



# CONSULTORES Y CONTRATISTAS DE EXPLORACIONES GEOFISICAS

•

PETROLEO

MINERALES

AGUA SUBTERRANEA

Y

APLICACION A LA INGENIERIA CIVIL

•

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

AV. JUAREZ 97 DESPACHO 302

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

MEXICO 1, D. F.

Tanto en  
Instrumentación  
como en  
Interpretación  
la compañía  
geofísica UNITED  
lleva la delantera  
en el Mundo al  
ofrecer los últimos  
adelantos en toda clase  
de servicios geofísicos.



**UNITED GEOPHYSICAL CORPORATION**  
**SEISMOGRAPH • GRAVIMETER • MAGNETOMETER**

P. O. Box M, 2650 E. Foothill Blvd., Pasadena, California  
Suite 1804, Bank of the Southwest Bldg., 900 Travis St.  
Houston 2, Texas  
1908 Liberty Bank Bldg., Oklahoma City, Oklahoma  
1202 Petroleum Life Bldg., Midland, Texas  
5902 E. Admiral Place, Tulsa, Oklahoma  
1700 Broadway, Room 504, Denver 2, Colorado  
345 Mt. Lebanon Blvd., Pittsburgh 24, Pennsylvania  
Suite 8, 534 Sixth Ave. S.W., Calgary, Alberta, Canada  
P. O. Box 1861, Anchorage, Alaska

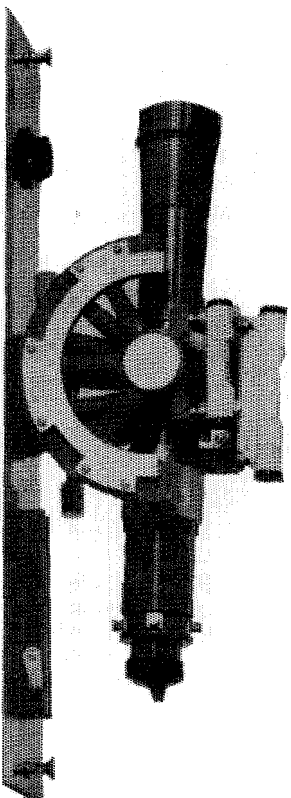
194 rue de Rivoli, Paris 1er, France  
Av. Pres. Vargas, 435, 19° andar, Rio de Janeiro, Brazil  
Casilla 26-D, Punta Arenas, Magallanes, Chile  
Apartado Interno 9, General Roca, Province of Rio Negro, Argentina  
P. O. Box 258, Tripoli, Libya  
Calle Triana No. 140, Las Palmas, Gran Canaria, Isles Canarias  
P. O. Box 289, Benin City, Nigeria  
P. O. Box 939 M, Brisbane, Australia  
Avda. Generalissimo, 53-5° Bis, Madrid 16, Spain



# ROSSBACH DE MEXICO, S. A.

## FABRICANTES DE INSTRUMENTOS DE PRECISION

Alidada Rossbach tipo  
"Geológica"



Modelo 620

- Sobre Pedido:
- |                                          |                               |
|------------------------------------------|-------------------------------|
| • Tránsito Rossbach Mod. 510R            | aproximación 1 minuto         |
| • Tránsito Rossbach Mod. 412R            | aproximación 1 minuto         |
| • Plancheta Rossbach Mod. 600R           |                               |
| • Nivel fijo 18" Mca. Rossbach Mod. 191R |                               |
| • Limnigráfico Rossbach                  | • Molinete Eléctrico Rossbach |
| • Pluviógrafo Rossbach                   | • Molinete Mecánico Rossbach  |
| • Estadales Philadelphia                 | • Veletas Embaladas           |
| • Representantes de Otto Fennel & Son    | • Niveles Automáticos         |
| • Representantes de Miller Innsbruck     | • Tránsitos de 1 segundo      |
| • Representantes de Meopla - Praha       |                               |

APARATOS PARA OBSERVACIONES METEOROLOGICAS E HIDROMETRICAS DE LA AFAMADA CASA NEGRETTI & ZAMBRA. LONDRES

**ROSSBACH DE MEXICO, S. A.**

OFICINAS: Diagonal San Antonio No. 1015 - Teléfono: 23-39-72

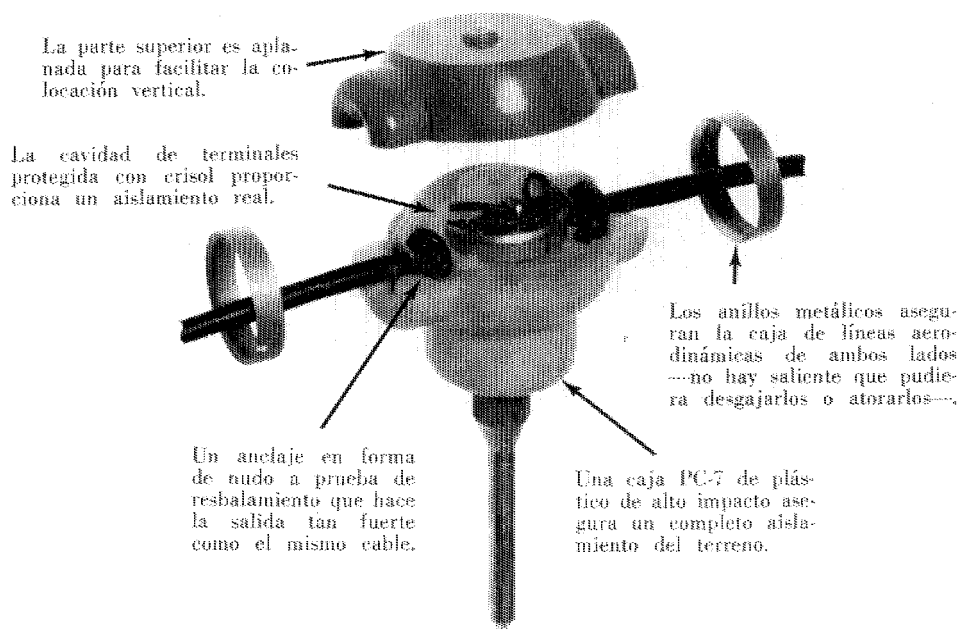
FABRICA: Calzada Ixtapalapa-Puebla No. 1629 - Teléfono: 39-20-09

# ¿PARA QUE AVENTURARSE CON DETECTORES?

Los geofísicos experimentados saben que es una falsa economía arriesgar un buen éxito de una costosa exploración sísmica con un detector barato y desconcido.

**USTED PUEDE CONFIAR EN EL HS-J....** un detector de altas cualidades de funcionamiento de tamaño sub-miniatura el que ha proporcionado a la industria todas las características sobresalientes: tamaño pequeño, peso ligero; sellado a prueba de humedad; cable bien fijado al detector; una mejoría decisiva contra el ruido producido por el viento debido al más bajo perfil; fácil de conectar y desconectar. El HS-J es disponible entre amplios límites de frecuencias (desde 7.5 hasta 45 cps) y gran selectividad de características eléctricas para ajustarse a cualquier sistema de entrada.

El HS-J ha sido experimentado con buen éxito en cientos de miles de horas de servicios en todo el mundo. **USTED PUEDE ESTAR SEGURO DEL HS-J.**



**GEO-SPACE CORPORATION**  
**HALL-SEARS, INC.**



5803 GLENMONT DRIVE  
HOUSTON, TEXAS 77036  
TELEPHONE MO 6-1611  
CABLE ADDRESS: GEOSPA

GEO SPACE  
(CANADA) LTD.  
5127 Centre Street South  
Calgary, Alberta, Canada

HALL-SEARS EUROPA, N. V.  
Banstraat 2.  
The Hague, Holland  
Cable Address: HALSEA

HALL-SEARS FRANCE, S. A.  
8, Rue Magellan  
Paris 8<sup>e</sup>, France  
Cable Address: HALSEA

SEISMIC INSTRUMENTS LIMITED  
67, Farroak Drive, Eltham  
London, S. E. 9, England  
Cable Address: HALLSEARS

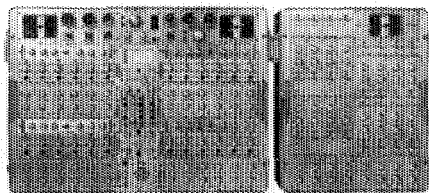
SEISMIC SUPPLY (AUST.) PTY. LTD.  
31 Kurilpa Street  
West End, Brisbane, Qld., Australia  
Cable Address: SEISPLY

# SIE entregará el sistema sísmico Número 1000 durante el año

Durante este año la SIE producirá y entregará el unmil sistema sísmico que ha fabricado desde que la compañía empezó a operar hace 18 años. Nadie sabe cual sistema será el #1000 debido a que los records del pasado no están completos, por lo tanto es posible que el total ya haya pasado 1000 unidades.

Lo importante es que SIE se mantiene al frente en el ramo de instrumentos sísmicos. La calidad superior y la mejora continua del performe de los instrumentos de la SIE ha sido gran influencia en el establecimiento de muchos de los conceptos que hoy día existen en instrumentos sísmicos. Entre los "primeros" de SIE, se encuentran:

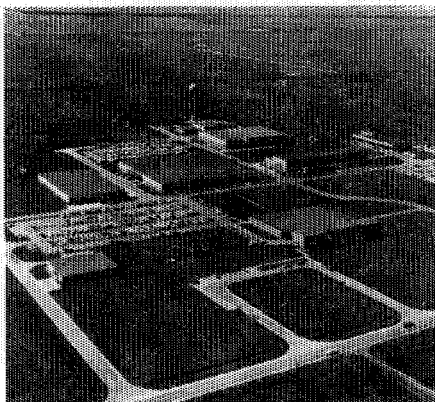
1. El sistema P-11, completamente portátil, integrable e independiente.
2. MR-4—el primer sistema de registro magnético FM (frecuencia modulada) aceptado por la industria.
3. PMR-6—el primer sistema portátil del registro magnético.
4. MS-12—el primer sistema para reducir datos sísmicos y procesar las cintas AM y FM.
5. PMR-20—el primer sistema portátil de registro magnético FM completamente transistorizado.
6. PT-100 con GCU-3—el primer sistema sísmico transistorizado, libre de distorsión, que incorpora medios para controlar el programa de ganancia.
7. TRO-6—la primera cámara registradora transistorizada capaz de proveer cinco tipos distintos de presentaciones, con un solo banco de galvanómetros.



