  
3 Cámaras Fairchild  
4 Cámaras para fotografía oblicua  
5 Cámaras Rectificadoras

4 Cámaras de Reproducción  
3 Unidades de Telurómetro MRA-3  
4 Teodolitos Wild T-2  
2 Niveles automáticos Wild NAK-2  
4 Camionetas doble tracción  
2 Autógrafos Wild A-7 con Registradora de coordenadas  
1 Estéreo cartógrafo Wild A-8  
1 Autógrafo Wild A-9  
4 Autógrafos Wild B-8  
1 Balplex 760, de 7 proyectores  
2 Kelsh K-5, de 4 proyectores c.u.  
3 Kelsh K-1, de 2 proyectores c.u.  
2 Multiplex de 8 proyectores c.u.

### DIRECCION

11 de Abril Nº 336 esquina con Pestalozzi, Col. Escandón  
Teléfono 516-07-40  
Cable: AEROFOTO, MEXICO MEXICO 18, D.F.  
Servicios Aéreos: Ave Santos Dumont Nº 212

Schlumberger

# SCHLUMBERGER SURENCO, S. A.

## AGENCIA EN MEXICO

Bahia de San Hipólito 56-Desp. 302

Tel. 545-90-93

MEXICO 17, D.F.

**GEOFISICOS CONSULTORES PARA  
PETROLEOS MEXICANOS**



***Seismograph Service 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
  - 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

**C A A , S.A.**

**EXPLORACION**

**Y**

**PERFORACION**

Bruselas No. 10 3<sup>er</sup>. Piso

Tel. 546-63-77

MEXICO 6, D. F.

# BOLETIN

de la

## Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración

---

### S U M A R I O

Microgeofísica en Arqueología e  
Ingeniería Civil.

Por: Luis del Castillo García  
Jaime Urrutia Fucugauchi

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

MESA DIRECTIVA PARA EL PERIODO 1974-1976

Presidente: Ing. Raúl Silva Acosta  
Vicepresidente: Ing. Felipe Neri España  
Secretario: Ing. Andrés Ramírez Barrera  
Tesorero: Ing. David Juárez T.  
Editor: Ing. Antonio Deza Suárez  
Vocales: Ing. Fabián C. Chavira  
Ing. Raymundo Aguilera  
Ing. Rafael Chávez Bravo  
Ing. Luis Madrigal U.  
Ing. Héctor Palafox R.

Presidente saliente: Ing. Antonio C. Limón

---

Este boletín no se hace responsable de las ideas emitidas en los artículos que se publiquen, sino sus respectivos autores.

---

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

---

Cuota anual para miembros de la AMGE	\$ 200.00
Subscripción anual (no socios)	\$ 250.00
Números sueltos	\$ 75.00

---

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

ING. ANTONIO DEZA S .  
Apdo. Postal 53-077  
México 17, D.F.

Imprenta VERDIGUEL  
Mar de Japón 39-A  
México 17, D.F.  
Tel. 527-42-68

**MICROGEOFISICA EN ARQUEOLOGIA E INGENIERIA CIVIL \***

por

**Luis Del Castillo García \*\***

**Jaime Urrutia Fucugauchi \*\*\***

**\* Investigación No. 1059 del Instituto de Geofísica de la UNAM. Original en Inglés, presentado en el Simposio de Geofísica y Arqueología de la 43a. Reunión Internacional de la Society of Exploration Geophysicists y la 5a. de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración celebrada en México, D.F. del 20 al 25 de Octubre de 1973.**

**\*\* Conferencista, Investigador y Jefe Departamento Exploración, - Instituto de Geofísica, UNAM.**

**\*\*\* Ayudante de Investigador en el Departamento de Exploración, - Instituto de Geofísica, UNAM.**

## RESUMEN

En noviembre de 1969, se llevaron a cabo, con la participación del Departamento de Exploración del Instituto de Geofísica de la UNAM (Del Castillo et al., 1971), unas pruebas con los métodos geofísicos de exploración en las obras del metro en el Zócalo de la Ciudad de México. Los resultados fueron muy satisfactorios en correlación con las obras realizadas posteriormente.

El problema abordado en esa ocasión puede extenderse al estudio de anomalías a nivel micro geofísico, relacionadas con varias condiciones físico-matemáticas congruentes con casos particulares. Ahora se discuten los resultados y las posibilidades de éxito en las obras de urbanización en varias ciudades de la República Mexicana y en la planeación de las excavaciones durante las investigaciones en arqueología.

## INTRODUCCION

Los métodos geofísicos se han aplicado en el pasado como herramienta en la prospección de minerales, agua subterránea y petróleo. - Dichos métodos alcanzaron una gran aplicación en problemas de Ingeniería civil y geotermia durante la última década. En la actualidad los métodos geofísicos, como ciencia aplicada, se emplean en muchas actividades de investigación en Tierra Sólida. Al mismo tiempo se emplean como arma de la orientación de las excavaciones.

La teoría en la que se basan la mayoría de los métodos geofísicos y las fórmulas empleadas en evaluaciones de la profundidad de



cuerpos enterrados se han descrito en muchos artículos y libros. No obstante, será útil el delinear el procedimiento adoptado en la búsqueda de la "Piedra Pintada" en el Zócalo de la Ciudad de México. El trabajo de investigación se hizo antes de la iniciación de las excavaciones para el Metro de nuestra capital.

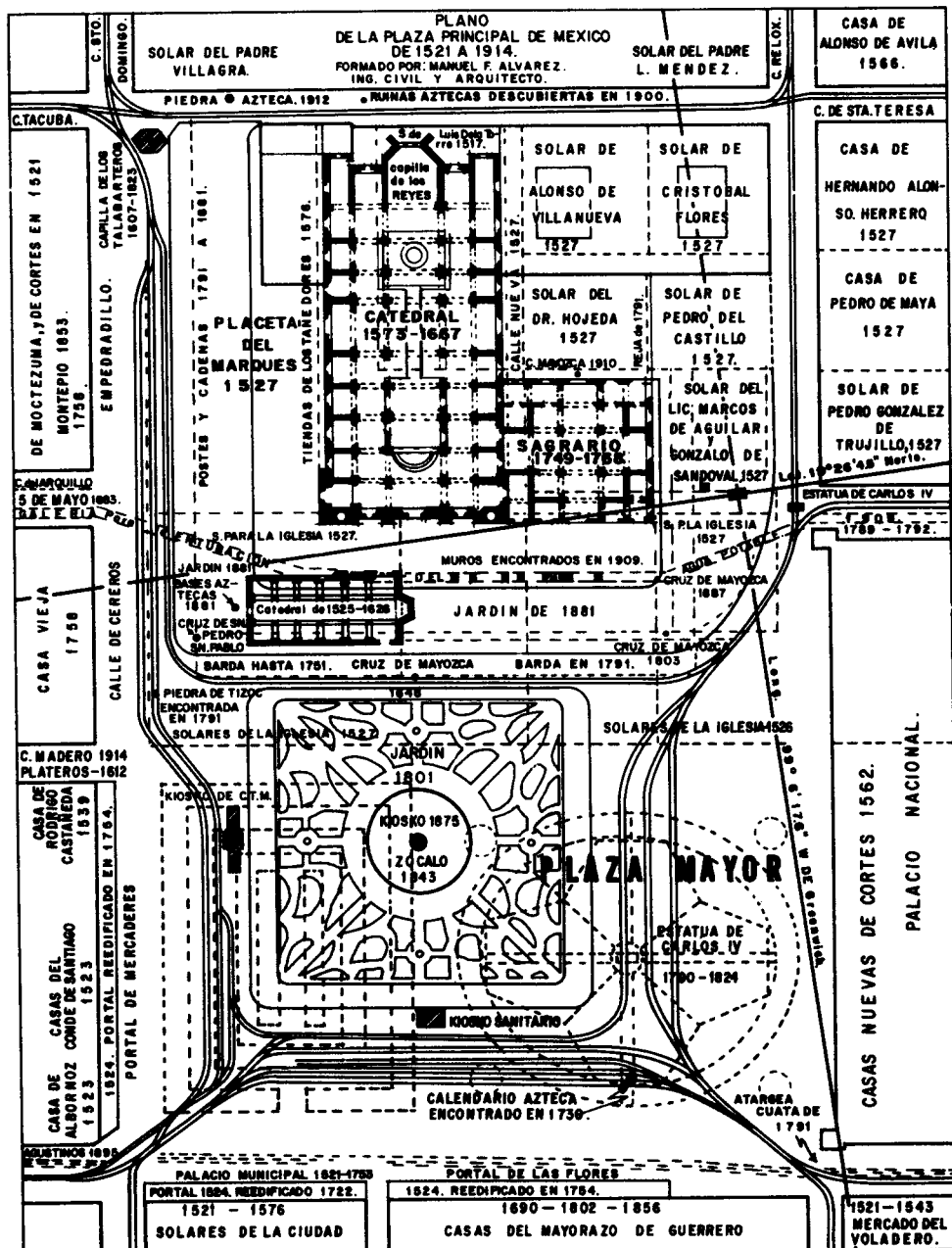
#### GENERALIDADES

De acuerdo con el Profesor Vasconcelos y otros, la "Piedra Pintada" es similar en tamaño al "Calendario Azteca". Esta se exhibe en el Museo de Antropología e Historia de la ciudad de México. La forma es similar a un disco de aproximadamente un metro de ancho y un metro de radio. Los Aztecas esculpieron excelentes piezas y monumentos en rocas básicas obtenidas del Cinturón Neo-volcánico.

La Figura 1 muestra como se encontraba el Zócalo según los arqueólogos mexicanos durante la época entre los Siglos XVI y XIX. Se identifica la localización de la Catedral, La Plaza Mayor, el Palacio Nacional y la Cruz de Mayozca. La Figura 2 presenta la distribución del mismo Zócalo en la actualidad. El área estudiada se encuentra sobre la Cruz de Mayozca, donde supuestamente se localizaba la famosa "Piedra Pintada".

En base a esta información la Figura 3 indica la exploración geofísica efectuada para tratar de localizar la pieza. La prospección se realizó en Noviembre de 1969 también con el propósito de conocer, aunque sea en forma indirecta, el tipo de material prevaleciente y tratar de guiar las excavaciones.

El área es muy transitable y se encontraba asfaltada por lo que la recolección de datos se llevó a cabo de las 12:00 P.M. a las 4:00



**Fig. 1.— Plaza principal durante el Siglo XVI.**

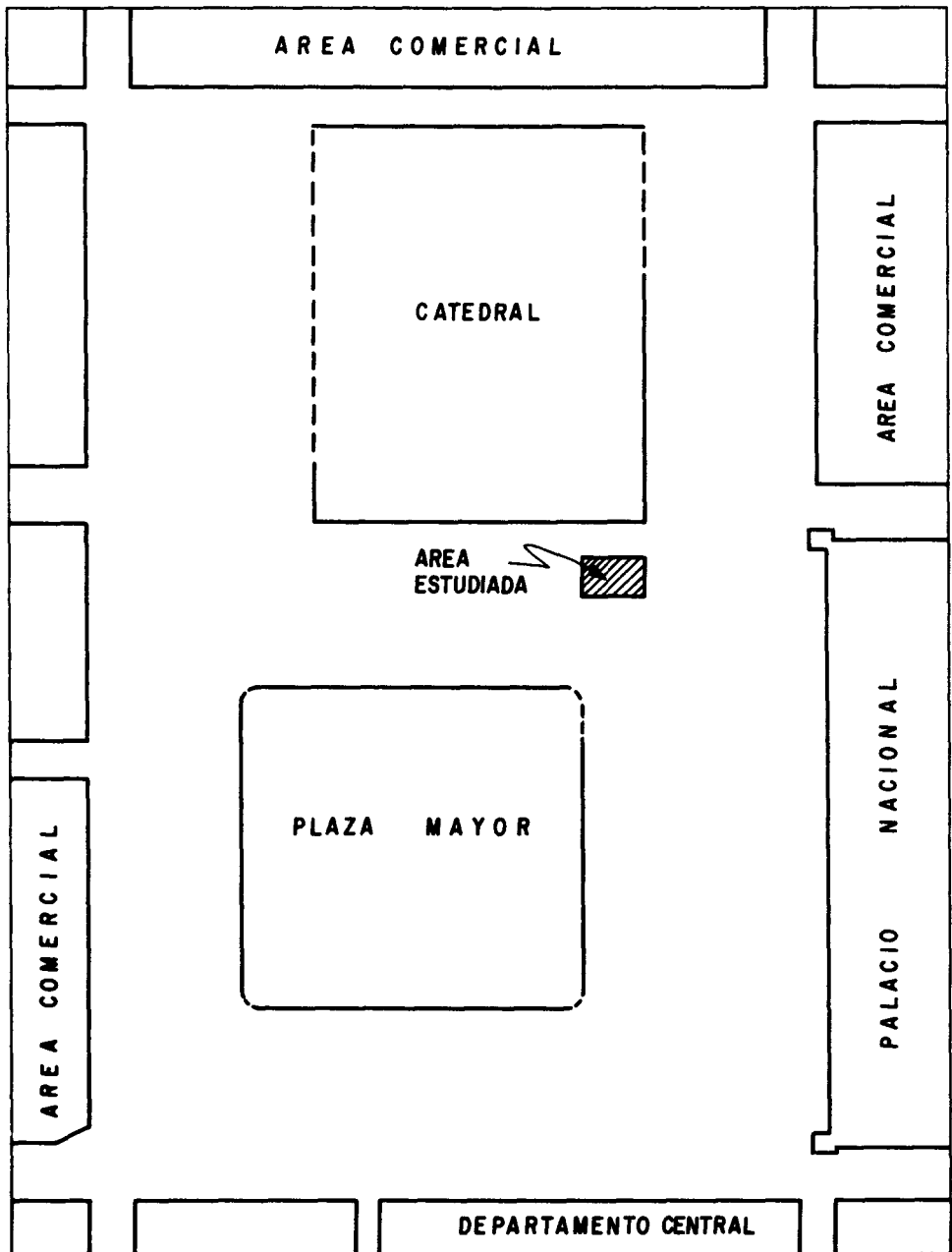


Fig. 2.- Plaza principal en la actualidad.