**PT-100—sistema amplificador transistorizado libre de distorsión.**

La Mayor parte de los geofísicos consideran los instrumentos sísmicos de SIE "el standard de la industria." La producción corriente de SIE incluye una línea completa de registradores y analizadores sísmicos, capaz de acoplar los mas vastos requisitos de exploración geofísica.

Investigaciones y desarrollo. En total, SIE ha invertido en investigaciones y desarrollo de instrumentos geofísicos desde el 1947 mas de dos millones de dólares. Actualmente hay 25 personas en el departamento de Ingeniería de SIE, las cuales representan 130 años total de experiencia en la compañía y 45 años total de experiencia en ingeniería geofísica.



**CENTRO DE DRESSER ELECTRONICS EN LOS SUBURBIOS DE HOUSTON**

Cuando quiera el mejor instrumento sísmico, ya sea de nuestra producción corriente, o de diseño especial para satisfacer cualquier problema especial, llame enseguida a la SIE, la compañía que ha establecido el "standard" desde hace 18 años. La dirección es DRESSER SIE, 10201 Westheimer Road (P. O. Box 36230), Houston 42, Texas. CABLE: SIECO HOUSTON. TELEX: 713 571 2412. Teléfonos: SUNset 2-2000, o directamente al Departamento de Geofísica SUNset 2-5749 (Ventas) y SUNset 2-2893 (Departamento de Servicio).

# FABRIMEX, S. A. DE C. V.

Con los SELLOS DE TEFLON colocados en el interior de los coples API de las tuberías de producción se eliminan, en su totalidad, las fugas de fluidos.

Con las Barrenas FABRIMEX (Tipo Williams) se obtienen más metros perforados y menores costos de perforación.

EVITE problemas en las cementaciones primarias utilizando CENTRADORES, RASPADORES Y COLLARINES TOPE TIPO FABRIMEX.



Los PRODUCTOS QUÍMICOS FABRI-NUTRO son una garantía para evitar los problemas de corrosión, parafinamiento, incrustaciones de carbonatos, etc.

Las JUNTAS FABRI-GRIFIN "DS" están diseñadas para terminaciones múltiples y el sello de teflón les permite operar con gran eficiencia en pozos de alta presión.



FABRICACION NACIONAL DE EQUIPO PARA LA INDUSTRIA PETROLERA

FCO. NOVOA N° 105 MEXICO 14 D.F. TELS: 17-44-10 17-73-51 17-93-79

SUCURSAL EN VERACRUZ Km.435 CARRETERA JALAPA VERACRUZ.

APARTADO POSTAL 659, VERACRUZ, VER.

**GEOFISICOS CONSULTORES PARA  
PETROLEOS MEXICANOS**



*Seismograph Service Corporation  
of Mexico*

**AVE. JUAREZ 95 - 207 • MEXICO 1, D.F.  
TELEFONOS : 18-27-25 • 18-56-33**

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

**ESPECIALIZADOS EN :**

**SERVICIO DE  
GEOFISICA**

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

**SERVICIO DE  
REGISTRO DE POZOS**

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

# BOLETIN

de la

## Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración

---

### S U M A R I O

“Las causas de Ruido en Trabajos Sismológicos de Reflexión y Refracción”, por el Ing. *V. A. Olhovich*.

“Técnicas de Registro Sismológico”, por el Ing. *Antonio C. Limón*.

“Nota Sobre la Composición de un Número de Ondas Senoidales de Igual Período y Amplitud”, por el Ing. *Daniel Gutiérrez*.

“Ingeniería Civil, Geología y Geofísica”, por el Ing. *Gustavo Bello Orta*.

#### “FORO ABIERTO”

“Una Variante en el Diseño de una Cubierta de Sismo-Detectores Múltiples y como Consecuencia de Determinación del Filtro Adecuado para una Cubierta ya Construida, por el Ing. *Mariano Hernández Moedano*.

Nuevos Socios.

Contribuyentes.



# ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

## *MESA DIRECTIVA PARA EL PERIODO 1963-1964*

Presidente: Guillermo Hernández Moedano.

Vice-Presidente: Jesús Basurto García.

Secretario: Alfonso Cornejo Toledo.

Tesorero: Alfonso Hernández Osuna.

Vocal de Petróleo: Armando Eguía Huerta.

Vocal de Minas: Ernesto López Ramos.

Vocal de Ingeniería Civil: Enrique del Valle T.

Editor: Vladimir A. Olhovich.

Presidente Directivo Anterior: Santos Figueroa Huerta.

---

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

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

---

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

ING. VLADIMIR A. OLHOVICH

Av. Juárez No. 97 Despacho 302.

Teléfonos 18-41-41 y 12-89-70

México 1, D. F.

# LAS CAUSAS DE RUIDO EN TRABAJOS SISMOLOGICOS DE REFLEXION Y REFRACCION \*

Por el Ing. *V. A. Olhovich* \*\*

## R E S U M E N

Se describen las causas de los ruidos que se observan en los sismogramas y se examina su naturaleza.

Los siguientes ruidos han sido analizados:

- a) Ondas superficiales.
- b) Impulsos Secundarios.
- c) Dispersión.
- d) Múltiplos.
- e) Fantasma.
- f) Reverberaciones.
- g) Difracción.
- h) Filtros.
- i) Ondas Directas.
- j) Ondas del Sonido.
- k) Golpes Repetidos.
- l) Microsismos.

No se mencionan métodos para la eliminación de los ruidos, que constituye la materia de otro artículo.

---

\* Presentado en la Convención de Geofísicos en Tampico (21—23 de Noviembre de 1963).

\*\* Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.

De toda la gran variedad de tipos de ondas que llegan a la superficie a causa de una explosión y que son observadas en el sismograma, solamente algunas se aprovechan en la sismología práctica. Estas ondas podemos llamarlas ondas útiles. Las otras ondas, al intervenir con las ondas útiles, las dañan y estorban su reconocimiento, o teniendo todo el aspecto de ondas útiles longitudinales, pueden tomarse por tales y entonces introducen varios errores en la interpretación. Por tal motivo, estas ondas indeseables se llaman el ruido y se trata de eliminarlas del sismograma por diferentes procedimientos.

Desde luego, tal división de ondas entre útiles y dañinas es algo arbitraria y condicional, dependiendo de qué es lo que se trata de determinar: por ejemplo, la onda directa longitudinal es útil cuando se trata de determinar la velocidad de la primera capa consolidada, y puede ser ruido cuando estorba la aparición de eventos posteriores. Las ondas transversales pueden aprovecharse en ciertas ocasiones, y entonces son útiles; mientras que en general no son aprovechables y pertenecen a la categoría de ruidos. También las ondas difractadas pueden ser sumamente útiles para la determinación de fallas, pero pueden ser también dañinas si intervienen con reflejos principales. Aún las ondas del sonido, transmitidas por el aire pueden ser aprovechadas algunas veces para checar las distancias, aunque en general son altamente nocivas.

En cambio, las ondas superficiales con sus efectos secundarios que se propagan cerca de la superficie de la tierra con velocidades lentas y con frecuencias bajas, son siempre indeseables y constituyen una parte de ruidos sumamente dañinos. Aún más nocivos por lo difícil de eliminarlos, son los impulsos desordenados presentes en todo sismograma, que no son otra cosa que reflejos innumerables y sus múltiplos de cualesquiera irregularidades y cambios de velocidades del subsuelo, que se combinan entre sí de una manera irregular y confusa. Muchas ondas son llamadas ruidos porque no sabemos como interpretarlas. Si pudiéramos interpretarlas, nos proporcionarían sin duda información valiosa. Por consiguiente, hay que tener cuidado de no rechazar sin examen minucioso todos los impulsos que no sean ondas reconocidas longitudinales.

### *Ecuaciones Fundamentales*

De la teoría de elasticidad y de la propagación de las oscilaciones elásticas, se sabe que el movimiento de un punto cualquiera de un cuerpo sólido y homogéneo en el que actúan solamente tensiones elásticas, se describe por ecuaciones diferenciales fundamentales

$$\begin{aligned}
 \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= \mu \Delta u + (\lambda + \mu) \frac{\partial \Theta}{\partial x} \\
 \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} &= \mu \Delta v + (\lambda + \mu) \frac{\partial \Theta}{\partial y} \\
 \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= \mu \Delta w + (\lambda + \mu) \frac{\partial \Theta}{\partial z}
 \end{aligned} \tag{1}$$

estas son ecuaciones diferenciales parciales, lineales y de segundo orden, donde:

$u, v, w$  son desplazamientos pequeños de un punto del sólido, cuyas coordenadas son  $x, y, z$ , siendo

$$\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}, \text{ etc.}$$

$\rho$  es la densidad

$t$  es el tiempo

$\lambda$  y  $\mu$  son constantes de Lamé

siendo

$$\lambda = \frac{\sigma}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)} E$$

$$\mu = \frac{1}{2} \cdot \frac{E}{1 + \sigma}$$

que se llama el módulo de resbalamiento.

donde:

$E$  — es el coeficiente de elasticidad longitudinal (módulo de Young) y representa la fuerza que habría de aplicarse en el extremo de una varilla de unidad de sección para que se alargase hasta el doble.

$\sigma$  — es el coeficiente de contracción transversal (constante de Poisson) y es la relación entre la disminución relativa de la sección transversal de las varilla  $\frac{\Delta d}{d}$  ( $d =$  diámetro) y su alargamiento relativo  $\frac{\Delta L}{L}$ . Es una constante y es igual a 0.25.

$\Theta$  — es el aumento de la unidad de volumen o dilatación

$$\Theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$$

Si  $\sigma = 0.25$

$$\lambda = \mu = \frac{2}{5} E$$

De estas ecuaciones fundamentales se deducen, por integración, dos movimientos principales, es decir, dos deformaciones: las ondas de dilatación y de condensación, y las ondas de deslizamiento o de distorsión que se propagan con velocidades distintas a través del sólido.

Para las primeras la velocidad es:

$$V_1 = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2)$$

y para las segundas:

$$V_2 = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (3)$$

Además se comprueba que el movimiento de las partículas para la primera clase de deformaciones coincide en la dirección con la propagación de la onda; por eso esta clase de oscilaciones se llama *longitudinal*.

En la segunda clase de deformaciones la dirección del movimiento de las partículas es perpendicular a la propagación de la onda y por eso estas ondas se llaman *transversales*.

Substituyendo las constantes elásticas en las velocidades de ambas ondas, resulta:

$$V_1 = \sqrt{3} V_2$$

Por ejemplo, para acero  $E = 2.16 \times 10^{12}$  cgs.  $\rho = 7.8$   
y  $V_1 = 5.8$  km/seg.

### *Ondas Superficiales*

Sin embargo, las ecuaciones diferenciales fundamentales (1) pueden ser satisfechas por otros tipos de funciones. Entre éstas, la función más importante desde el punto de vista práctico, es la que describe ondas que se propagan por la superficie de la Tierra a semejanza de las ondas líquidas que se extienden por la superficie del agua cuando se tira una piedra.

Por medio de un análisis algo complicado, se llega a la expresión de la velocidad de estas ondas que es:

$$V_R = 0.92 \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = 0.92 V_2 \quad (4)$$

siendo  $V_2$  la velocidad de la onda transversal.

Estas ondas fueron estudiadas por Rayleigh y llevan su nombre.

Las ondas de Rayleigh tienen una longitud de onda grande. Las partículas oscilan en el plano vertical en un movimiento elíptico y retrógrado. La proyección del desplazamiento horizontal coincide con la dirección de la propagación de la onda, mientras que la vertical es perpendicular a esta dirección. La relación entre los desplazamientos horizontal y vertical, es decir, la relación entre los semiejes de la elipse, es constante, siendo la amplitud del desplazamiento horizontal 0.68 del vertical. Por consiguiente, cuando la onda superficial se propaga a lo largo del perfil, su componente vertical, que es mayor, se registra ampliamente por los sismógrafos verticales. Pero la onda longitudinal reflejada que viene de abajo también produce el movimiento vertical del suelo. Sin embargo, la dirección de llegada de estas dos ondas es completamente diferente. Esta diferencia puede aprovecharse para destacar las ondas útiles por medio de un método interferencial.

En ciertas condiciones se observa en las ondas superficiales el fenómeno de dispersión, debido a que la velocidad de estas ondas varía con la frecuencia. Esto ocurre cuando una capa superficial de baja velocidad es superpuesta a otra más gruesa y de velocidad alta, lo que casi siempre tiene lugar en la práctica, siendo la capa de velocidad baja la de intemperismo, y la de velocidad alta la primera capa consolidada.

Para frecuencias altas, es decir, para longitud de onda pequeña, la onda no tiene gran penetración y adquiere una velocidad igual al 0.92 de la velocidad de la onda transversal de la capa superior; mientras que para la onda superficial de frecuencia baja y, por consiguiente, de mayor penetración, la velocidad será igual al 0.92 de la velocidad de la onda transversal de la capa de alta velocidad. Puesto que las velocidades en este caso de la onda son distintas, ésta aparece como un tren de acontecimientos con frecuencias variables.

Este fenómeno de dispersión es el que afecta seriamente las observaciones sísmicas.

La mayor parte de la energía de una explosión queda comprendida en la capa superficial de baja velocidad y solamente una parte pequeña de ella, unos 2% a 3% se transforma en energía reflejada. Por esta razón la onda superficial es siempre muy intensa, formando una familia de impulsos entre la superficie y el primer contacto de dos capas.

Otras ondas que satisfacen también las ecuaciones diferenciales fundamentales y que se propagan por la superficie del primer contacto, son ondas

de Love. En sismología práctica estas ondas no tienen gran importancia porque en ellas las partículas oscilan en el plano horizontal y por esta razón no son observadas.

Debido a las condiciones generalmente muy complejas cerca de la superficie, las ondas de Rayleigh clásicas no deberían esperarse; sin embargo, siempre se observa un "oleaje" (ground roll) más o menos intenso, el que probablemente no es la onda de Rayleigh clásica simple, sino una complicada combinación de energía dispersa, a la semejanza de lo que ocurre cuando una onda líquida encuentra un obstáculo. Estos impulsos dispersos pueden ser originados también por las ondas refractadas y reflejadas, pero la mayor parte de ellas son originadas por la onda superficial. Estos impulsos aparecen en el sismograma con diferentes frecuencias y amplitudes, sin dirección definida. Cualquier irregularidad cerca de la superficie, tal como una zanja por ejemplo, se convierte en un oscilador potencial que dispersa la energía. Si los sismómetros se colocan muy cerca uno del otro, estos impulsos pueden aparecer con direcciones y con velocidades aparentes definidas. Mientras más irregulares y quebradas son las capas superficiales, la onda superficial origina mayor número de impulsos dispersos que producen mayores perturbaciones en el sismograma. Sin embargo, afortunadamente, en estas condiciones la onda superficial y sus efectos son absorbidos y disipados más rápidamente por el gasto excesivo de energía y desaparecen más pronto.

De este modo se ve que no es la onda superficial simple la que hace mayor daño, sino sus efectos secundarios.

### *Ondas Transversales*

En general, la explosión favorece que se produzcan mayormente ondas longitudinales, aunque parte de la energía se transforma en ondas transversales. Además en cada contacto de capas de velocidades diferentes, una parte pequeña de la energía longitudinal se convierte en transversal. Si la superficie representa un buen reflector, la energía de la onda longitudinal reflejada desde la superficie, puede dar origen a una onda transversal que posea una cantidad de energía considerable.

Debido al carácter del movimiento de partículas de la onda transversal (perpendicular a la propagación de la onda), ésta no debería ser registrada en sismómetros verticales; sin embargo, casi siempre existe una pequeña componente vertical en el movimiento de las partículas, que es registrada. Aunque



esta componente es en general débil, puede tener suficiente energía para que su movimiento intervenga con los reflejos longitudinales posteriores, que de esta manera resultan dañados. En algunas ocasiones la componente vertical de ondas transversales es suficientemente fuerte para dar ilusión de reflejos longitudinales los que aparecen con velocidades aparentes más grandes.

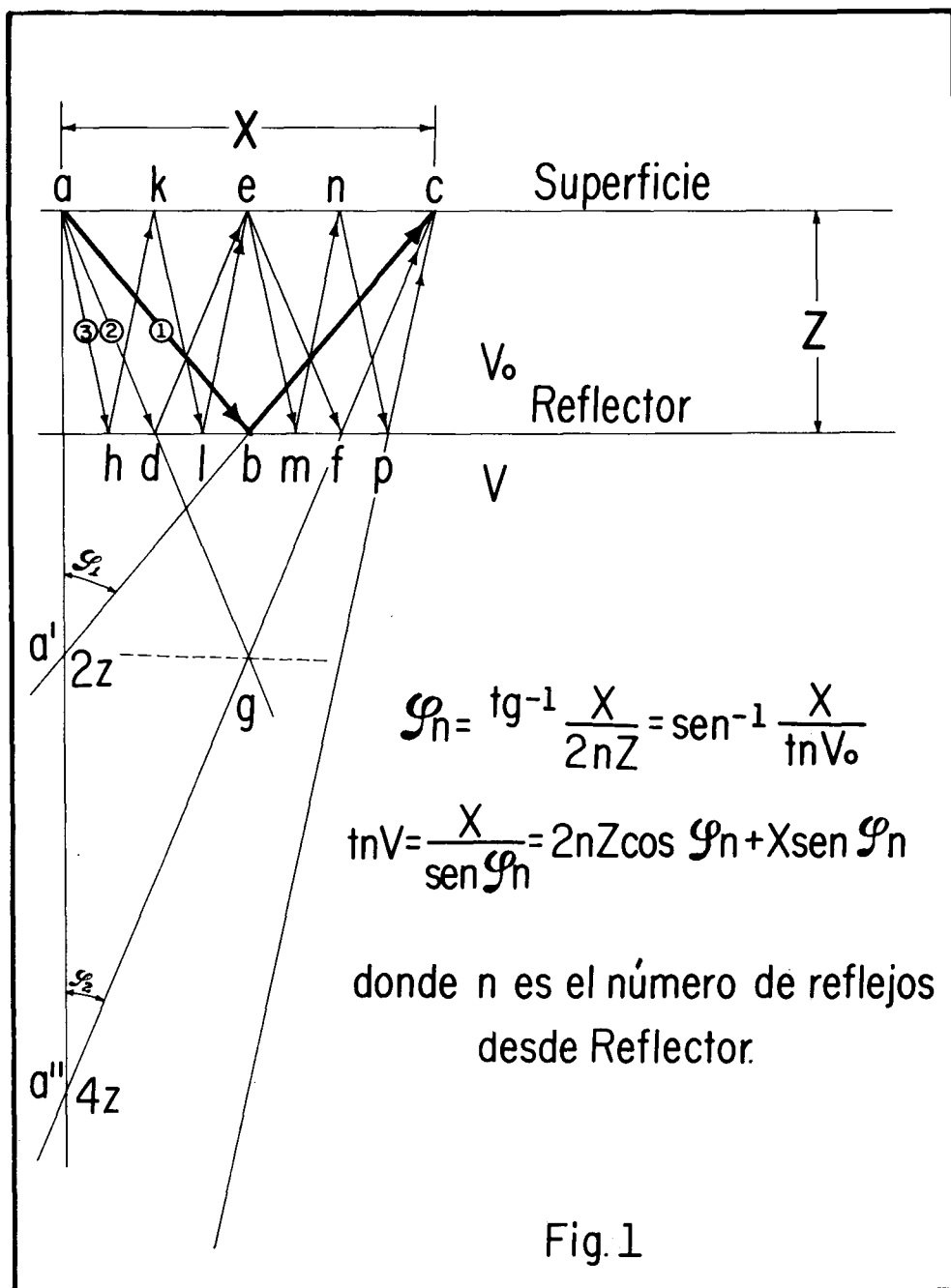
Con sismómetros horizontales las ondas transversales se observan fácilmente y pueden aprovecharse de la misma manera que las ondas longitudinales, aunque hasta ahora no han sido estudiadas suficientemente.