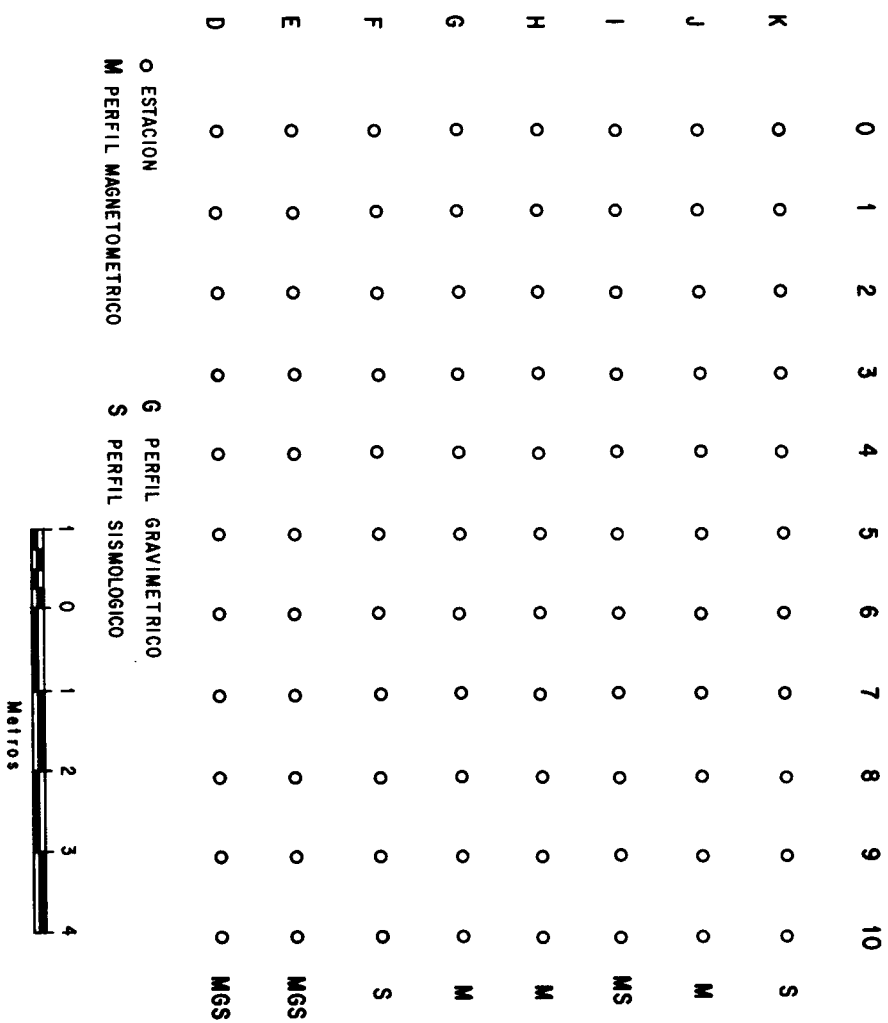


Fig. 3.- Levantamiento Geofísico en el Zócalo, México, D.F.

A.M. para evitar interrupciones. Los levantamientos con refracción sísmica y los perfiles de gravimetría y magnetometría se efectuaron según la cuadrícula de la Figura 3. Se estableció un sistema de coordenadas para la localización de las estaciones, esto es, letras en dirección N-S y números en la E-W. Se hicieron perforaciones del orden de 15 cm. a través del ~~asfalto~~ para colocar los geófonos adecuadamente.

El espaciamiento de los geófonos y las estaciones de gravimetría y magnetometría en problemas de ingeniería civil, generalmente va rían de 5 a 15 metros. Los espaciamientos más cerrados de un metro permiten una mejor resolución para aquellas pequeñas piezas buscadas a poca profundidad, mientras que los espaciamientos mayores ayudan a que los pefiles medidos proporcionen mayor "penetración" para otro tipo de problemas. Los intervalos extremadamente cerrados de un metro o menores son especialmente necesarios en el problema abordado.

#### PROBLEMAS EN SISMOLOGIA DE REFRACCION

La Figura 4 muestra en detalle los tiros de una parte del programa de refracción sísmica. Como las irregularidades cercanas a la superficie y los cambios laterales de velocidad dan resultados ambiguos, la interpretación se puede complementar con la técnica de localización en tiros múltiples. El tendido se observó con tiros  $PT_1$  a  $PT_{10}$  en los perfiles K, J, F y E. Una de las curvas Tiempo-Distancia se presenta en la Figura 5. En esta gráfica se han considerado los segundos arribos. Los arribos o impulsos posteriores se han marcado en los registros, los cuales pueden atribuirse a disturbios tales como reflexiones múltiples o atenuación. Es obvio que en un modelo de capas horizontales con una interfase plana, la propagación de ondas puede ser extremadamente compli

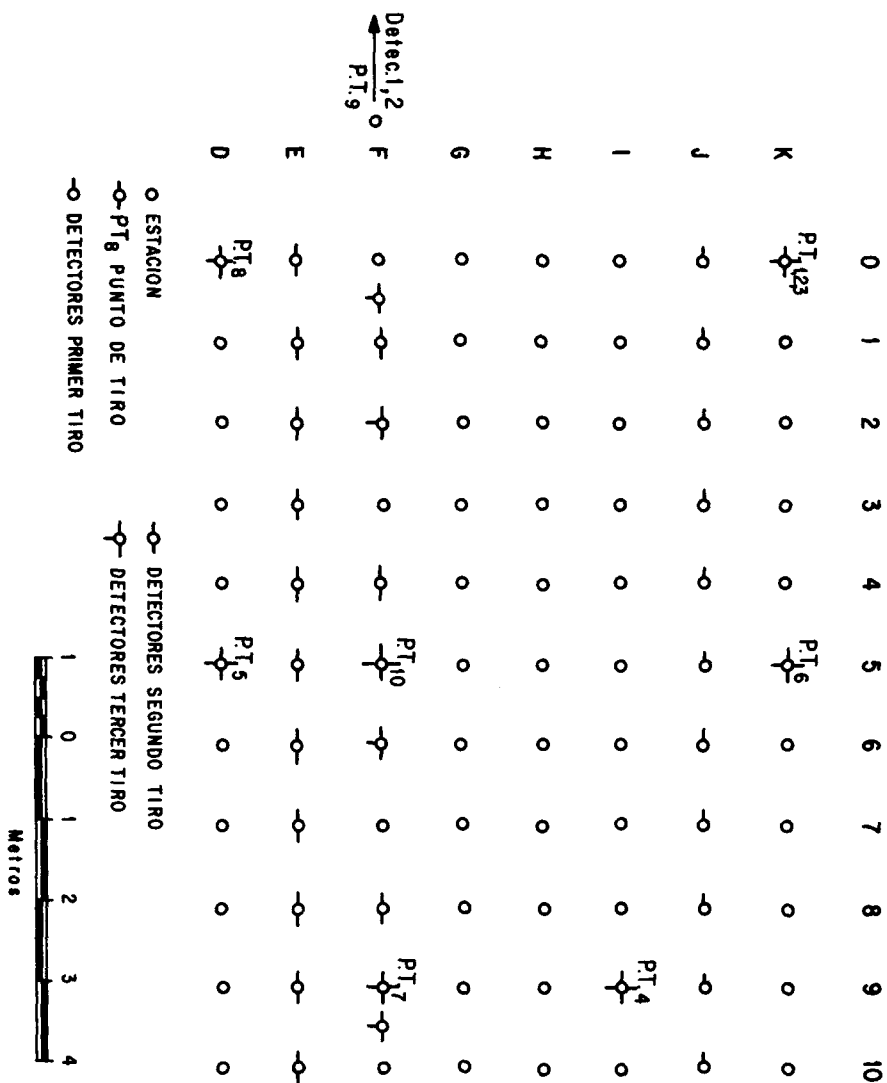


Fig. 4.- Levantamiento Sismológico en el Zócalo, México, D.F.

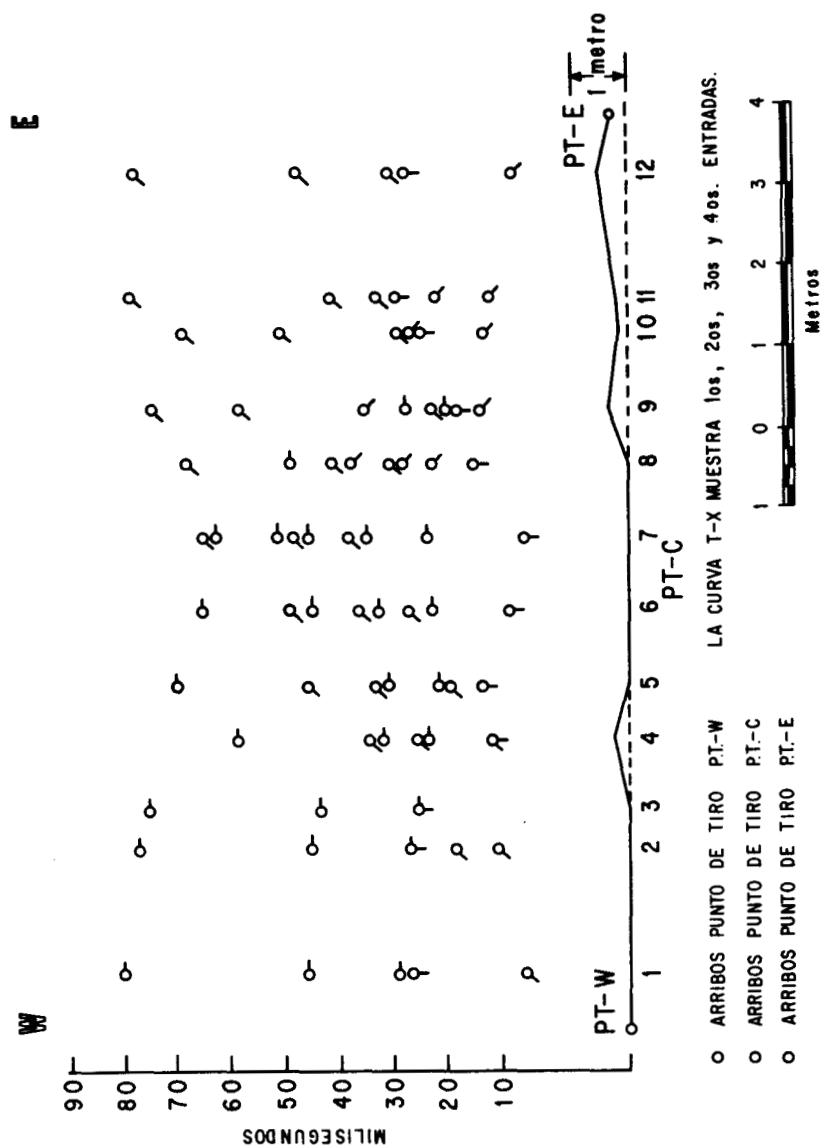


Fig. 5.- Curva Tiempo-Distancia.

cada. Debemos recordar que los arribos posteriores en refracción son en mascarados por otros arribos simultaneos provenientes de capas muy cercanas a la superficie. Esta observación no intenta eliminar el problema de la refracción total. En efecto, solo se trata de indicar las diferencias - que se deben esperar entre un modelo ideal y el problema real.

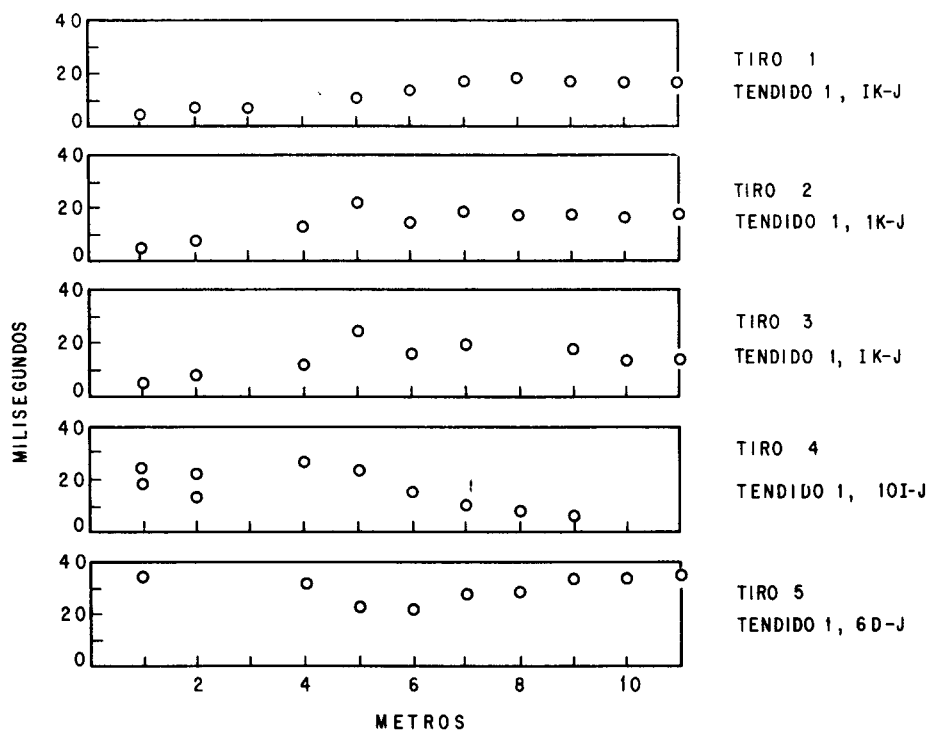
Las Figuras 6 (a y b) incluyen algunos disturbios discrepantes que se tienen en las gráficas. Esto demuestra que existen algunas - disparidades entre los tiros directo e inverso. No se trata de dar una explicación cuantitativa de la amplitud de los arribos, pero se sugieren algunos efectos:

- a) Debido a la forma del cuerpo.
- b) Desplazamiento reversivo de las ondas refractadas por la configuración presente de los cuerpos (estructura).
- c) Superficie rugosa del cuerpo.
- d) Cambio del ángulo de emergencia o del rayo refractado.
- e) Interferencia de pulsos a lo largo de trayectorias diferentes.

#### MAGNITUD Y CORRELACION CON FORMULACIONES ADECUADAS

Las Figuras 7 (a y b) presentan algunos perfiles típicos en la investigación realizada. Los perfiles de gravedad corresponden a las líneas E y D y los magnéticos a las líneas G, H, I y J. Las anomalías - significativas absolutas son del orden de  $35 \times 10^{-4}$  a  $70 \times 10^{-4}$  miliga- les por metro en gravimetría y 300 gamas por metro para las medidas mag- néticas. La extensión de los valores máximos varía de 1 a 3 metros en - todos estos perfiles. Las rocas o piezas esculpidas en rocas básicas, - tales como andesitas o basaltos del Eje Neo-volcánico han sido muestrea- dos anteriormente (Del Castillo et al, 1970 y Molina B., 1956). Las me-





( a )

Fig. 6. - Cambio de velocidades debida a disparidades en los arribos.

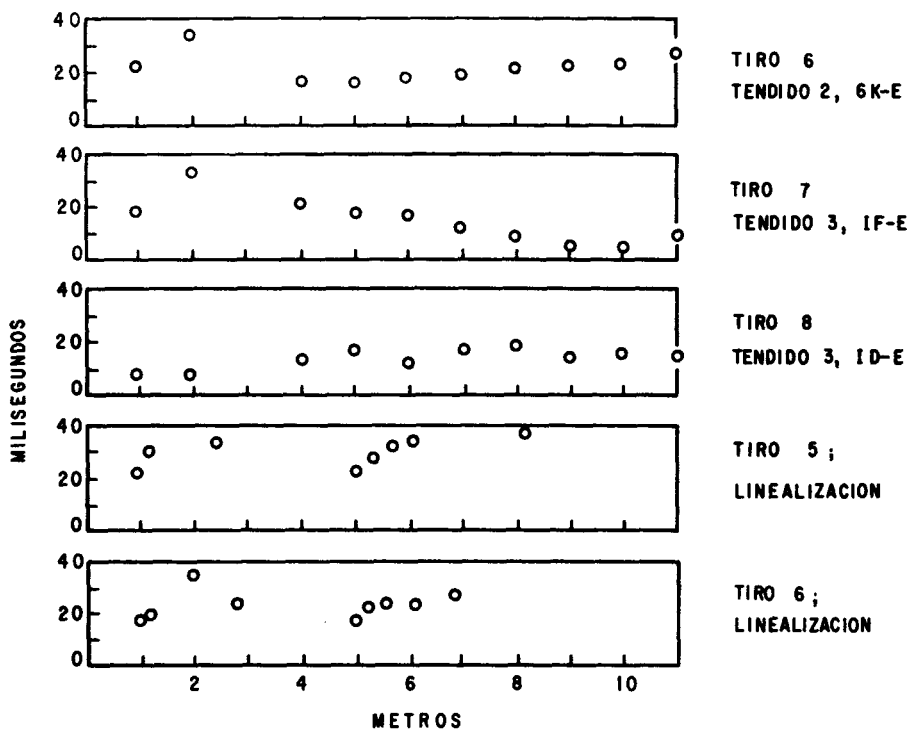
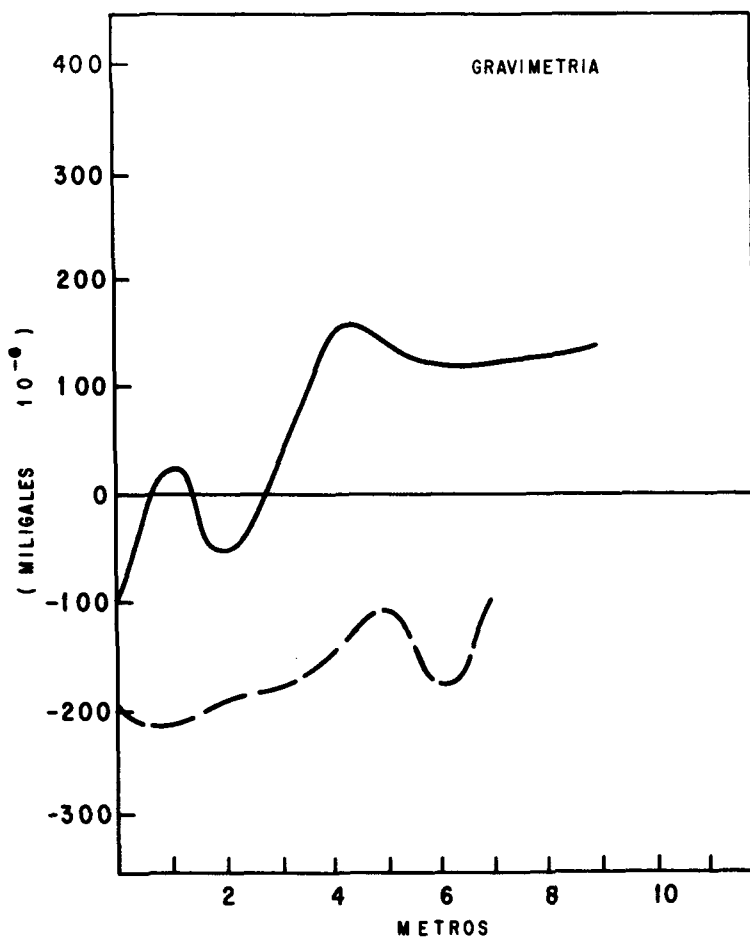


fig.6 ( b )



( a )

Fig. 7.- Algunos de los perfiles levantados.

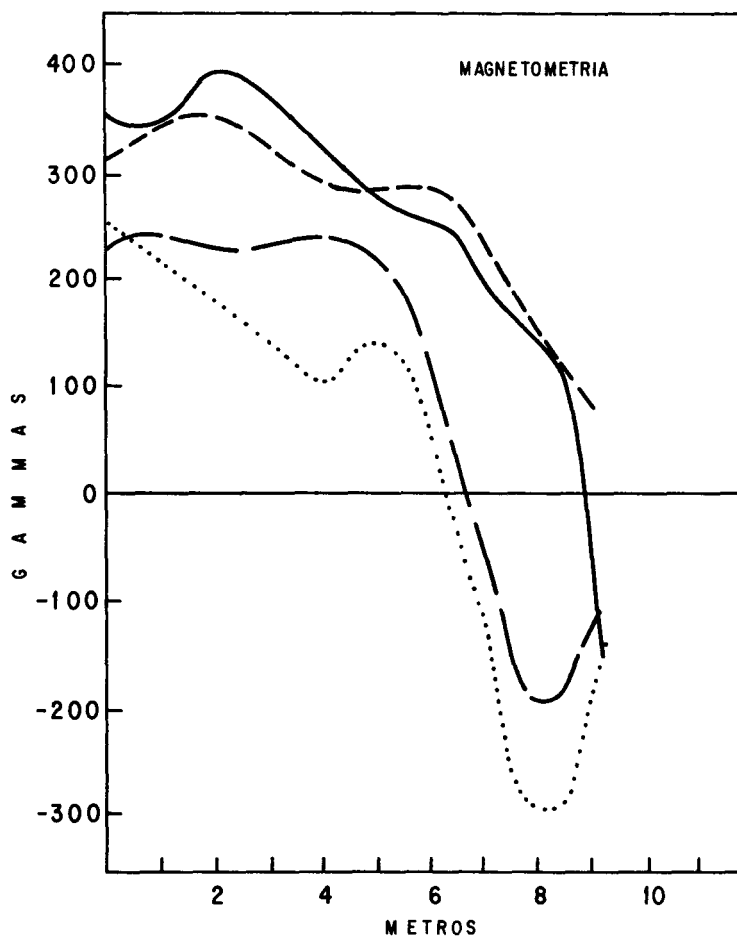


fig.7 ( b )

didas de densidad y susceptibilidad de estas rocas en el laboratorio son: del orden de  $2.3 \pm 0.2 \text{ gr/cm}^3$  y de  $1600 \times 10^{-6} \pm 600 \times 10^{-6} \text{ cgs}$ , respectivamente. Considerando un material arcilloso como medio encajonante de la "Piedra Pintada", es razonable suponer unos contrastes físicos de  $1.0 \text{ gr/cm}^3$  y de  $2000 \times 10^{-6}$  unidades cgs para un disco de roca básica - incrustado en suelos.

Haciendo uso de los modelos con fallas, cuando los perfiles son perpendiculares al rumbo de la falla, es posible evaluar un tratamiento teórico. Las Figuras 8 (a y b) muestran los parámetros involucrados en el cálculo de la curva Tiempo-Distancia para una falla con desplazamiento finito, cuando el punto de tiro está localizado sobre el lado superior del disco o cuando el punto de tiro está localizado en el lado inferior del disco. Aquí se asume que la "Piedra Pintada" es un disco - que descansa sobre una capa delgada con una velocidad similar  $V_1$ . Es decir, la capa inferior está construida con piezas de roca basáltica utilizando un material fino en las juntas. Los parámetros son:

$H_1$  = Profundidad de la cima.

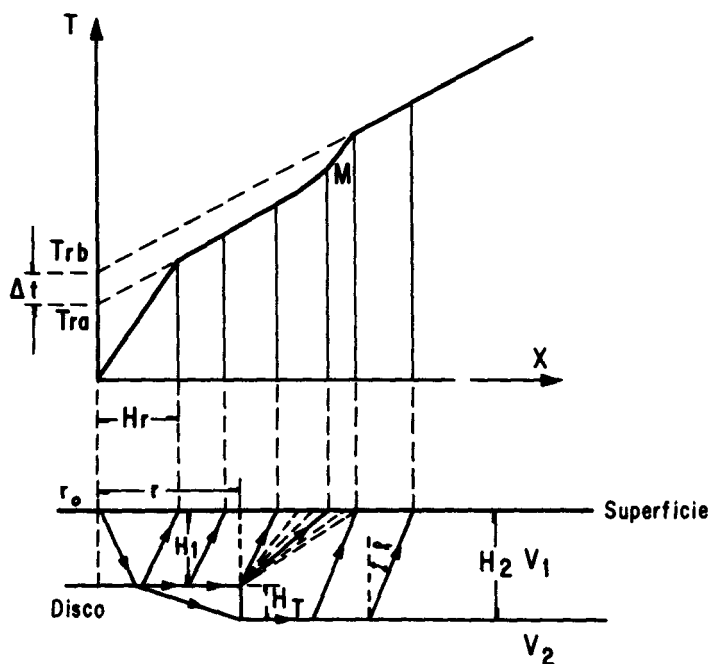
$H_2$  = Profundidad de la base.

$V_1$  = Velocidad en el disco.

$V_2$  = Velocidad en el medio.  
          envolvente.

$H_T$  = Espesor.

$r$  = radio del disco.



$H_1$  = PROFUNDIDAD DE LA CIMA

$H_2$  = PROFUNDIDAD DE LA BASE

$V_1$  = VELOCIDAD EN EL DISCO

$V_2$  = VELOCIDAD EN EL MEDIO ENVOLVENTE

$H_T$  = ESPESOR

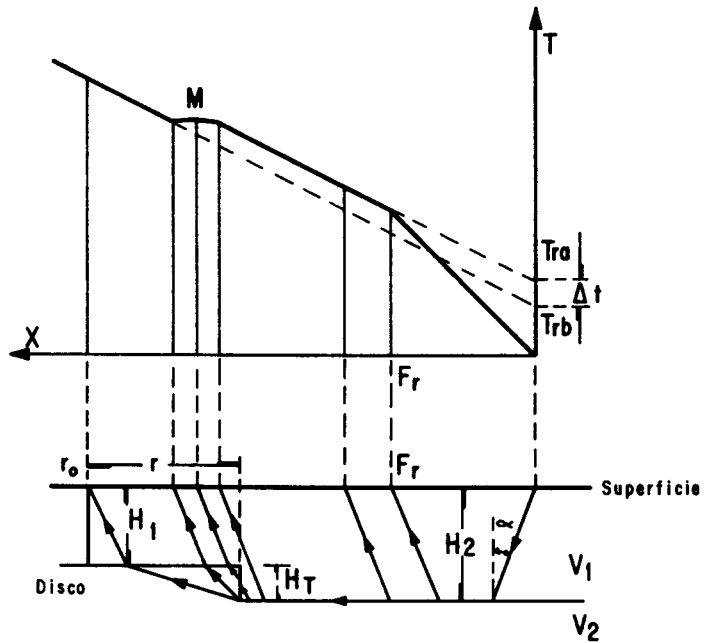
$r$  = RADIO DEL DISCO

$T_{ra}$  = TIEMPO DE INTERCEPCION

$T_{rb}$  = TIEMPO DE INTERCEPCION

( a )

Fig.8.- Trayectorias cuando el punto de tiro se realiza, arriba (a) y abajo (b) del disco.



$H_1$  = PROFUNDIDAD DE LA CIMA

$H_T$  = ESPESOR

$H_2$  = PROFUNDIDAD DE LA BASE

$r$  = RADIO DEL DISCO

$V_1$  = VELOCIDAD EN EL DISCO

$T_{ra}$  = TIEMPO DE INTERCEPCION

$V_2$  = VELOCIDAD EN EL MEDIO ENVOLVENTE

$T_{rb}$  = TIEMPO DE INTERCEPCION

fig 8 ( b )

$T_{rb}$  = Tiempo de intercepción en el  
eje que pasa por el P.T.

$T_{ra}$  = Tiempo de intercepción en el eje que pasa  
Por el P.T. inverso.

El tiempo al punto M de la curva T-X representa el inverso -  
de la velocidad aparente de las dos capas.

Las Figuras 9 (a y b) indican los parámetros involucrados en  
la evaluación de las anomalías teóricas de gravedad y magnetismo para un  
cilindro vertical. Estos son:

$r$  = Distancia desde el punto en la superficie al  
centro de la cima del disco.

$r_1$  = Distancia al extremo de la cima.

$r_2$  = Distancia al extremo de la base.

$Z_1$  = Profundidad de la cima.

$Z_2$  = Profundidad de la base.

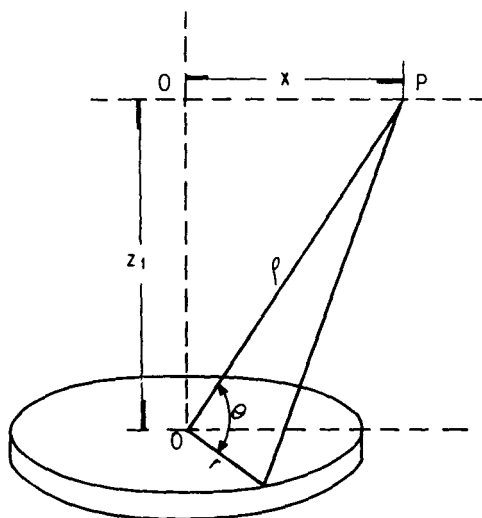
$X$  = Distancia horizontal sobre la superficie desde el  
eje del cilindro a cualquier punto P (u,v,w).  
= Distancia sobre el plano P (Q,p,r).