Para estudiar y distinguir las ondas transversales, se emplea el método azimutal de observaciones.

### *Múltiplos*

La onda elástica, producida por el tiro puede ser en parte reflejada otra vez a la superficie desde el contacto de dos capas de velocidades diferentes. Según el principio de Heygens cada punto de contacto, alcanzado por la onda, se transforma en un nuevo foco de energía que origina nuevas ondas elásticas que se propagan según las leyes de refracción y reflexión de la misma manera como la onda primitiva. Ahora, como siempre existe el contraste de velocidades en el contacto tierra aire o entre la capa consolidada y la capa de intemperismo, se origina la onda en este contacto la que al llegar a la superficie puede ser otra vez reflejada desde allá o desde la base de la capa de intemperismo hacia abajo y ser reflejada otra vez a la superficie. El proceso puede repetirse varias veces en condiciones favorables hasta que las pérdidas sucesivas de energía hagan que el impulso se vuelva demasiado débil para que sea observado.

Los reflejos así observados se llaman "reflejos múltiplos". En la mayoría de las observaciones, debido a la pérdida de energía si ésta no está contrarrestada por el control automático de volumen, los reflejos múltiplos no siempre son observados en el sismograma, aunque pueden tener suficiente energía para dañar los reflejos auténticos. Sin embargo, en condiciones favorables, en capas someras, cuando un reflector es excepcionalmente bueno, pueden originarse reflejos múltiplos fuertes hasta el cuarto o quinto múltiplo de la misma o aún mayor intensidad que los reflejos verdaderos que corresponden al mismo tiempo de observación, que se confunden fácilmente con reflejos auténticos puesto que no se distinguen en nada de éstos. Si llegan al mismo tiempo que los reflejos más profundos y si se combinan con ellos, los deforman de tal manera que su identificación se vuelve errónea o imposible; o si se les toma



por reflejos verdaderos, al trazarlos de acuerdo con los tiempos de su llegada, se obtienen horizontes ficticios profundos que no existen.

La identificación de reflejos múltiples es siempre difícil y, en ciertas condiciones, hasta imposible como puede apreciarse en la figura 1 suponiendo la velocidad constante:  $ac$  es la superficie con el punto de tiro en  $a$  y con el receptor en  $c$ ;  $df$  es el reflector. Supongamos que la velocidad  $V_0$  es constante. La onda reflejada sigue el camino  $abc$ ; sin embargo, es posible que se produzca también el reflejo múltiple que seguirá el camino  $adefc$  que se registrará en  $c$  con el tiempo casi doble que el reflejo  $abc$ . Si trazamos el reflejo múltiple  $adefc$  como si fuera el reflejo verdadero, obtendríamos un horizonte ficticio, cuyo punto de reflexión estaría en  $g$ . Ahora, si verdaderamente existiera el horizonte  $g$ , éste produciría el reflejo  $adgfc$  que en nada se distinguiría del reflejo múltiple  $adefc$ , puesto que la onda en ambos casos llegaría a  $c$  con el mismo ángulo  $i$ . Por consiguiente, al observar el segundo reflejo (el primer reflejo es el verdadero  $abc$ ) sería imposible decir si éste es el verdadero del horizonte  $g$  o el múltiple del horizonte  $df$ .

Afortunadamente, puesto que la velocidad casi siempre aumenta con la profundidad, el ángulo  $i$  (figura 2) que se observaría en el reflejo verdadero

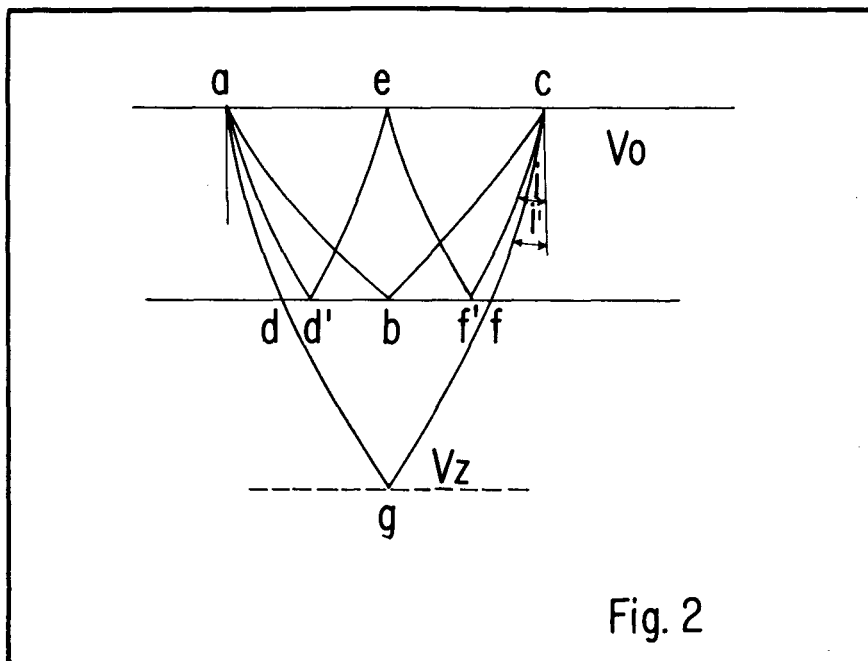


Fig. 2

$adg/c$  sería menor que el ángulo  $i$  del reflejo múltiple, puesto que al aumentarse la velocidad con la profundidad, se requeriría menos tiempo para el paso del primero que para el paso del segundo. Si la distribución de velocidades es conocida, también es conocida la relación que existe entre el tiempo total y la correspondiente  $\Delta T$ ; el hecho de que la  $\Delta T$  observada del reflejo  $ad'e'f'c$  fuese mayor que la correspondiente para este tiempo, indicaría que se trata de un reflejo múltiple. La diferencia entre las dos  $AT$ 's, sin embargo, pequeña.

Desde luego, el reflejo múltiple  $adefc$  no es el único posible; habiendo suficiente energía, puede haber también un múltiplo  $ahklemnpc$  y aún otros. De esta manera, los reflejos múltiples aparecerían periódicamente.

También los reflejos múltiples pueden originarse entre dos capas cualesquiera en condiciones favorables para esto, como se ve en la figura 3. Un reflejo como  $abfghle$  sería interpretado como reflejado de la capa ficticia  $k$ .

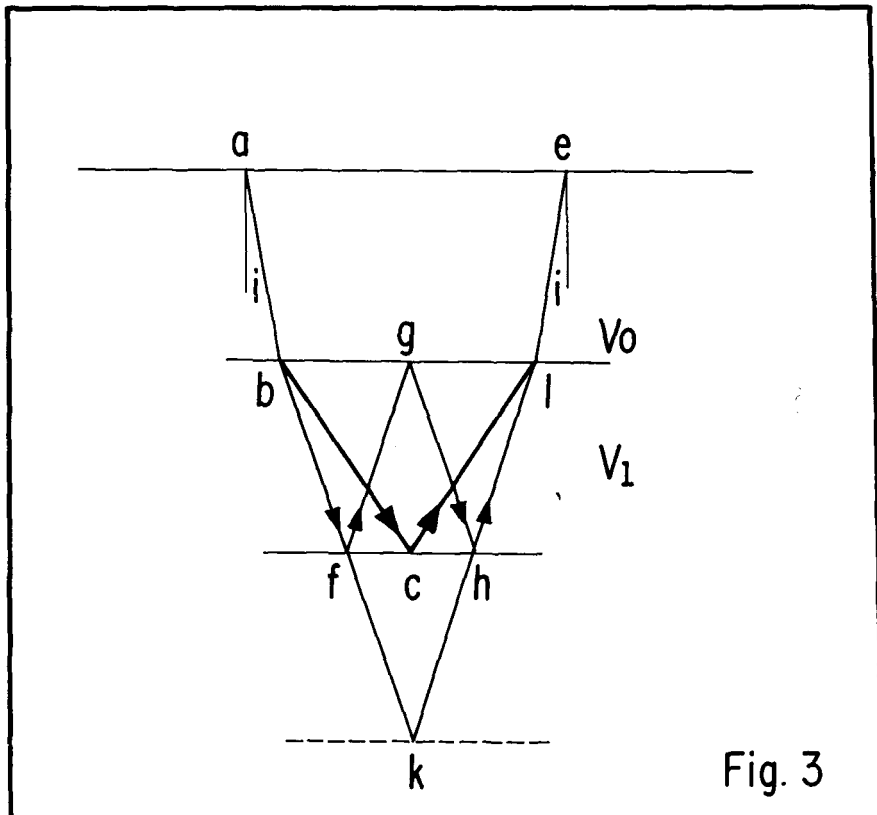


Fig. 3

Generalmente, por falta de energía, tales reflejos serían raros. Cualquier combinación entre los casos de las figuras 2 y 3 es posible; pero en general, los reflejos múltiples provienen de las capas someras con el contraste de velocidades grandes.

Consideremos un caso general de un reflector inclinado con el ángulo  $\alpha$  con respecto a la superficie (figura 4). Supongamos que la reflexión se produce a la incidencia normal, es decir, que el reflejo regresa al punto de partida por el mismo camino. Sea el punto de tiro en  $A$ . Del punto  $O$ , donde el reflector aflora a la superficie, tracemos un círculo de radio  $R = OA$ . El reflejo verdadero será normal al reflector, es decir, de  $A$  hacia  $k$  y el regreso al punto  $A$ . Sea  $Ak = h = R \sin \alpha$  y la profundidad vertical del punto de reflexión  $ks = H = h \cos \alpha$ .

El tiempo en que este reflejo es observado en el punto  $A$  es

$$t_0 = \frac{2h}{V} = \frac{2R \sin \alpha}{V} = \frac{2H}{V \cos \alpha}$$

Aunque este reflejo puede ser otra vez reflejado desde la superficie hasta el reflector, supongamos que la reflexión se produce una sola vez. Este reflejo no es el único posible: si la onda, originada en  $A$ , llega al reflector con un ángulo tal que, al ser reflejada, llega otra vez a la superficie o al reflector con un ángulo recto, puede ser otra vez reflejada de la superficie o del reflector y regresar por el mismo camino al punto  $A$ . Estos reflejos son reflejos múltiples.

Consideremos el reflejo  $Anp$ ; la onda llega al punto  $n$  del reflector con un ángulo tal que, al reflejarse, alcanza el punto  $p$  de la superficie con el ángulo recto y, por consiguiente, es reflejada otra vez al punto  $A$ . El camino recorrido será

$$Anp = R \sin 2\alpha$$

y el tiempo será:

$$t_1 = \frac{4H}{V}$$



Otro reflejo múltiplo posible,  $Abcd$ , llega al reflector con el ángulo recto en el punto  $d$  y regresa otra vez a  $A$ .

El camino recorrido es:

$$Abcd = R \operatorname{sen} 3 \alpha$$

y el tiempo

$$t_2 = \frac{2 H}{V \cos \alpha} ( 3 - 4 \operatorname{sen}^2 \alpha )$$

etcétera.

En general, si  $n$  es el número de reflejos múltiplos posibles, la fórmula general del tiempo en el cual se observarán los múltiplos, será:

$$t_n = \frac{2 R}{V} \operatorname{sen} ( n + 1 ) \alpha \quad (5)$$

y la relación del tiempo de un reflejo múltiplo al reflejo verdadero de la incidencia normal, será:

$$\frac{t_n}{t_o} = \frac{\operatorname{sen} ( h + 1 ) \alpha}{\operatorname{sen} \alpha} \quad (6)$$

De la fórmula (5) sale que el ángulo de cada reflejo sucesivo sobre el reflector es  $2 \alpha$  mayor hacia la pendiente-abajo y  $2 \alpha$  menor hacia la pen-

de manera que la relación entre la velocidad aparente de un múltiple y la del reflejo original es

$$\frac{V_a}{V} = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } (n + 1) \alpha} \quad (7)$$

Por lo expuesto anteriormente, se puede resumir:

1) El contraste de velocidades entre la capa de intemperismo y la primera capa consolidada es favorable a la formación de reflejos múltiples. Entonces, los reflejos múltiples se forman entre la base de la capa de intemperismo y cualquier contacto entre los reflectores.

2) Un reflector cualquiera somero que produce reflejos de gran amplitud puede dar origen a reflejos múltiples. A veces, es el único reflector verdadero en el área y todos los reflejos posteriores no son más que múltiplos. Si éstos se trazan como si fueran verdaderos se obtienen varios horizontes ficticios con echados sucesivamente más grandes, puesto que  $\Delta T$  del reflejo múltiple será mayor que  $\Delta T$  que correspondería al tiempo observado de un reflejo verdadero, si hay aumento de velocidad con la profundidad.

3) El exceso de energía de la explosión puede ser la causa de la aparición de reflejos múltiples que no serían visibles si la energía no fuera excesiva.

4) El sistema de tiro central favorece la formación de reflejos múltiples.

Las características esenciales de los reflejos múltiples son las siguientes:

1) La aparición periódica acompañada por la disminución de energía y de amplitud aunque esto último puede contrarrestarse por AVC.

2) El intervalo de tiempo entre los reflejos múltiples sucesivos disminuye, según se nota de las fórmulas (6) y (8) y de la figura 4, a menos que los múltiplos se produzcan todo el tiempo en sentido normal al reflector.

3) La fase de cada múltiplo debe ser invertida en relación con el reflejo múltiple precedente. Si la velocidad y la densidad de un medio isotrópico son respectivamente  $V$  y  $d$ , y las de otro medio  $V'$  y  $d'$ , entonces el coeficiente de reflexión  $\beta$ , se expresa por la fórmula:



$$\beta = \frac{V' d' - V d}{V' d' + V d}$$

donde  $V' d'$  y  $V d$  se llaman impedancias acústicas. Ahora, si  $V' d' > V d$ ,  $\beta > 0$  y la reflexión se produce sin cambio de fase; pero si  $V' d' < 0$ ,  $\beta < 0$ , y la fase se invierte al producirse la reflexión. Como los reflejos múltiples son reflejados sucesivamente del contacto superior e inferior, se tiene sucesivamente:  $\beta > 0$  y  $\beta < 0$  y la fase de cada reflejo múltiple posterior se invierte en relación con la del anterior.

4) La  $\Delta T$  normal en incidencia oblicua entre el punto de tiro y el sismómetro extremo, es decir, la curvatura disminuye porque cada múltiple sucesivo llega a la superficie con el ángulo de emergencia cada vez menor, como se ve en las figuras 1 y 2. Por consiguiente, cuando no hay echado, la velocidad aparente aumenta con cada múltiple.

5) La  $\Delta T$  debida al echado aumenta progresivamente con cada múltiple sucesivo según consta de la fórmula (5), es decir, que trazando los múltiplos como si fuesen reflejos verdaderos, el echado trazado va en aumento.

6) La velocidad aparente (en incidencia oblicua) de cada múltiple sucesivo disminuye en la dirección hacia pendiente-abajo, y aumenta hacia pendiente-arriba, según indica la fórmula (6).

Si existen varios reflejos múltiples del mismo horizonte reflector, se les puede identificar por los síntomas anteriores; en cambio, como en la mayoría de los casos si se observa un sólo múltiple, sería imposible decir si éste es un múltiple o un reflejo auténtico de un horizonte más profundo.

Reflejos múltiples son también posibles en la refracción, que se manifiestan en la gráfica tiempo-distancia por líneas paralelas de mayor tiempo de llegada y de la misma velocidad original, como se muestra en la figura 5. La onda refractada normal toma el camino  $abde$ ; pero puede suceder que en algún lugar del tramo la onda se refleja de la superficie hacia el refractor y de allá otra vez a la superficie, es decir, en lugar de tomar el camino  $abd/jg$  toma el camino  $abdefg$  y  $abdejhk$  dando origen a la aparición de la línea de refracción  $B$  paralela a la línea de refracción normal  $A$ . El proceso puede repetirse varias veces si hay energía suficiente y si la superficie (o la base de

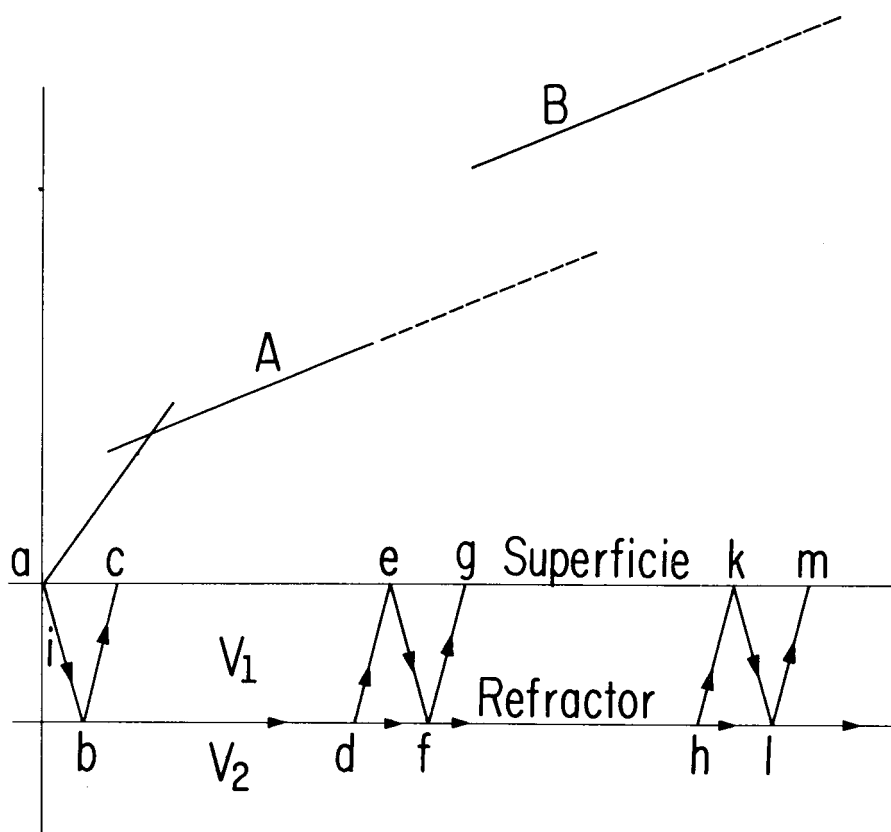


Fig. 5

*intemperismo*) es un buen reflector. Así por ejemplo, en lugar de viajar por el tramo *ablm* la onda puede tomar el camino *abhklm* o aún *abdefhklm*.

Desde luego, si existen capas de mayor velocidad, las que aparecen como segundas llegadas en la gráfica y que contienen información valiosa, éstas pueden ser dañadas e irreconocibles por la aparición de refracción múltiple.