$r$  = Radio del disco.

Las Figuras 10 (a y b) representan la proyección del disco -  
sobre un plano horizontal. La evaluación de las anomalías potenciales de  
penden del número de lados del polígono con que se pueden delinear dentro  
del círculo. Entre más grande el número de lados, es mejor y más exacto  
el cálculo. En dicha evaluación el espesor del disco es de un metro.

Las Tablas I y II muestran las fórmulas matemáticas reducidas  
y los algoritmos empleados en la evaluación de los modelos teóricos de una





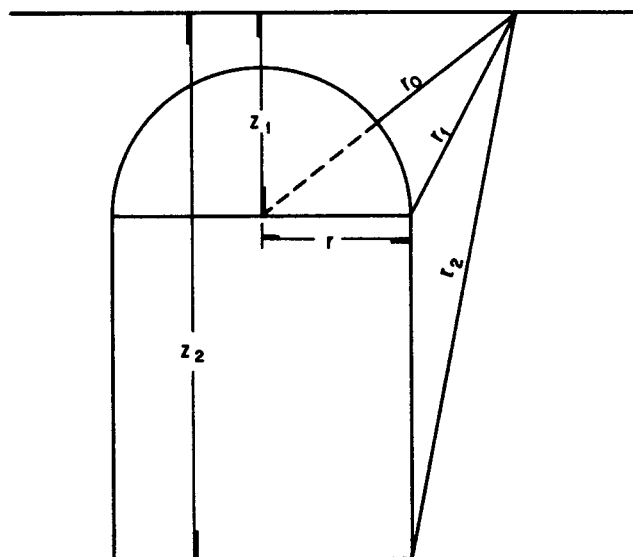
$r$  = RADIO DEL DISCO.

$x$  = DISTANCIA HORIZONTAL SOBRE LA SUPERFICIE DESDE EL EJE DEL CILINDRO A CUALQUIER PUNTO  $P(u,v,w)$ .

$\rho$  = DISTANCIA SOBRE EL PLANO  $P(a,p,r)$ .

(a)

Fig. 9.- Fundamentos básicos considerados por Rao y otros (1965).



- $r_0$  = DISTANCIA DESDE UN PUNTO EN LA SUPERFICIE.  
 AL CENTRO DE LA CIMA DEL DISCO.  
 $r_1$  = DISTANCIA AL EXTREMO DE LA CIMA.  
 $r_2$  = DISTANCIA AL EXTREMO DE LA BASE.  
 $z_1$  = PROFUNDIDAD DE LA CIMA.  
 $z_2$  = PROFUNDIDAD DE LA BASE.

fig.9 ( b )

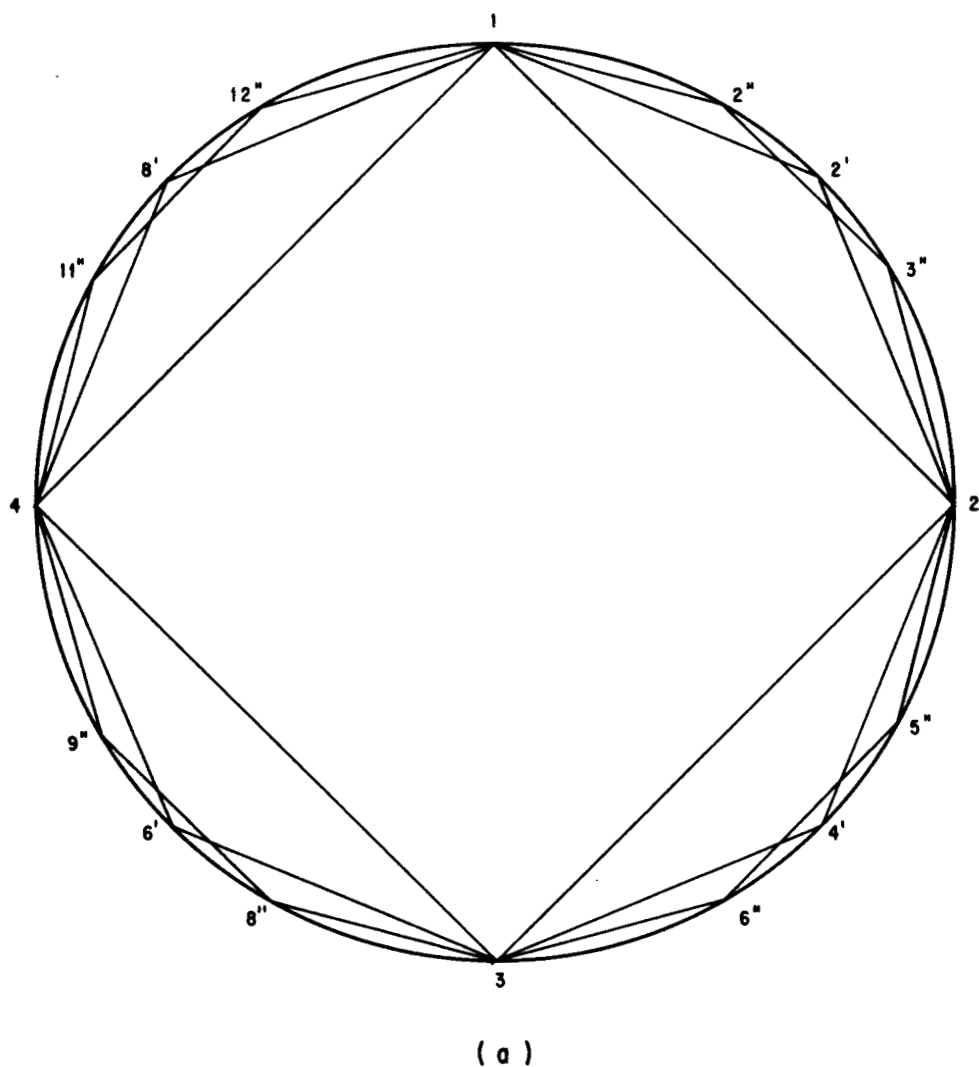


Fig. 10.- Elementos considerados por Talwani ( 1965 ).

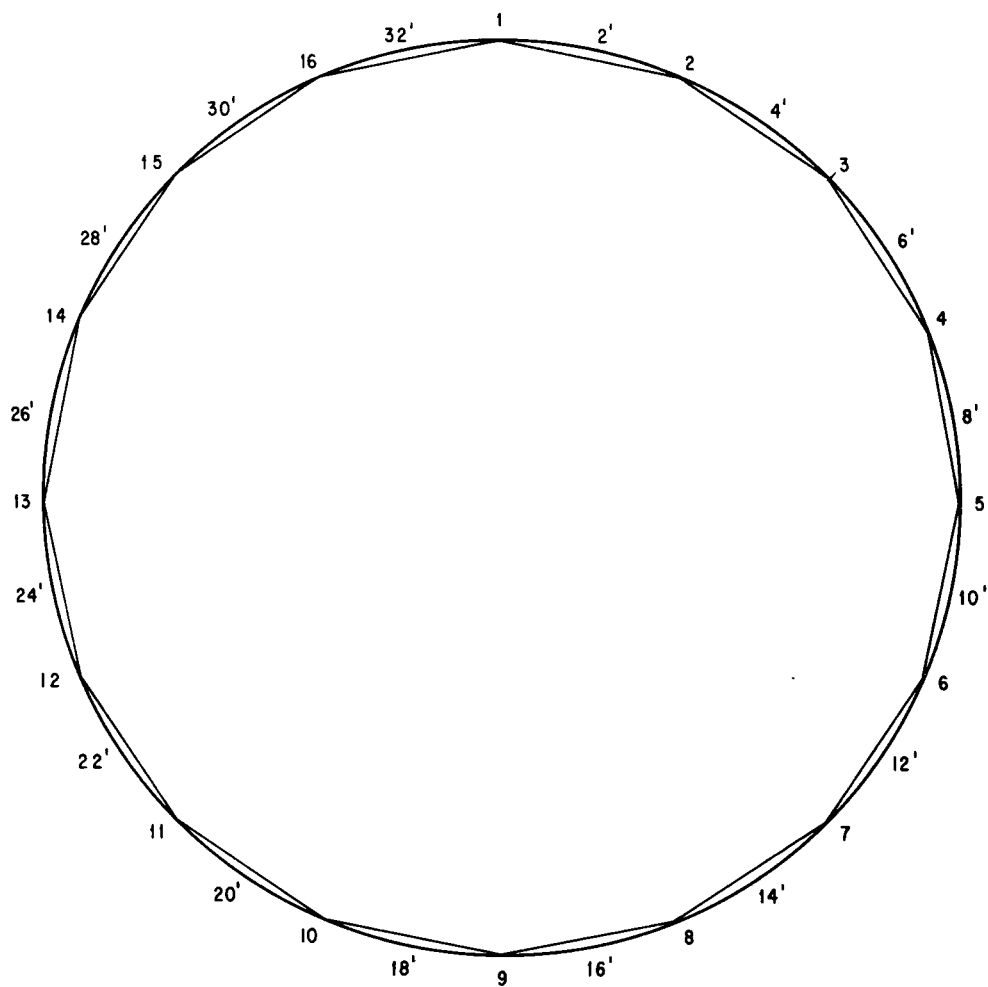


fig.10 ( b )

## TABLA I

## FORMULAS Y SIMBOLOS PARA POTENCIALES

## GRAVIMETRIA

$$g = 2\sigma\rho \left[ \pi - \frac{aK(k)}{[(X_0+1)+a^2]} - \frac{\pi}{2} \Delta(\varphi, k) \right]$$

ADAPTADA DE RAO, 1965.

DONDE :

$\sigma$  = CONSTANTE DE GRAVITACION UNIVERSAL

$\rho$  = DENSIDAD DIFERENCIAL DEL DISCO

$X_0 = X/R$  ;  $a = Z/R$ .

$K(k)$  = INTEGRAL ELIPTICA COMPLETA DE PRIMERA CLASE

$\Delta(\varphi, k)$  = FUNCION LAMBDA DE NEWMAN

## MAGNETOMETRIA

$$V = (1/G\sigma) [(dg/dz) \cos \alpha + (dg/dx) \sin \alpha]$$

$$H = (1/G\sigma) [(dg/dx) \cos \alpha + (dg_x/dx) \sin \alpha]$$

ADAPTADA DE RAO, 1965.

$\alpha$  = ANGULO DE INCLINACION DE  $\vec{T}$  SOBRE EL PLANO HORIZONTAL.

ADAPTADA DE

$T = H \cos \alpha + V \sin \alpha$  ..... TALWANI, 1965.

## TABLA II

### FORMULAS Y SIMBOLOS PARA REFRACCION SISMICA

$$H_T \Leftrightarrow r$$

$$\begin{aligned} \Delta t &= T_{ra} - T_{rb} = (H_2 - H_1) \cos \alpha / V_1 = \\ &= H_T (V_2^2 - V_1^2)^{1/2} / V_1 V_2 \end{aligned}$$

$$F_r = 2H_2 \left[ (V_2 + V_1) / (V_2 - V_1) \right]^{1/2}$$

$$H_r = 2H_1 \left[ (V_2 + V_1) / (V_2 - V_1) \right]^{1/2}$$

DONDE :

$\Delta t$  = DIFERENCIA EN TIEMPO CAUSADA POR EL DISCO

$T_{ra}$  = TIEMPO A UN PUNTO EN EL CUAL REPRESENTA EL INVERSO DE LA VELOCIDAD DEL DISCO ( $V_2$ ) Y DEL MEDIO ENVOLVENTE ( $V_1$ ).

$T_{rb}$  = TIEMPO A UN PUNTO EL CUAL REPRESENTA EL INVERSO DE LA VELOCIDAD DEL DISCO.

$F_r$  = DISTANCIA CRITICA CUANDO EL PUNTO DE TIRO ESTA LOCALIZADO FUERA DEL LADO BAJO.

$H_r$  = DISTANCIA CRITICA CUANDO EL PUNTO DE TIRO ESTA LOCALIZADO SOBRE EL DISCO.

capa fallada en sismología de refracción y el disco en el caso de potenciales. En gravimetría y magnetometría, las expresiones exactas están tomadas de Rao (1965) y Talwani (1965), en tanto que las de sismología se dedujeron de las generales dadas por Dobrin (1960). En base a estos algoritmos, se han elaborado tablas con diferentes parámetros de tal forma - que los arqueólogos puedan establecer comparación entre los datos teóricos y los experimentales. Las expresiones en el método de refracción sísmica se obtuvieron de las relaciones entre  $H_T$ , el ancho del disco y  $r$ , - su radio. El detalle algebraico y explicación de los algoritmos se presentan en el Apéndice.

Aquí  $\Delta t$  en ambos casos, en los tiros hacia arriba ó hacia abajo se obtiene suponiendo una aproximación para la trayectoria de la - onda cuando viaja hacia arriba. Es de gran ayuda en la interpretación y computación de datos el uso de la distancia crítica en lugar de las fórmulas que hacen uso del tiempo de intercepción. Las interfases irregulares inclinadas y las curvas Tiempo-Distancia con considerable espaciamiento de puntos, como las que se encuentran en estudios superficiales, - están sujetas a errores mínimos con el empleo del método basado en la distancia crítica.

Si  $H_T$  no es mucho menor que  $r$ , entonces  $\Delta t$  no se puede evaluar. No obstante, en este caso particular  $r$  se conoce y las distancias críticas determinadas dan una idea de la existencia o ausencia de una discontinuidad debida a un cuerpo pequeño. En la práctica, las propiedades físicas se obtienen en laboratorio o con la ayuda de un programa de computadora.

Recuérdese que las distancias críticas y los gradientes de potencial son determinables a partir de las curvas observadas. Entonces

si se presenta en cualquier intervalo de distancia considerado y corresponde con la profundidad del modelo gravífico y magnético, el alcance de la discontinuidad se obtiene rapidamente. La velocidad en el medio inferior es similar a la velocidad en el disco con  $\pm 10\%$  y no es problema determinarla en las gráficas.

#### COMPARACION DE RESULTADOS

Las anomalías experimentales se comparan en las Figuras 11 y 12 con las anomalías evaluadas en base a las fórmulas referidas. Es obvio que en los resultados de refracción sísmica los puntos son escasos, pero esto se atribuye a la baja resolución de los registros y a las causas señaladas con anterioridad.