### *Reflejos fantasmas*

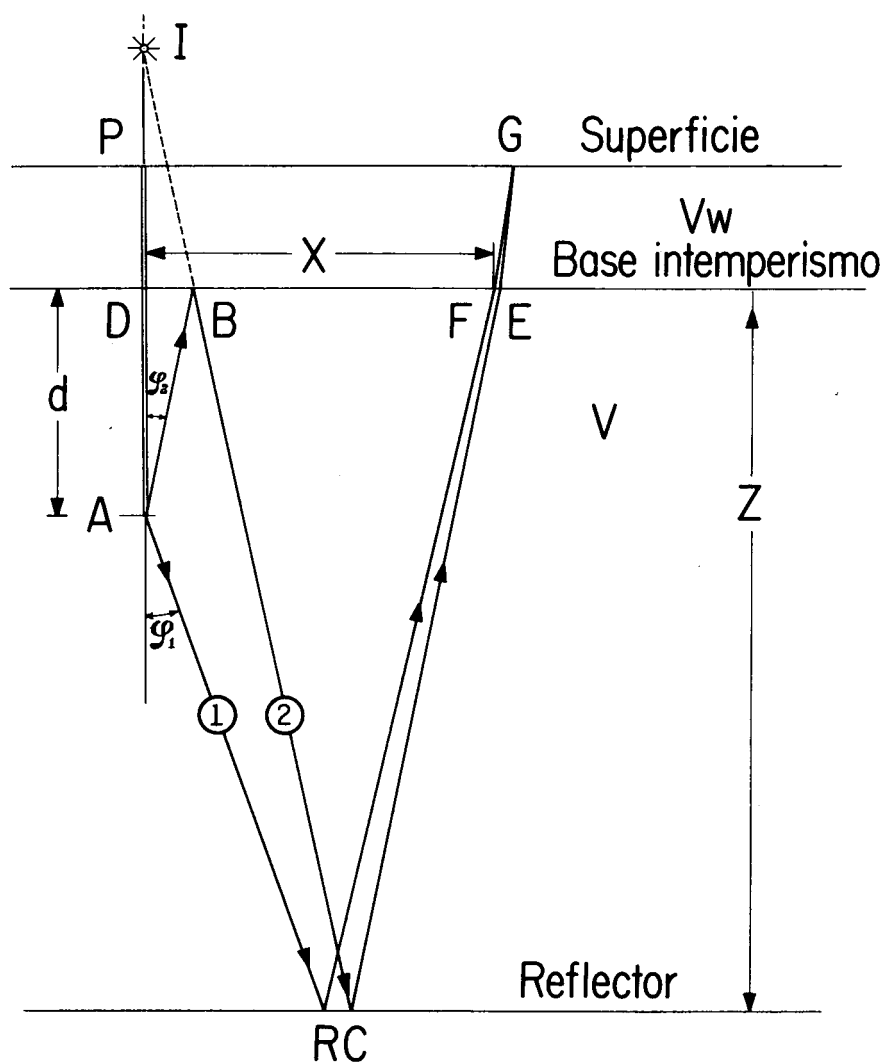
Estos pueden considerarse como un caso particular de reflejos múltiples.

Si existe un contraste bien definido de velocidades entre la capa de *intemperismo* y la capa consolidada, este contraste puede ser un buen reflector. Igualmente, la superficie, en condiciones favorables, también puede ser un reflector potente. En estos casos aparecería un punto de tiro imaginario sobre la superficie el cual daría origen tanto a ondas longitudinales como transversales, lo que resultaría en la doble aparición de cada uno de los impulsos en el sismograma. Tales reflejos fantasmas se originan generalmente, cuando la profundidad del punto de tiro se encuentra bastante más abajo de la capa del *intemperismo*, como se ve en la figura No. 6.

Si el tiro se produce en *A*, la onda reflejada directamente del reflector viaja por el camino *ARG* al sismómetro en *G*. Pero también puede originarse otra onda que recorrerá el camino *ABCG*, reflejándose primero del contacto del *intemperismo* en *B*. Este camino equivale como si el tiro fuese en un punto imaginario *I* recorriendo el camino *IBCG* con la velocidad de la capa consolidada  $V_0$ .

La onda *ABCG* llegará un poco más tarde que la onda directamente reflejada *ARG*, aunque con menor amplitud y con la fase invertida. Es posible también la aparición de la onda transversal aún más tarde que la onda *ABCG*.

El hecho de la aparición del segundo reflejo puede tener por resultado dos efectos: si la segunda onda llega a tiempo de que se sumen las fases con la primera, la señal es reforzada; contrariamente, las fases pueden estar separadas a  $180^\circ$  y entonces en lugar del reforzamiento de la señal, puede ocurrir su cancelación o cualquier combinación entre los dos límites. El segundo efecto sería la aparición de un reflejo procedente del mismo horizonte, si las dos ondas son suficientemente separadas, que puede ser tomado erróneamente por un reflejo de un horizonte más profundo.



$$t_2 - t_1 = \frac{1}{V} [\sqrt{(2Z+d)^2 + X^2} - \sqrt{(2Z-d)^2 + X^2}]$$

Fig.6.

Por lo que se ve, el punto de tiro más profundo que la capa del intemperismo, no siempre es ventajoso y puede producir efectos indeseables.

El tiempo de llegada de la onda *ARFG* es:

$$t_1 = \frac{X}{V \operatorname{sen} \varphi_1} + \frac{FG}{V_w}$$

y de la onda *ABCEG* es:

$$t_2 = \frac{X}{V \operatorname{sen} \varphi_2} + \frac{EG}{V_w}$$

$$\text{donde } \varphi_1 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X}{2z - d} \quad \text{y} \quad \varphi_2 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X}{2z + d}$$

Podemos suponer que:

$$\frac{FG}{V_w} = \frac{EG}{V_w}$$

y entonces la diferencia de tiempos de la llegada de la onda será:

$$t_2 - t_1 = \frac{1}{V} \left[ \sqrt{(2z + d)^2 + x^2} - \sqrt{(2z - d)^2 + x^2} \right]$$

de manera que si conocemos *d*, se puede calcular *z*, la profundidad del reflector; inversamente si se conoce la profundidad del reflector, se puede calcular el tiempo de la llegada del segundo reflejo y de esta manera identificarlo.

### Reverberaciones

El fenómeno de reverberaciones aparece en trabajos marinos, donde la energía está contenida en una trampa entre la superficie y el fondo del agua, los dos límites que representan buenos reflectores y los que sucesivamente reflejan el impulso sísmico periódicamente y con la fase invertida. Naturalmente, cualquier reflejo de las capas profundas sería completamente ofuscado por estas reverberaciones.

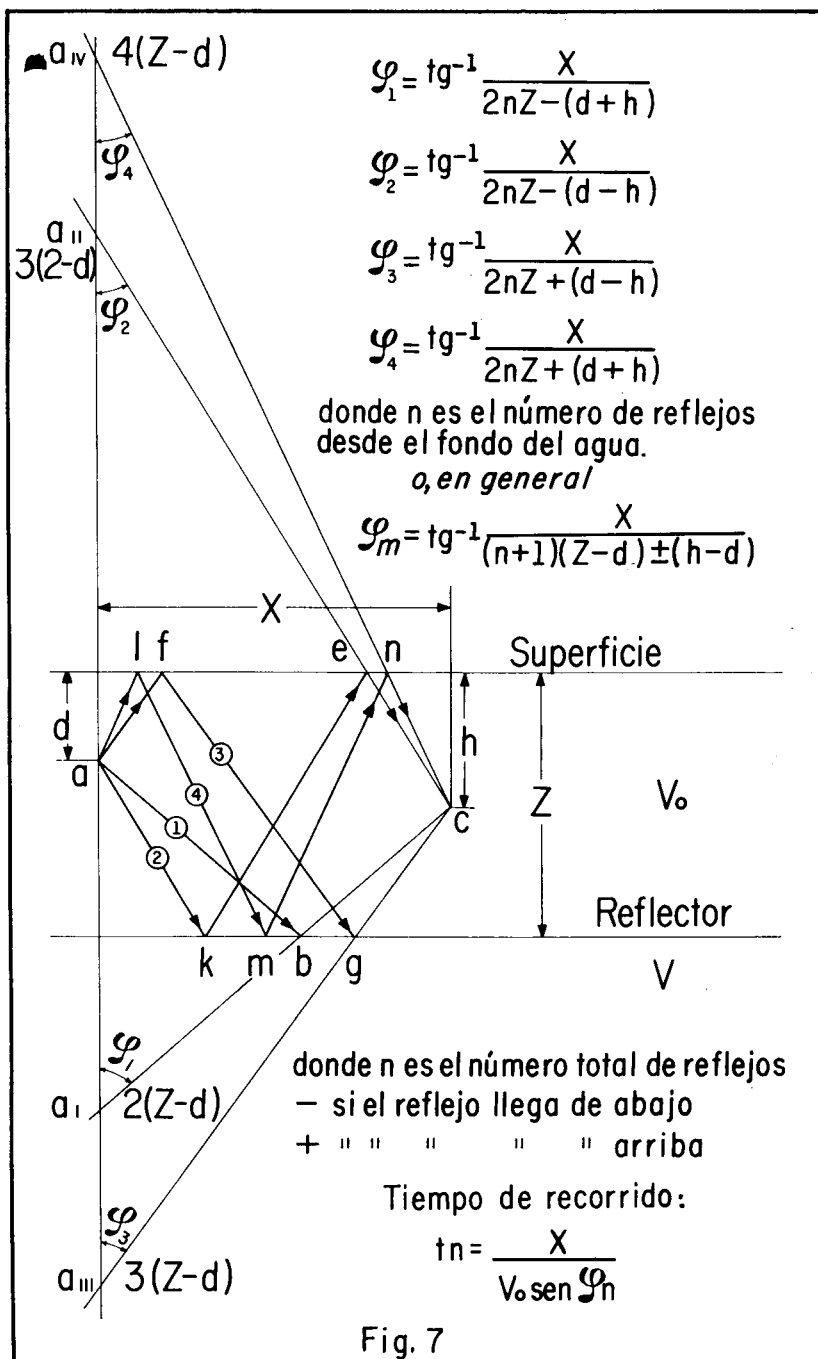
En su forma más sencilla, suponiendo que el impulso de la explosión es reflejado de la superficie y del fondo del agua únicamente, conteniéndose toda la energía dentro de estos límites, a la manera de un tubo de órgano cerrado en uno de sus extremos, las reverberaciones pueden representarse como en la figura 7 donde la explosión se produce en  $a$  y el receptor se encuentra en  $c$ . Puede haber cuatro casos posibles según se ve en la figura. Antes de llegar al receptor el impulso es reflejado: 1) del fondo, 2) del fondo y de la superficie, 3) de la superficie y del fondo, y 4) de la superficie, del fondo y de la superficie.