Parece que se tiene cierta confusión concerniente a las posibles trayectorias para el problema abordado. Todas las trayectorias - pueden presentarse. Algunas de ellas muestran una refracción que ha sido reflejada. Otros contienen ambas: una refracción reflejada y una reflexión refractada.

No se intentó dar una interpretación exacta a los datos de refracción porque se tienen los datos de potencial, pero no habría dificultad en hacerlo. En el caso de los datos de gravedad (Figura 11) se ha - puesto atención a la amplitud y al comportamiento de la longitud de onda de las anomalías. Automaticamente, el residual y la anomalía promedio se obtienen de la desviación en los gradientes. Las anomalías evaluadas del disco están superpuestas o comparadas entre el modelo correspondiente y los datos recabados. La falta de superposición tendrá que asumirse en - base a circunstancias adicionales. Esto es, el resultado de cuerpos más grandes tales como un muro o bardas antiguas. La diferencia en estos -



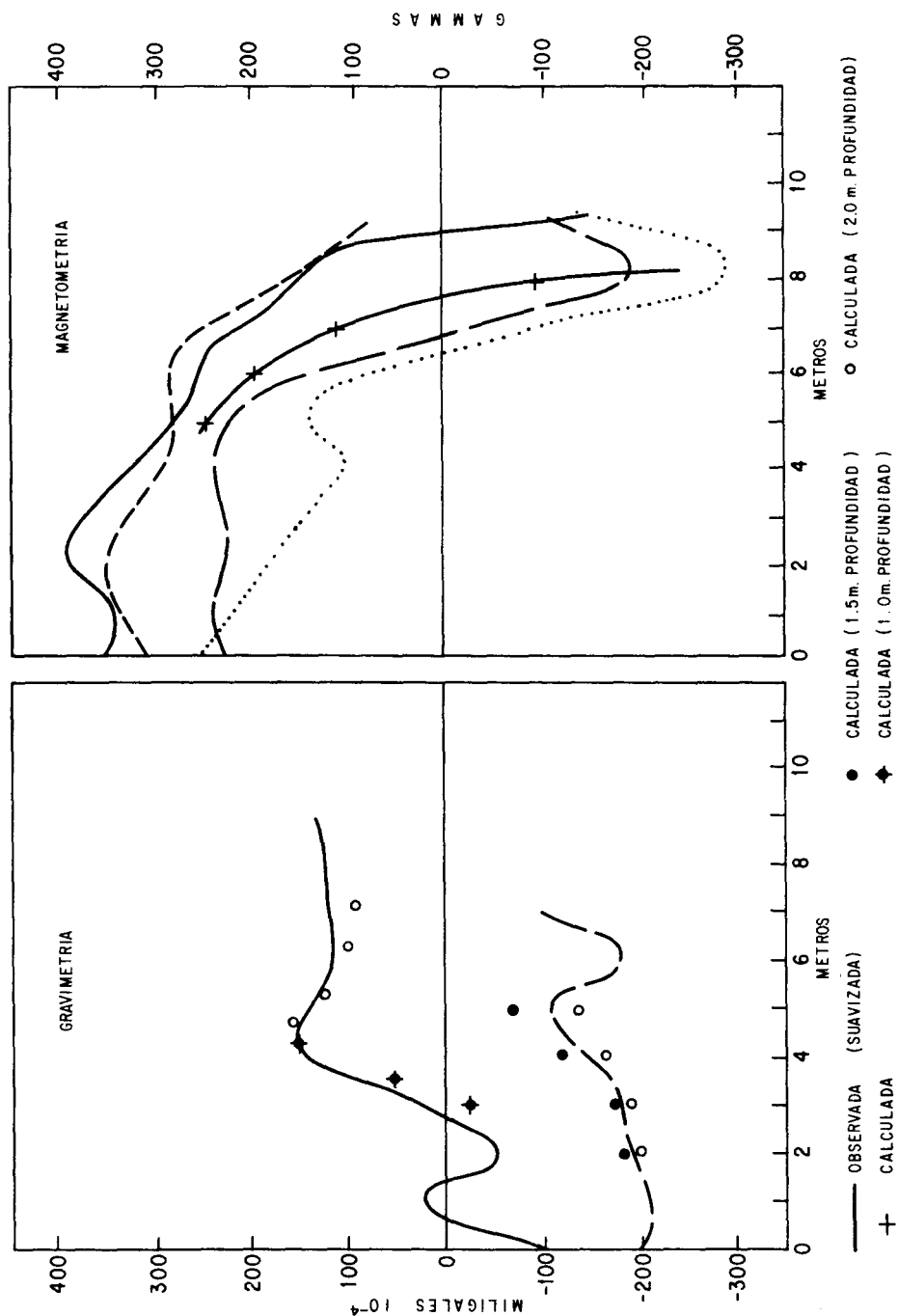


Fig. 11.- Comparación de resultados (disco)

desplazamientos de anomalías es mayor en la escala vertical, por lo que las anomalías aparecen centradas a mayor o menor profundidad. En el caso de anomalías magnéticas (Figura 11) se ha tenido cuidado con los gradientes producidos por cuerpos similares. Se da una gráfica de amplitud máxima versus distancia. La curva experimental suavizada se superpone bastante bien con un gradiente de 300 gamas por metro, lo cual indica el mismo rango que las anomalías magnéticas mostradas en la Figura 12. En los cálculos se emplearon los parámetros físicos correspondientes a la ciudad de México. Es decir un campo magnético inducido total de 44 000 y  $45^\circ$  de inclinado. Los modelos teóricos utilizados son una esfera a profundidades entre uno y dos metros. Las líneas finas corresponden a los efectos magnéticos de intensidad vertical y las gruesas a los de gravedad ( $\Delta g_z$ ). Nótese que la amplitud de la anomalía decrece para 1, 1 1/2 y 2 metros - desde el centro de la esfera.

#### SUMARIO Y CONCLUSIONES

La Figura 13 indica los sitios recomendados para la excavación en la búsqueda de la "Piedra Pintada". Los resultados obtenidos de tales excavaciones estuvieron de acuerdo con la interpretación geofísica en cuanto al tamaño y forma de los cuerpos de rocas básicas encontrados. Sin embargo, la "Piedra Pintada" no apareció. La investigación aquí descrita es un ejemplo del uso de las técnicas microgeofísicas en la solución de problemas arqueológicas similares. Este tratamiento no siempre da la respuesta a los problemas que necesitamos resolver. No obstante, se han preparado programas de computadora y gráficas para asistir a los arqueólogos en sus investigaciones. Las anomalías mostradas son factibles en perfiles que cruzan cuerpos pequeños, de aquí, que los datos de

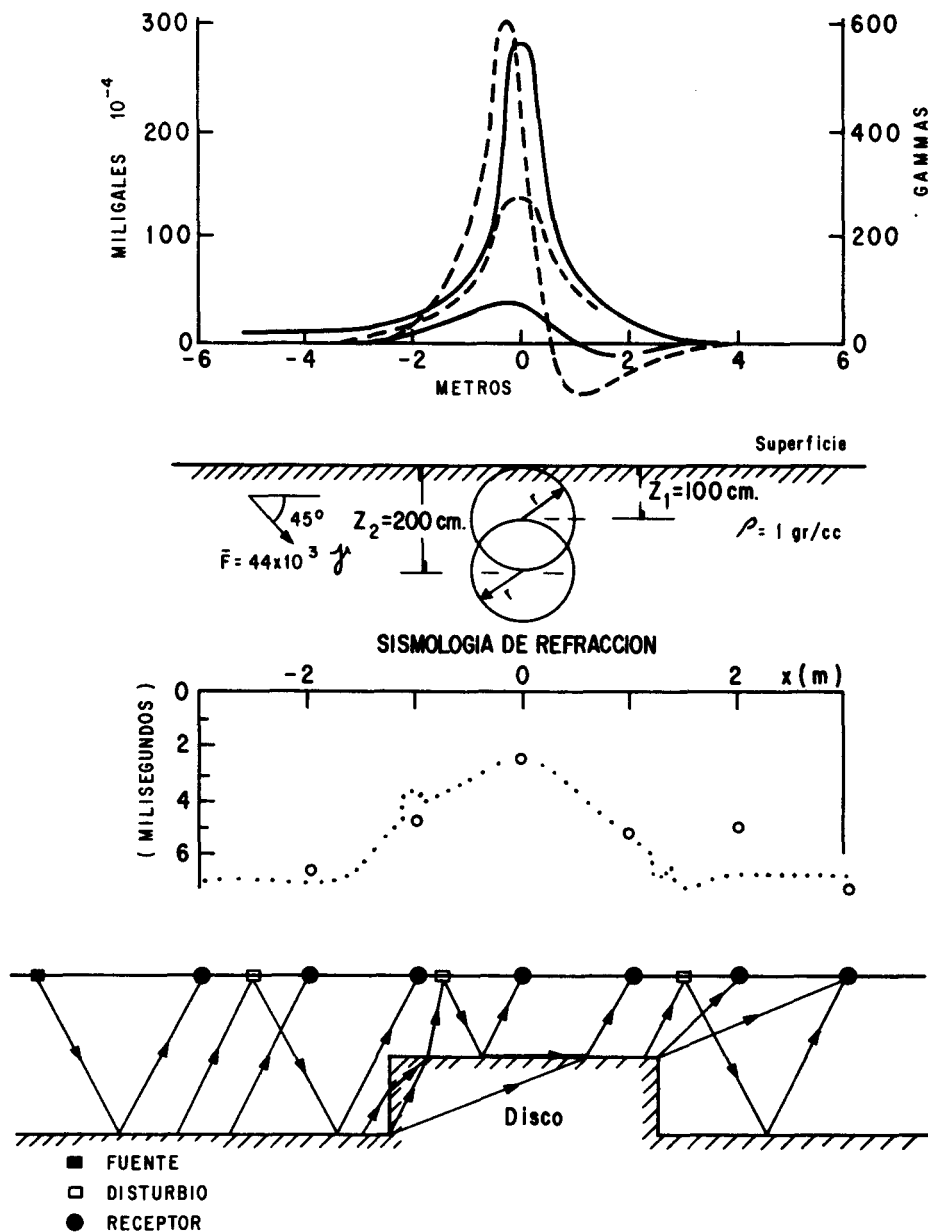


Fig.12.- Comparacion de resultados (esfera y disco)

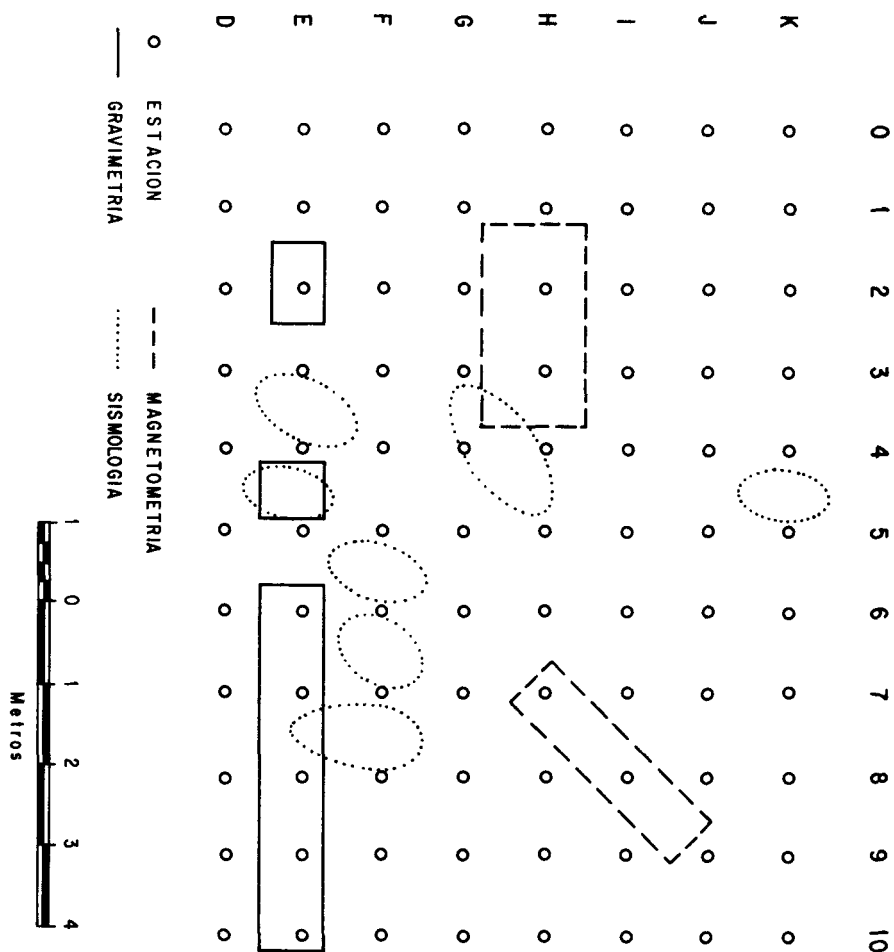


Fig. 13.- Conclusiones y recomendaciones en el Zócalo, México, D.F.

refracción sísmica constituyen una herramienta de interpretación cualitativa, lo cual puede ser comprobado con evaluaciones gravimétricas y magnetométricas. Esto es adecuado donde el costo de operación es un factor importante.

Se sugiere que los arqueólogos deben llevar a cabo exploraciones geofísicas en todos los sitios de investigación aún cuando los resul-tados puedan ser negativos o inseguros.

Los resultados obtenidos nos han encauzado a extender las - aplicaciones a proyectos de ingeniería civil como es la detección de ca- vernas o investigación de las propiedades mecánicas de las rocas en áreas urbanas. En efecto, se pretende aplicar estudios similares muy pronto en la investigación de fallas en el área Metropolitana de la ciudad de Méxi- co. Como se observaron ondas dispersas, los esfuerzos en investigación deberían dirigirse a la propagación de ondas en esta clase de problemas.

Agradecimientos.- Se agradece la colaboración y ayuda prestada por M. Aceves, R. Arredondo y L. Ramírez en lo referente a dibujo y computación. - Por último se extiende un voto de gratitud a los Drs. S. Breiner y S. Treiltel, del Comité Técnico de la Conferencia Mundial de Geofísica (SEG y - AMGE) celebrada en México, por haber invitado al autor a participar en el Simposio de Arqueología y Geofísica, así como al Ing. A.C. Limón, enton- ces Presidente de la AMGE, por su vivo interés en publicar el artículo.

- Abramowitz, M., and Stegun I. A. 1965, Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables: New York, Dover Publications, Inc.
- Byrd C.F., and Friedman, M. D., 1954 Handbook of elliptic integrals for engineers and physicists: Springer Verlag, Berlin.
- Del Castillo G. L., Martínez B.A., y Márquez C.R., 1970, Levantamiento - gravimétrico y magnetométrico en el área de Ixtlán de los Hervores-Los Negritos, Mich: Anal. Inst. Geof. UNAM., v. 15, p. 81-106.
- Del Castillo G.L., 1969, Nuevas técnicas de Interpretación gravimétrica y magnetométrica aplicadas a la exploración minera: Mem. VIII Conv. Nac. Asoc. In. Min. Met. y Geol. de México, p. 467-496.
- Del Castillo G.L. y R. Márquez C., 1971, Levantamientos geofísicos con fines arqueológicos: Rev. Ing., V. XLI, n. 2, p. 69-80.
- Dobrin, M., 1960, Introduction to geophysical prospecting: Mc Graw-Hill Book Company, Inc.
- Heiland, C.H., 1940, Geophysical Exploration: Prentice Hall, Inc.
- Molina, B.R., 1956, Contribución geoquímica en el estudio de las aguas subterráneas en la Cuenca de México: Cong. Geol. Int., XX Sesión, México, Sección d-11-B.
- Nettleton, L.L. 1940, Geophysical prospecting for oil: Mc Graw-Hill, New York.
- Rao I.V.R., 1965, An expresion for the gravitational attraction of a circular plate: Indian J. Pure Applied Physics, V. 4, p. 276-278.
- Talwani, M., 1965, Computation with the help of a digital computer of magnetic anomalies caused by bodies of arbitrary shape: Geophysics, v. 30, n. 5, p. 797-812.

## APENDICE

Fórmulas Utilizadas.- La evaluación de las anomalías teóricas de gravimetría, magnetometría y de sismología de refracción se basan en el uso de las siguientes fórmulas.

La atracción vertical de un disco según Rao (1965) está dada por:

$$\Delta g = 2G\sigma \left[ \pi - \frac{a K(k)}{[(X_o + 1)^2 + a^2]^{1/2}} - \frac{\pi}{2} \Lambda_o(Y, K) \right]$$

Donde los parámetros están referidos a las Figuras 9 (a y b)

y a las Tablas I y II del artículo.

$$a = Z / R$$

$$X_o = X / R$$

$$G = 6.67 \times 10^{-8}$$

$$\sigma = \text{Contrastes de densidades}$$

$$K(k) = \text{Integral elíptica completa de primera clase}$$

$$\Lambda_o(Y, K) = \text{Función lambda de Newman}$$

$$K^2 = \frac{4 X_o}{(1 - X_o)^2 + a^2} \quad (1 - a).$$

$$\text{sen } Y = \frac{a}{[(1 - X_o)^2 + a^2]^{1/2}} \quad (1 - b).$$

La intensidad magnética total del disco dada a conocer por-

Rao (1965) se calcula a partir de sus componentes vertical y horizontal:

$$T = \sqrt{V^2 + H^2} \quad (2)$$

Donde:

$$V = (M / G\sigma) \left[ dg / dz \cos \alpha + dg / dx \sin \alpha \right] \quad (3)$$

$$H = (M/G\sigma) \left[ dg/dx \cos \alpha + dg_x/dx \sin \alpha \right] \quad (4)$$

$$\frac{dg}{dx} = 2G\sigma R \left[ \frac{a}{x_0[(x_0+1)^2 + a^2]^{1/2}} K(k) - \frac{a(a^2 + x_0^2 + 1) E(k)}{x_0[(1-x_0)^2 + a^2][(1+x_0)^2 + a^2]^{1/2}} \right] \quad (5)$$

$$\frac{dg}{dz} = 2G\sigma R \left[ \frac{K(k)}{[(x_0+1)^2 + a^2]^{1/2}} + \frac{(a^2 + x_0^2 - 1) E(k)}{x_0[(1-x_0)^2 + a^2][(1+x_0)^2 + a^2]^{1/2}} \right] \quad (6)$$

$$\frac{dg_x}{dx} = 2G\sigma R \left[ \frac{(1+a^2) K(k)}{x_0^2[(1+x_0)^2 + a^2]^{1/2}} - \frac{[a^2(a^2 + x_0^2 + 1) + (a^2 - x_0^2 - 1)] K(k)}{x_0^2[(1-x_0)^2 + a^2][(1+x_0)^2 + a^2]^{1/2}} \right] \quad (7)$$



$M$  = Magnetización total o momento magnético

$\alpha$  = Inclinación del vector de magnetización

$K(k)$  = Integral elíptica completa de primera clase

$E(k)$  = Integral elíptica completa de segunda clase

$k$  = Módulo de las integrales elípticas

$$k = \frac{4 X_0}{(1 + X_0)^2 + a^2}$$

Las integrales elípticas completas de primera y segunda clase y la función Newman-Lambda se obtuvieron de las Tablas del Handbook of elliptic integrals for engineers and physicists by Byrd and Friedman (1954). Abramowitz y Stegun (1965) proporcionaron un tratamiento más general que otros autores.

La intensidad magnética total de un polígono horizontal con espesor constante se evalúa con la fórmula de Talwani (1965):

$$T = \left[ (F + \Delta X)^2 + (F + \Delta Y)^2 + (F + \Delta Z)^2 \right]^{1/2} - F \quad \dots\dots (8)$$

Donde:

$F$  = Intensidad de campo total de la tierra

$$\Delta X = J_X V_1 + J_Y V_2 + J_2 V_3$$

$$\Delta Y = J_X V_2 + J_Y V_4 + J_2 V_5$$

$$\Delta Z = J_X V_3 + J_Y V_5 + J_2 V_6$$

$$J_X = J \cos A \cos B$$

$$J_Y = J \cos A \sin B$$

$$J_2 = J \sin A$$

Jes el vector de magnetización total, el cual forma un ángulo  $A$  con el horizonte (medido hacia abajo) y la proyección horizontal forma un ángulo  $B$  con el eje positivo "X" (medido en el sentido de las manecillas del reloj).

Si solo se considera la magnetización por inducción del campo terrestre,

$J = k F$  = Aquí  $k$  es la susceptibilidad, entonces:

$A = I$  = Inclinación del campo terrestre

$B = D$  = Declinación del campo terrestre

$$V_1 = \iiint \frac{3X^2 - R^2}{R^5} dx dy dz \quad (9a)$$

$$V_2 = \iiint \frac{3XY}{R^5} dx dy dz \quad (9b)$$

$$V_3 = \iiint \frac{3XZ}{R^5} dx dy dz \quad (9c)$$

$$V_4 = \iiint \frac{3XZ R^2}{R^5} dx dy dz \quad (9d)$$

$$V_5 = \iiint \frac{3YZ}{R^5} dx dy dz \quad (9e)$$

$$V_6 = \iiint \frac{3Z^2 - R^2}{R^5} dx dy dz \quad (9f)$$

Estas integrales se resuelven por medio del teorema de Green, aproximando el cuerpo a base de un polígono con diferente espesor, esto es:

$$V_1 = - \sum_i \frac{\cos^2 \theta_i}{z^2 + P_i^2} \left( \frac{g_i Y_{i+1} - z^2 \operatorname{tg} \theta_i}{R_{i+1}} - \frac{g_i Y_i - z^2 \operatorname{tg} \theta_i}{R_i} \right) \quad (10a)$$

$$V_2 = \sum_i \frac{\cos^2 \theta_i}{z + P_i} \left( \frac{g_i Y_{i+1} \operatorname{tg} \theta_i + g_i^2 + z^2}{R_{i+1}} - \frac{g_i Y_i \operatorname{tg} \theta_i + g_i^2 + z^2}{R_i} \right) \quad (10b)$$

$$V_3 = - \sum_i \frac{z \cos^2 \theta_i}{z^2 + P_i^2} \left( \frac{Y_{i+1} \sec^2 \theta_i + g_i \operatorname{tg} \theta_i}{R_{i+1}} - \frac{Y_i \sec^2 \theta_i + g_i \operatorname{tg} \theta_i}{R_i} \right) \quad (10c)$$

$$V_4 = \sum_i \frac{\sin^2 \theta_i}{z^2 + P_i^2} \left( \frac{c_i X_{i+1} - z^2 \cot \theta_i}{R_{i+1}} - \frac{c_i X_i - z^2 \cot \theta_i}{R_i} \right) \quad (10d)$$

$$V_5 = \sum_i \frac{z \sin^2 \theta_i}{z^2 + P_i^2} \left( \frac{X_{i+1} \csc^2 \theta_i + c_i \cot \theta_i}{R_{i+1}} - \frac{X_i \csc^2 \theta_i + c_i \cot \theta_i}{R_i} \right) \quad (10e)$$

$$V_6 = - \sum_i \frac{P_i}{z^2 + P_i^2} \left( \frac{r_{i+1} \cos \alpha_i}{R_{i+1}} - \frac{r_i \cos \beta_i}{R_i} \right) \quad (10f)$$

Los subíndices corresponden a las vértices del polígono - -  
 ((Figuras 10 a y b) entendiéndose que el último  $i + 1$  corresponde al vértice inicial  $i$  . Los parámetros  $\theta_i$  y  $C_i$  representan las dis-

tancias que intersectan los ejes X, Y y del iésimo lado del polígono, en tanto que  $P_i$  corresponde a la distancia perpendicular que pasa por el -- punto de referencia  $(0,0,Z)$  y corta la línea que une las intersecciones anteriores como en la Figura A.

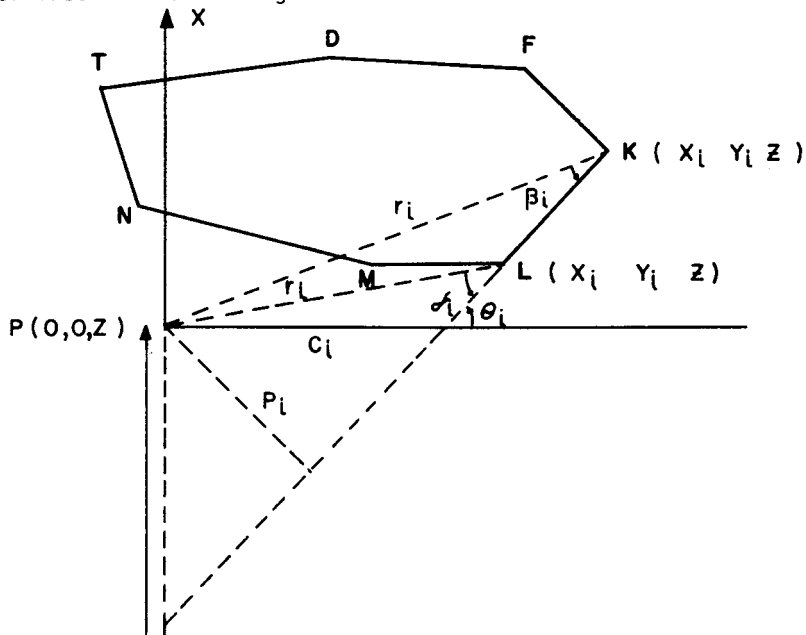


Figura A.- Contorno a una profundidad Z (tomado de Talwani, 1965).

Las fórmulas empleadas para conocer en forma rápida la magnitud de las anomalías máximas tanto magnetométricas como gravimétricas arriba del centro del cuerpo se obtienen simulando un polo y dipolo concentrado en el centro de la esfera (Figura 12). La ecuación sugerida por -- Nettleton (1940) y Heiland (1940) en gravimetría es muy útil en esta situación:

$$g_2 = G\sigma M \frac{Z}{(Z^2 + X^2)^{3/2}}$$

Donde:

**M** = Masa de la esfera

$z$  = Profundidad del centro de la esfera

$x$  = Distancia de la superficie del centro de la esfera a un punto de observación

El potencial de un dipolo magnético en forma elemental (Del-Castillo, 1969) se expresa:

$$V = \frac{\mu}{r} \nabla \cdot \left( \frac{1}{r} \right)$$

$$H_z = \frac{\partial V}{\partial z} = M \left[ \frac{n(2z^2 - x^2 - y^2) - 3xz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} \right] \quad (12)$$

Donde:

$M$  = Magnetización por unidad de volumen

$n$  = Cosenos directores de la magnetización inducida

$H_x$  y  $H_y$  pueden evaluarse fácilmente de igual manera, - por lo que no se tiene dificultad en conocer  $H_r$ .

Para una falla vertical, Dobrin (1960, p. 80) ha determinado expresiones algebraicas en sismología de refracción para el caso de la - Figura 8a, cuando el tiro se efectúa en el lado alto y los detectores se tienen en una superficie plana.

Una de las expresiones referidas es:

$$H_t = (T_{rb} - T_{ra}) \frac{V_1 - V_0}{\sqrt{V_1^2 - V_0^2}} \quad (13)$$

Para obtener las expresiones señaladas en la Tabla II es conveniente recordar las ecuaciones siguientes para la misma Figura 8a:

$$\cos \alpha = \frac{[V_1 - V_0^2]^{1/2}}{V_1} \quad (13a) \quad \Delta t = \frac{H_r \cos \alpha}{V_0} \quad (13b)$$

$$\Delta t = Ar_4 \quad Ar_2 = (Ar_3 - Ar_4) - (Ar_0 - Ar_1) \quad (13c)$$

En el caso inverso de la Figura 8b  $\Delta t$  está dado por la diferencia entre las trayectorias de ondas para los intervalos  $(Fr_0 - Fr_1)$  y  $(Fr_3 - Fr_4)$ .

$$(Fr_0 - Fr_1) = Tra = \frac{2 H_2 \cos \alpha}{V_0} + \frac{r_0}{V_1} \quad (14)$$

$$(Fr_3 - Fr_4) = T_{rb} = \frac{r}{V_1} + \frac{H_2 \cos \alpha}{V_1} + \frac{H_1 \cos \alpha}{V_1} - \frac{r}{V} + \left[ \frac{(r_0 H_1 \tan \alpha)^2 + H_r}{(r_0 H_1 \tan \alpha) V_1} \right]^{1/2} \quad (15)$$

Restando (15) de (14) :

$$\Delta t = \frac{H_2 \cos \alpha}{V_0} - \frac{H_1 \cos \alpha}{V_0} + \frac{r}{V_1} - \frac{[(r - H_1 \operatorname{tg} \alpha)^2 + Hr^2]^{1/2}}{(r - H_1 \operatorname{tg} \alpha) V_1}$$

Si  $H_r \ll r$ ,  $\Delta t$  queda:

$$\Delta t = \frac{(H_2 - H_1) \cos \alpha}{V_0} = \frac{Hr (V_1^2 - V_0^2)^{1/2}}{V_0 V_1}$$

Nótese que (13b) es idéntica que (17)

Descripción de los Programas de Cálculo.- El programa GRAV-R computa los valores de la atracción gravitacional teórico de un disco circular dado por la ecuación (1), las variables obedecen la nomenclatura siguiente:

SIGMA	= Contraste de densidades
NDAT	= Número de datos
X	= Distancia horizontal del centro del disco al punto observado.
Z	= Profundidad del disco.
R	= Radio del disco.
SOD	= Módulo de las integrales elípticas.
FI	= Parámetro de la función Newman-Lambda.
AK	= Integral elíptica completa de primera clase.
HEUMAN	= Función Newman-Lambda.
DELG	= Atracción gravitacional
DNOR	= Atracción gravitacional normalizada.