Cada caso puede repetirse varias veces antes de llegar al receptor. Si  $n$  es el número de reflejos *desde* el reflector, el tiempo de recorrido de cada onda es:

$$t_n = \frac{x}{V_o \sin \varphi_n} \quad (8)$$

siendo  $x$  la distancia horizontal entre el punto de explosión y el receptor, y el ángulo inicial  $\varphi_n$  es según el caso,

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{x}{2nz - (d + h)} \\ \varphi_2 &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{x}{2nz - (d - h)} \\ \varphi_3 &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{x}{2nz + (d - h)} \\ \varphi_4 &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{x}{2nz + (d + h)} \end{aligned} \quad (9)$$



$$\text{ó, en general } \varphi_m = \operatorname{tg}^{-1} \frac{x}{(n+1)(z-d) \pm (h-d)} \quad (9a)$$

donde  $n$  es el número total de reflejos (de arriba y de abajo)

—  $(h-d)$  si el reflejo llega de abajo

+  $(h-d)$  si el reflejo llega de arriba

La frecuencia de la onda depende de la velocidad de transmisión del sonido en el agua,  $V$ , y de la profundidad del agua  $z$  y está dada por la fórmula empírica:

$$f = \frac{(2n+1)V}{4z}$$

donde  $n = 1, 2, 3 \dots\dots\dots$

Sin embargo, el fenómeno de reverberaciones es más complejo y no podemos atribuirlo únicamente a las vibraciones del impulso dentro de los límites superficie-fondo. Si esto fuera el caso, las reverberaciones dejarían de existir, según señala la teoría, después de medio segundo más o menos. Las mismas investigaciones teóricas llegan a la conclusión de que las reverberaciones son producidas por reflejos procedentes de reflectores profundos, lo que también se confirma por la experiencia, sobre todo por el hecho de que la  $\Delta T$  de las reverberaciones es propia de los reflejos del subsuelo. La  $\Delta T$  normal es intermedia entre la que debería esperarse de la ley de distribución de velocidades del área y la que corresponde a la velocidad del agua. Por consiguiente, las reverberaciones que aparecen en el sismograma son íntimamente ligados con los reflejos del subsuelo, y su trayectoria representa la trayectoria normal del subsuelo más las trayectorias de los reflejos sucesivos dentro del agua. La onda reflejada del subsuelo viaja hacia la superficie, de la cual se refleja con la polaridad inversa hacia el fondo del agua, es reflejada otra vez a la superficie y así sucesivamente.



Por consiguiente, las reverberaciones, por ser producidas y excitadas por los reflejos del subsuelo, contienen la información estructural del subsuelo, aunque deformada por la influencia del fondo marino.

Es precisamente por esta razón que en los primeros trabajos marinos, cuando la naturaleza de las reverberaciones no fue conocida aún, y sus impulsos fueron tratados como reflejos auténticos, se han trazado estructuras del subsuelo que correspondían aproximadamente a las estructuras reales.

### *Difracción*

En la sismología práctica la difracción se llama la irradiación de la onda reflejada hacia la superficie desde alguna irregularidad del contacto entre dos medios de velocidades diferentes. Esta irregularidad puede ser un cambio brusco de facies de las capas, acuñaientos, fallas, etc., o algún obstáculo dentro del medio homogéneo.

La difracción puede ser explicada por medio del principio de Huygens: en la figura 8, *A* es el punto al borde de una falla; cuando la onda incidente llega al punto *A*, éste puede ser considerado como un nuevo origen de perturbaciones, originando toda clase de ondas sísmicas, de las cuales las ondas reflejadas procedentes del punto *A* serán observadas a lo largo del perfil por cierta distancia, dependiente de la cantidad de la energía enviada desde el punto *A*. En el perfil tiempo-distancia la energía observada formará un arco, partiendo del punto *A* y con la pendiente más y más pronunciada a medida que aumente la distancia del punto *A*. Si en lugar de una falla, como la que se presenta en la figura 8, existiera un obstáculo desde el punto *A* hacia la izquierda dentro del medio, la onda difractada rodearía este obstáculo, y sería observada detrás de él aún en caso de que la onda incidente fuera totalmente reflejada de la superficie superior del obstáculo.

En la figura 8 están trazadas las ondas incidentes, reflejadas y difractadas, como también el arco que se observaría en la superficie. Si el punto *A* no fuera el borde de la falla, sino un cuerpo limitado, un foco de perturbación, se formaría también un arco análogo a la izquierda del punto *A* ofreciendo un aspecto de cúpula; migrando, todos los puntos de ambos arcos caerían al punto *A*.

Por lo que se ve, el fenómeno de difracción puede ser de gran valor informativo o un gran estorbo.

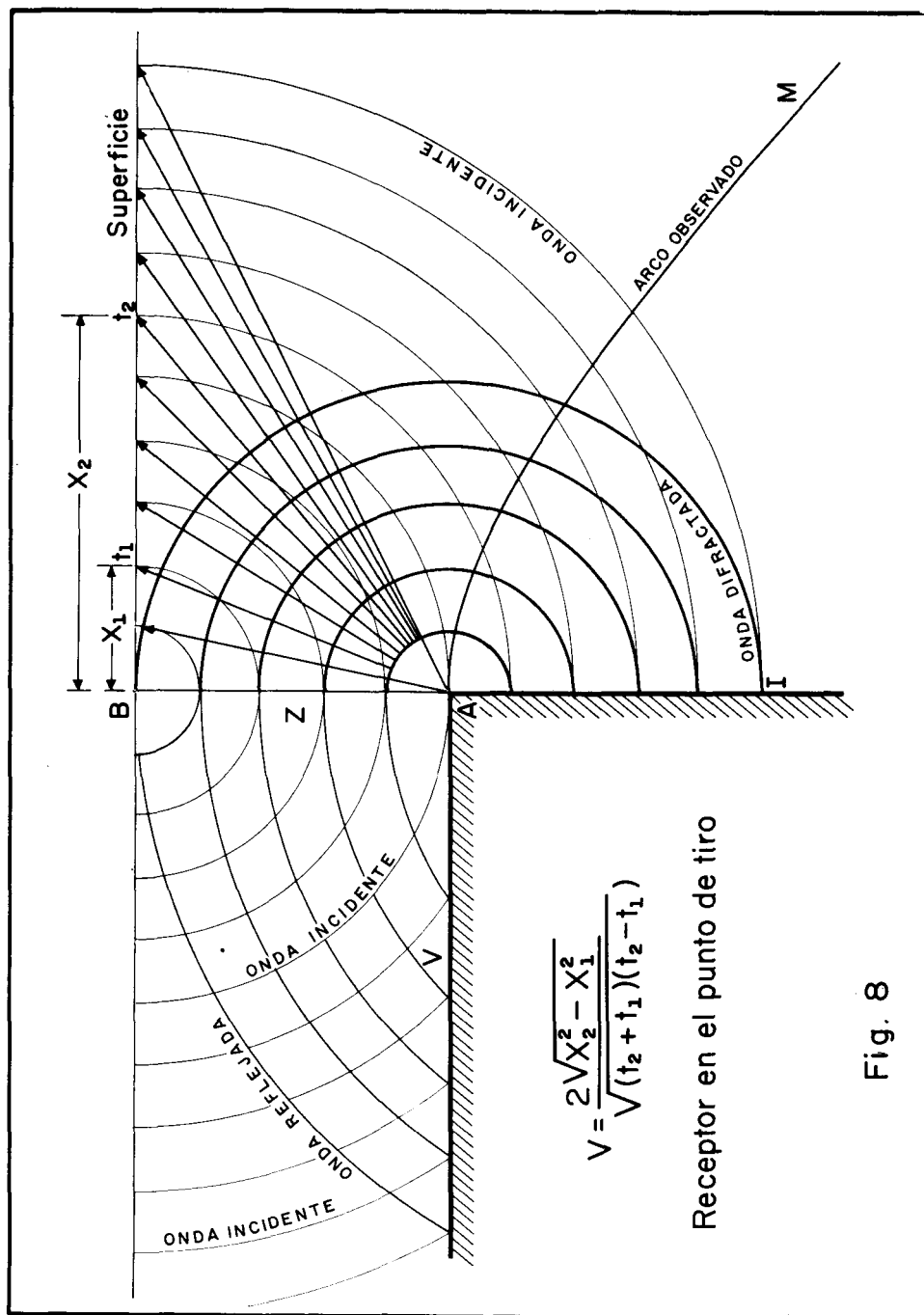


Fig. 8

Si la difracción se produce a causa del cambio brusco estructural en el subsuelo, el lugar donde se produce este cambio puede ser indicado al migrar de la manera usual todos los puntos del arco observado; estos puntos migrados caerán más o menos en el mismo lugar, y de esta manera se podrá localizar la zona de disturbio producido por cambios estructurales. En combinación con otros datos, la difracción en este caso proporcionará una información adicional de gran valor interpretativo.

En cambio, lo que es frecuente en trabajos marinos, alguna irregularidad en el fondo del mar puede dar lugar a una onda difractada de mucha energía que se transmite enteramente en el agua. Puesto que la velocidad del agua (1,440 m/s) es mucho menor que la de capas profundas, el arco difractado puede intervenir con reflejos procedentes del subsuelo. En este caso la difracción pertenece a la clase de ruidos.

La difracción del fondo marino puede reconocerse, al determinar la velocidad que debe dar la velocidad del agua, de la fórmula (cuando el receptor coincide con el punto del tiro):

$$V = \frac{2 \sqrt{x_2^2 - x_1^2}}{\sqrt{(T_2 + T_1)(T_2 - T_1)}}$$

donde  $T_2$  y  $T_1$  son los tiempos observados sobre el arco a las distancias  $x_2$  y  $x_1$  desde el punto más alto del arco.

La figura 9 muestra un arco típico en un prospecto marino. Aplicando la fórmula, se obtiene la velocidad del agua, lo que demuestra que en este caso la difracción se ha producido en el fondo del mar de un punto que puede ser muy lejos lateralmente del perfil de observaciones.

### *Onda Directa*

En ciertas condiciones, algún contacto puede ser un buen conductor de energía refractada, gran parte de la cual puede ser transmitida por este contacto antes de ser reflejada a la superficie. En la gráfica tiempo-distancia o en el perfil de tiempo, esta energía de refracción reflejada aparecerá como una línea recta atravesando el perfil.