El programa lee los valores de X, Z, R, SIGMA y evalúa la atracción gravitacional del disco circular. Para esto: calcula los valores de la integral elíptica de primera clase y la función Newman-Lambda. La gráfica obtenida indica a primera vista la magnitud de la anomalía esperada para cuerpos similares, así como el gradiente a partir del máximo. El diagrama de flujo aparece en la Figura B.

## PROGRAMA GRAV-R

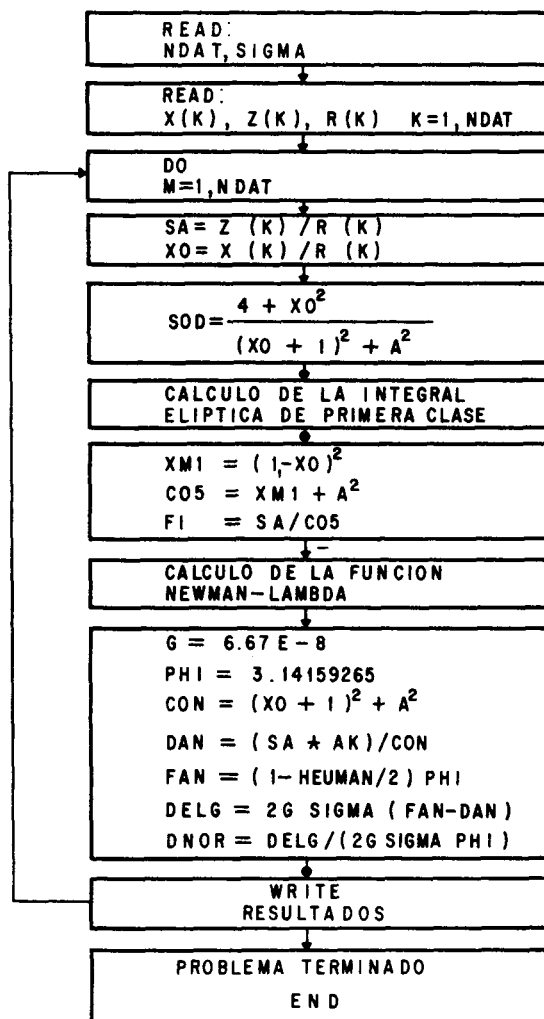


Fig. B.- Diagrama de Flujo programa GRAV-R

El programa MAG-R computa los valores de la atracción magnética vertical, horizontal y total teóricas causadas por un disco circular plano. Las variables se identifican a continuación:

ALFA        = Inclinação del vector de magnetización.

N           = Número de datos.

X           = Distancia en la superficie del centro del disco al punto de

## PROGRAMA MAG-R

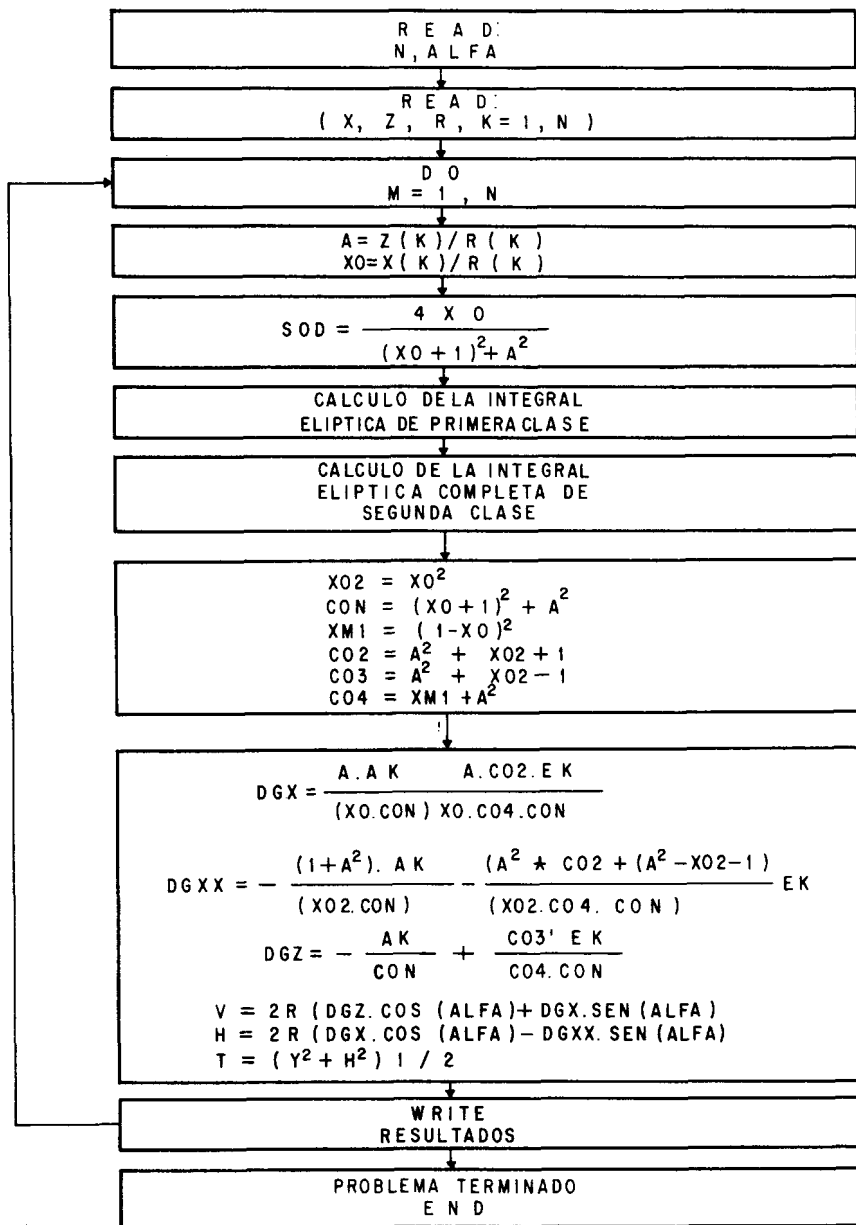
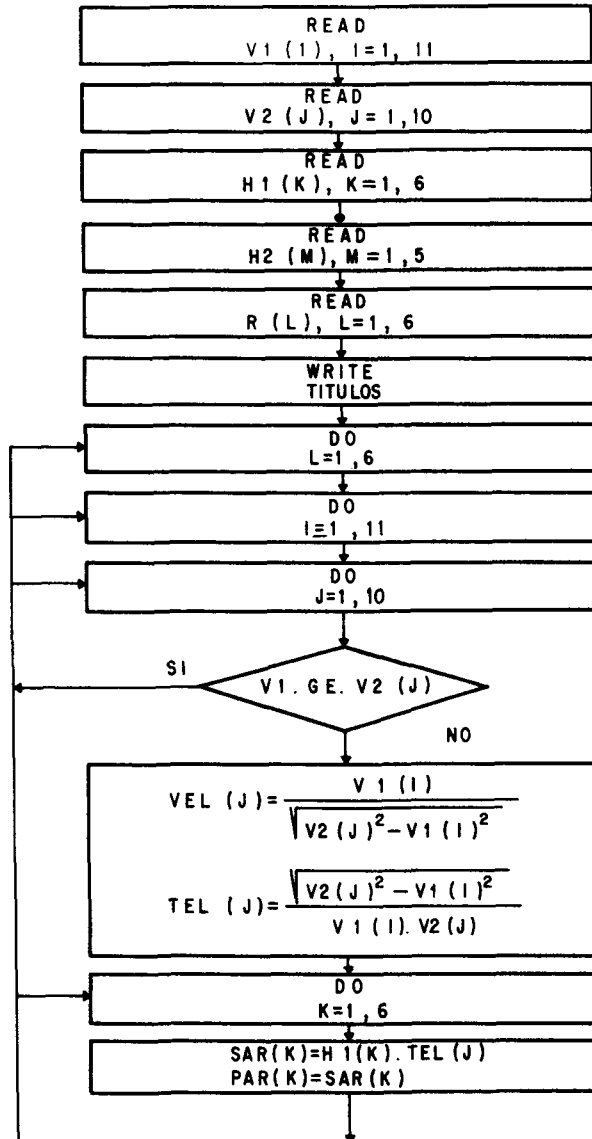


Fig. C.- Diagrama de Flujo Programa MAG-R.



## PROGRAMA SISMO-LOGIA



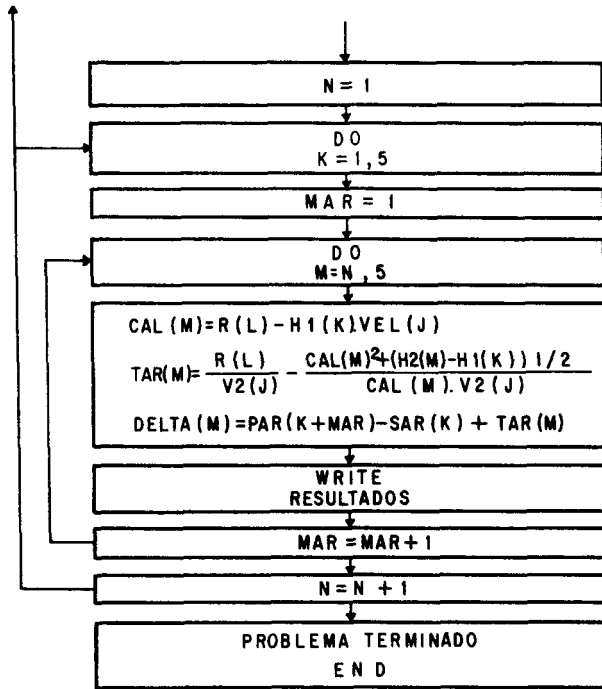


Fig. D.- Diagrama de Flujo Programa SISMO-LOGIA

- $H_2$  = Profundidad de la superficie en la cual se apoya el disco.  
R = Radio del disco.  
DELTA = Tiempo diferencial causado por el disco.

Los programas de polo y dipolo para esferas y el de un polígono horizontal con espesor constante son muy conocidos en la evaluación de potenciales. El citado en segundo término ha sido dado a conocer por el propio Talwani (1965).

Modo de Emplearse.- Las técnicas de computación referidas se pueden ilustrar para el problema de la "Piedra Pintada" u otros cuerpos similares o mayores. Las impresiones obtenidas en los programas descritos proporcionan los siguientes datos:

- a) Magnitud de las anomalías Máximas (gravedad y magnetismo) para diferentes medidas y contrastes de propiedades físicas del disco.
- b) Gradiente por unidad de longitud.
- c) Tiempos de intercepción en milisegundos para diversos parámetros del disco, esto es, diferentes velocidades de -- contraste y diversas medidas del disco.

El arqueólogo puede hacer sus medidas experimentales con aparatos sencillos (Magnetómetro tipo fluxgate o de precisión y sismógrafo-tipo "Scout") y fáciles de operar. Las anomalías y gráficas Tiempo-Distancia se construyen de manera convencional, ya sea perfiles o configuraciones, donde pueden obtener los parámetros (a), (b) o (c). Solo basta comparar con la magnitud y el caso apropiado obtenido en las salidas de computadora.

## CURRICULUM VITAE

(L. Del Castillo G.)

Al Ing. Luis Del Castillo le otorgaron Mención Honorífica cuando se recibió de Ingeniero Geólogo en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN en 1958; obtuvo su Maestría en Geofísica en Colorado School of Mines en 1968 así como algunos créditos para su doctorado. De 1959 a 1966 trabajó como geólogo-geofísico en la Secretaría de Agricultura y Ganadería y en el Consejo de Recursos Naturales No Renovables donde llegó a desempeñar el cargo de Jefe del Departamento de Geofísica en los años de 1964 y 1965.

Ha trabajado en diversos proyectos integrales e internacionales a base de geofísica aérea, terrestre y marina. Ha publicado más de 35 artículos originales y de divulgación relacionados con la aplicación de la geofísica en nuestro país y presentado 38 conferencias a nivel Nacional, Internacional y Mundial. Actualmente es investigador y Jefe del Departamento de Exploración en el Instituto de Geofísica de la UNAM, miembro-vocal del Comité Mexicano de Geodinámica; fue elegido primer Presidente de la Asociación de Ingenieros Geólogos del IPN para el período 1974-1975, vocal en la UNAM de la AMGE, y vocal de Geohidrología y Exploración en la UGM; además es profesor de Geofísica en el IPN y la UNAM. Es socio activo de la AMGE, SEG, EAEG, UGA, UGM AIGIPN y de otras afines.

El pasante de Ingeniero Geofísico J. Urrutia Fucugauchi nació el 9 de Julio de 1952 y cursó sus estudios primarios y de preparatoria en el Estado de Chihuahua. Estudió la carrera de Geofísico en la Facultad de Ingeniería de la UNAM de 1969 a 1973. Actualmente es Ayudante de Profesor y de Investigador en la Facultad citada y en el Instituto de Geofísica dentro de la UNAM, respectivamente.

**Estimados Socios:**

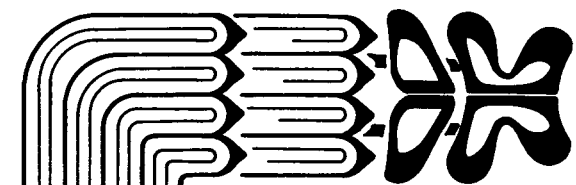
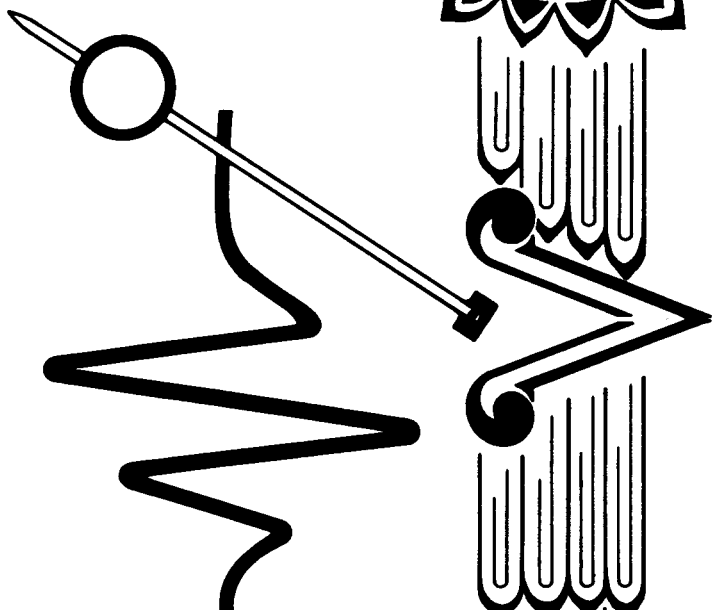
La directiva de nuestra honorable Asociación invita a todos Uds. a colaborar en la presentación y selección de un logotipo, que represente a nuestra Asociación.

En las 2 páginas siguientes presentamos a Uds. 2 sugerencias, que de estar de acuerdo con alguno de ellos, suplicamos lo manifiesten en la hoja de votación adjunta, incluye la oportunidad de proponer otra idea.

**A t e n t a m e n t e .**

**LA DIRECTIVA.**





AMGE



# SOCIOS PATROCINADORES

PETROLEOS MEXICANOS

COMPañIA MEXICANA DE EXPLORACIONES , S. A.

C A A S A

D U P O N T

SERCEL INC.

WESTERN GEOPHYSICAL

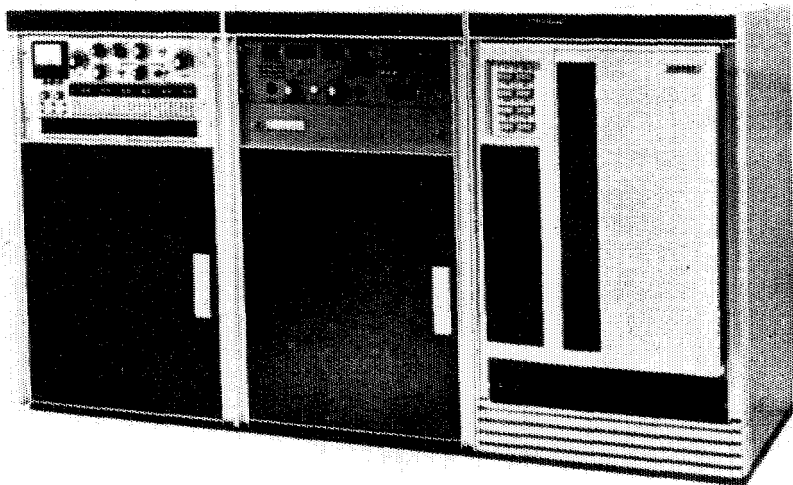
GEOPHYSICAL SERVICE DE MEXICO , S.A. DE C.V.

PETTY GEOPHYSICAL ENGINEERING DE MEXICO

El equipo digital de campo SUM-IT VII es un sistema completo para emplearse en el registro sísmico de datos con cualquier técnica de campo: Vibroseis, Dinoseis, Dinamita y otros generadores de energía.

El formato empleado es SEG-A de 9 pistas -- en cinta de  $\frac{1}{2}$ ".

# SUM-IT VII



Para mayor información dirigirse a : Electro-  
Technical Labs Div. , Mandrel Industries, Inc.  
P. O. Box 36306, Houston, Texas 77036

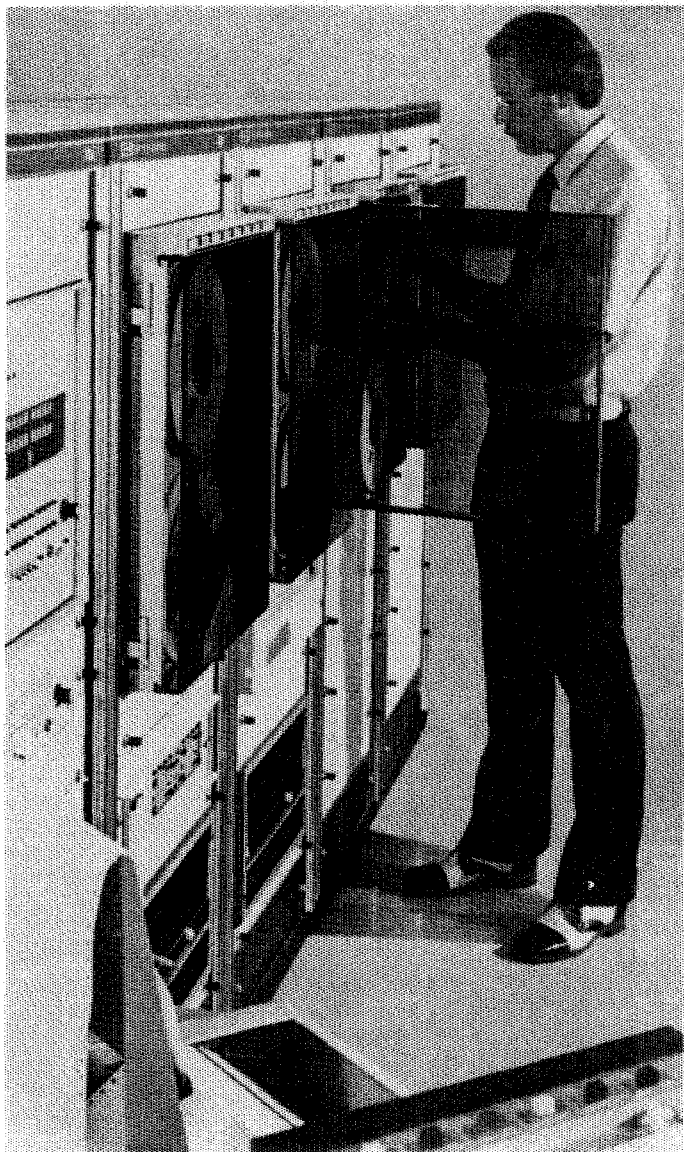


ELECTRO-TECHNICAL LABS

## Com\*Mand, LO MAXIMO !

TANTO EN ASISTENCIA PARA CENTROS DE PROCESADO.

COMO LA GRAN AYUDA INMEDIATA EN EL CAMPO.



EL SISTEMA Com\*Mand ES DE FACIL INSTALACION EN EL CAMPO O COMO UNA EXTENSION DE UN CENTRO DE PROCESADO ESTABLECIDO. DEBIDO A SU POCA SENSIBILIDAD A LAS CONDICIONES CLIMATOLOGICAS, EL SISTEMA Com\*Mand PUEDE SER INSTALADO EN TRAILERS, CAMPOS PORTATILES O EN UNIDADES MOBILES AUTONOMAS.

EL SISTEMA Com\*Mand PROPORCIONA UNA CAPACIDAD TOTAL DE PROCESADO A COSTOS LO SUFICIENTEMENTE BAJOS COMO PARA SER ASIGNADO A UNA SOLA BRIGADA.

LA RAPIDEZ DEL PROCESADO PERMITE QUE LA CALIDAD DE LOS REGISTROS Y LAS TECNICAS DE REGISTRO DE CAMPO PUEDAN SER EVALUADAS INMEDIATAMENTE Y, DE SER NECESARIO, QUE SEAN MODIFICADAS SIN COSTOSAS DEMORAS.

EN EL CAMPO O COMO EXTENSION DE UN CENTRO DE PROCESADO, EL SISTEMA Com\*Mand ES UN INSTRUMENTO DE GEOFISICA CON UNA PROPORCION DE COSTOS A RESULTADOS SIMPLEMENTE INIGUALABLE.

*Para mayor informacion comuniquese a:*

**Petty-Ray**

Petty-Ray Geophysical, Inc.

P.O. BOX 36306

HOUSTON, TEXAS TEL. 713-774-7561

**Petty-Ray**

Petty-Ray Geophysical, Inc.

De México, S.A. de C.V.

AV. JUAREZ 97, DESP. 408

MEXICO 1, D.F. TEL. 521-08-34



# **WESTERN en Mexico**

La exploración geofísica, encuentra la riqueza del subsuelo para el desarrollo del país, sin destruir la belleza del paisaje.



Litton

**WESTERN GEOPHYSICAL**

Post Office Box 2469

Houston, Texas 77001, E.E.U.U.

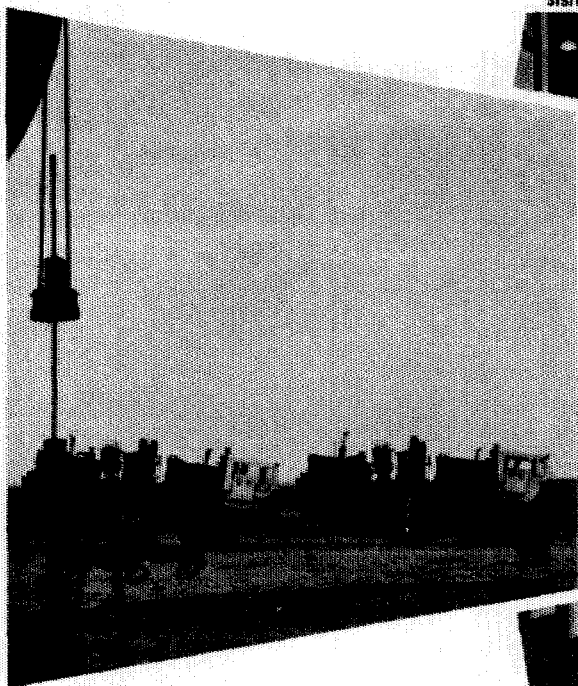


# EN EL TRABAJO

*... para ayudar a resolver sus  
problemas en exploración sísmica*

Sistema de registrado digital (DFS-IV\*) montado  
en camión usado por GSI para reunir la información  
sísmica.

*\*Marca Registrada por Texas Instruments.*



Los vibradores GSI combinan potencia  
y frecuencia para proveer información  
sísmica de alta relación señal-ruido.



Los programas de procesamiento de GSI  
combinados con Texas Instruments  
Multiple Applications Processor (TIMAP\*)  
producen información sísmica muy  
efectiva en costo, rapidez y alta fidelidad.

Para mayores informes comuníquese a GSI de  
Mexico, S. A. de C. V., Av. Juárez 119, Despacho  
42, Mexico 1, D. F. Telefono 566-92-44.

**GSI de MEXICO, S.A. de C.V.**  
SUBSIDIARIA DE  
**TEXAS INSTRUMENTS**  
INCORPORATED





**Du Pont, S. A. de C. V.**

Morelos N° 98-52 Piso

México 6, D.F. Tel. 546-90-20

**DEPARTAMENTO DE EXPLOSIVOS**

**Fábrica Ubicada en:  
DINAMITA DURANGO**

**DINAMITAS  
GEOMEX\* 60% (Gelatina Sismográfica)  
SUPER MEXAMON\*  
TOVEX\* EXTRA  
DETOMEX\*  
FULMINANTES  
ESTOPINES ELECTRICOS  
ESTOPINES SISMOGRAFICOS "SSS"**

**ACCESORIOS DEL RAMO**

OFICINAS EN: TORREON, COAH.  
Edificio Banco de México Desp. 305 Tel. 2 09 55

REPRESENTANTE EN: GUADALAJARA, JAL  
Juan Manuel No. 1184 Tels: 25 56 82 y 25 56 08

♦ MARCA REGISTRADA DE DU PONT



THOMPSON BUILDING  
TULSA, OKLAHOMA 74103

CONSULTORES INTERNACIONALES DE  
GEOLOGIA Y GEOFISICA

Ben. F. Rummerfield.- Presidente

Norman S. Morrissey.- Vice-Presidente

John Rice.- Jefe de Geofisicos

# Operación con unidades Vibroseis\*

Aplicada a la tecnología de campo

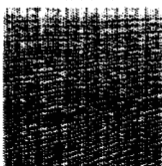


- Diseño de vehículo adaptado al terreno.
- Correlación digital de campo.
- Diseño específico de campo.

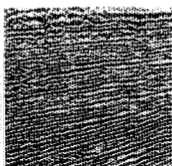
Adecuada para el proceso de datos

## TVAC

Normal correlation  
and deconvolution



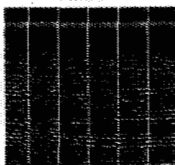
Adaptive  
correlation



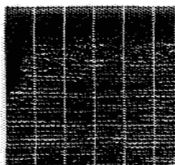
- Técnica de pulsos compresionales para el contenido de información traza por traza.
- Deconvolución apropiada a la mezcla de fases, característica del Vibroseis.
- Apilamiento vertical con la consiguiente supresión de ruido de gran amplitud.

## ANSAC

computed  
statics



ANSAC statics



Esta técnica está diseñada para determinar y aplicar correcciones estáticas inherentes al sistema CDP basada en las siguientes consideraciones.

- Correcciones por fuente de energía.
- Correcciones por detección
- Echado
- Dinámicas residuales

La técnica de Vibroseis requiere de una continua evaluación de los parámetros de campo y su relación con una cuidadosa planeación del proceso de datos. Y esta es la función del Seiscom/Delta en

las operaciones Vibroseis. Eficiencia en el trabajo de campo, calidad en el centro de proceso. Mayor información con el representante Seiscom/Delta.



Seismic Computing Corp

P. O. Box 36789



Delta Exploration Company Inc

Houston, Texas 77036 713/785-4060

\*Registered trademark and service mark of Continental Oil Company