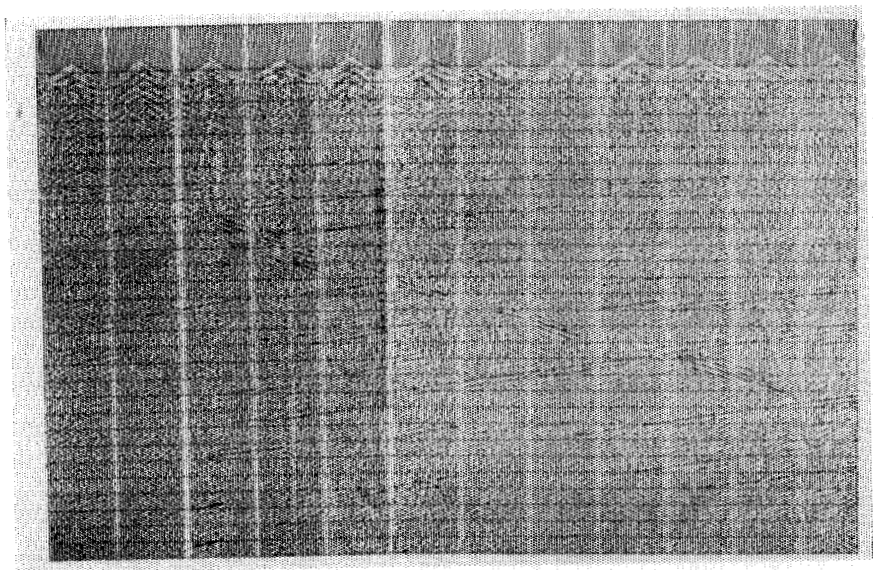


Figura No. 9

Naturalmente cualquier contacto puede ser el transmisor de energía, dando origen a que aparezcan otras líneas rectas a través de los sismogramas.

Puesto que la onda refractada en trabajos de reflexión no proporciona ninguna información útil, y en cambio, al intervenir con los reflejos los distorciona puede considerarse como ruido. La figura No. 10 muestra una onda directa que atraviesa los sismogramas.

### *Filtros*

El empleo inadecuado de filtros puede dar origen a impulsos indeseables que dañarían los reflejos: así sucede, por ejemplo, cuando se usa un filtro de banda muy angosta que produce una "cola" después del reflejo la que puede dañar el reflejo próximo que sigue.

La intensidad de reflexión depende de la relación entre el espesor de la capa reflectora y la longitud de la onda reflejada, la que es inversamente proporcional a la frecuencia. Por consiguiente, variando el filtro, la intensidad de los reflejos puede ser disminuida o intensificada.

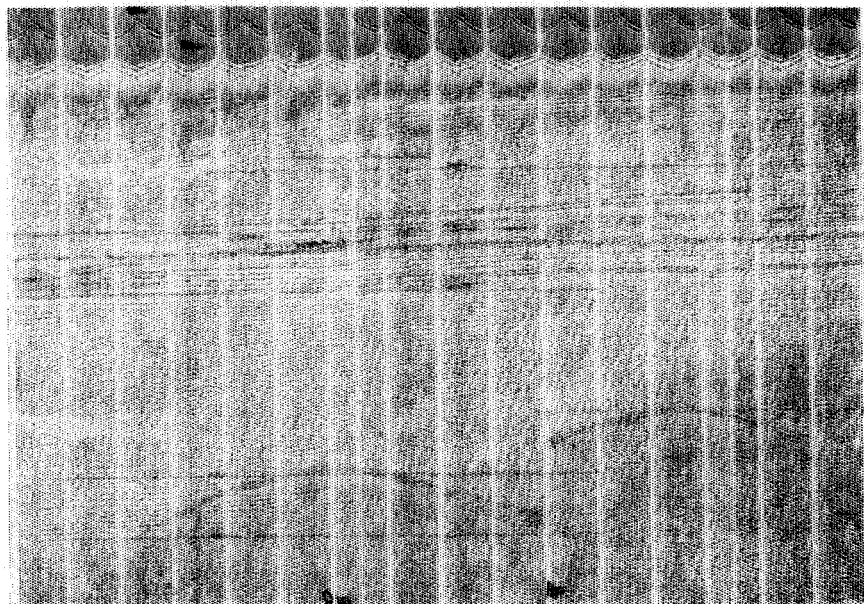


Figura No. 10

Ahora bien, si en el subsuelo existen muchas capas delgadas, el filtro de banda ancha permitirá el registro de los reflejos de estas capas, los que combinándose entre sí complicarían el sismograma y harían difícil la interpretación. En cambio, con el filtro de banda angosta no favorece la aparición de reflejos de capas delgadas y registraría solamente reflejos de las capas más importantes de mayor espesor. En este caso, el sismograma aparecería menos confuso y la correlación entre eventos importantes más segura.

Si los reflejos se observan en gran cantidad de capas delgadas, los impulsos de todos ellos se suman y producen gran complejidad en el sismograma, donde difícilmente se podrían diferenciar capas individuales. Este es precisamente el ruido más importante y el más difícil de eliminar. Además, se entiende que ciertas capas pueden dar lugar a la inversión de fase, debido a la inversión posible de la densidad o velocidad entre las capas, o a causa de reflejos múltiples produciéndose la cancelación mutua de algunos impulsos, mientras que otros se sumarán. Las capas de mayor espesor y de la superficie reflectora buena generalmente se destacarían a través de los impulsos de múltiples capas secundarias, lo que hace efectivo el método sísmico de reflexión.

Por consiguiente, los reflejos indeseables provenientes de muchas capas delgadas, pueden considerarse aún siendo reflejos, como ruido que oscurecen los reflejos principales.

Es posible que estos reflejos individuales, sumándose y cancelándose mutuamente, constituyen el principal ruido que se observa siempre en los sismogramas. De aquí la importancia del filtro de no solamente actuar sobre las frecuencias sino también sobre las amplitudes de los impulsos indeseables, reduciendo sus amplitudes al mínimo. Desde luego, las mismas consideraciones se refieren también a la refracción, cuando se trata de reducir al mínimo la cantidad de refractores, registrando solamente los principales de mayor espesor.

### *Onda del Sonido*

Es la onda que viaja por el aire y es producida por tiros muy someros o tiros en el aire. Si esta onda aparece en la región de reflejos, éstos pueden ser dañados de tal manera que su reconocimiento sería difícil o imposible.

### *Doble Golpe*

En trabajos del mar es frecuente la aparición de uno o varios golpes, originados por la pulsación de la esfera gaseosa como producto de la explosión. La intensidad de golpes secundarios es casi la misma que la de la explosión, por lo que todos los eventos se repiten en un tiempo de intervalo fijo. Es evidente que un sismograma donde aparecen varios golpes es prácticamente inservible.

### *Microsismos*

Estos se llaman los movimientos desordenados del suelo, independientemente de la explosión, producidos por el viento, la lluvia, la marea o por las vibraciones de máquinas, paso de vehículos, etc. Por lo regular, estos movimientos son de alta frecuencia.

Todos estos ruidos, combinados o separadamente afectan en mayor o menor grado las ondas útiles, las debilitan, modifican o cancelan. Algunos de estos ruidos pueden ser tomados erróneamente por ondas útiles haciendo que la interpretación sea incorrecta.

La gran tarea de la sismología práctica consiste en eliminar estos ruidos o disminuir hasta donde sea posible su influencia, después de reconocer su naturaleza.

## B I B L I O G R A F I A

B. GALITZIN.—Conferencias Sobre Sismología.

MILTON B. DOBRIN.—Introducción a la Prospección Geofísica.

BENJAMIN F. HOWELL, Jr.—Introducción a la Geofísica.

V. A. OLHOVICH.—Curso de Sismología Aplicada.

E. I. GALPERIN.—Método Azimutal de Observaciones Sísmicas (en ruso).

I. I. GURVICH.—Exploración Sísmica (en ruso).

F. A. van MELLE and K. R. WEATHERBURN.—Ghost Reflections Caused by Energy Initially Reflected Above the Level of the Shot (Geophysics, Vol. XVIII, No. 4).

JOHN SLOAT.—Identification of Echo Reflections (Geophysics, Vol. XIII, No. 1).

K. E. BURG, Maurice Ewing, Frank Press, E. J. Stulken.—A Seismic Wave Guide Phenomenon (Geophysics, Vol. XVI, No. 4).

G. C. WERTH, D. T. Liu, A. W. Tropey.—Offshore Singing Field Experiments and Theoretical Interpretation (Geophysics Vol. XXIV, No. 2).

MILO M. BACKUS.—Water Reverberations.—Their Nature and Elimination.—Geophysics, Vol. XXIV, No. 2.

L. A. RYABINKIN y otros.—Método Sísmico Direccional (en ruso).

## · TECNICAS DE REGISTRO SISMOLOGICO \*

Por el Ing. *Antonio C. Limón* \*\*

### RESUMEN:

Para obtener un registro sismográfico de campo, óptimo, es indispensable conocer por una parte la respuesta del terreno a la acción de las cargas y por otra operar el sismógrafo dentro de las mejores condiciones.

### OPERACION DE CAMPO

Para conocer las condiciones sismológicas de un área por trabajar es indispensable efectuar las siguientes pruebas, para fijar posteriormente los ajustes instrumentales apropiados.

- 1.—Determinación de la carga y la profundidad.
- 2.—Determinación del nivel de ruido ambiente.
- 3.—Determinación de la respuesta del Terreno.
- 4.—Perfiles de Ruido.

#### 1.—*Determinación de Carga y Profundidad Apropriadas.*

##### Procedimiento:

- a).—Tómese un registro de velocidades superficiales en la forma usual.  
y determínese el espesor de la capa de intemperismo.

---

\* Presentado en la Convención Geofísica en Tampico, en Noviembre 21-24, 1963.

\*\* Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.



b).—Para iniciar las pruebas puede tomarse una profundidad de pozo que sea ligeramente mayor que el espesor de la capa de intemperismo. Aunque no siempre es recomendable tirar en la base de dicha capa, debido a que la inmediata inferior puede estar formada por materiales poco compactos, que absorben gran cantidad de energía. Lo que obliga a perforar a mayores profundidades. Como un primer intento tómese la base de intemperismo como profundidad de tiro.

c).—Inicialmente se usará un tendido bilateral de longitud de 140 metros entre los puntos de tiro (10 Mts. entre estacas y 20 Mts. del punto de tiro al primer detector), y con un solo sismodetector por traza. Este tipo de tendido es recomendable en previsión de que los echados de las capas reflectoras, sean fuertes o la zona sea fracturada. En estas condiciones de tiro, podrá observarse con mayor facilidad los alineamientos que se presenten.

d).—Los ajustes instrumentales deberán ser los siguientes:

Canancia: 50%

Amplitud: 50%

C. A. G.: Lento.

Filtros:  $1/20 - 1/90$

Supresión: Ajustada al umbral de ruido.

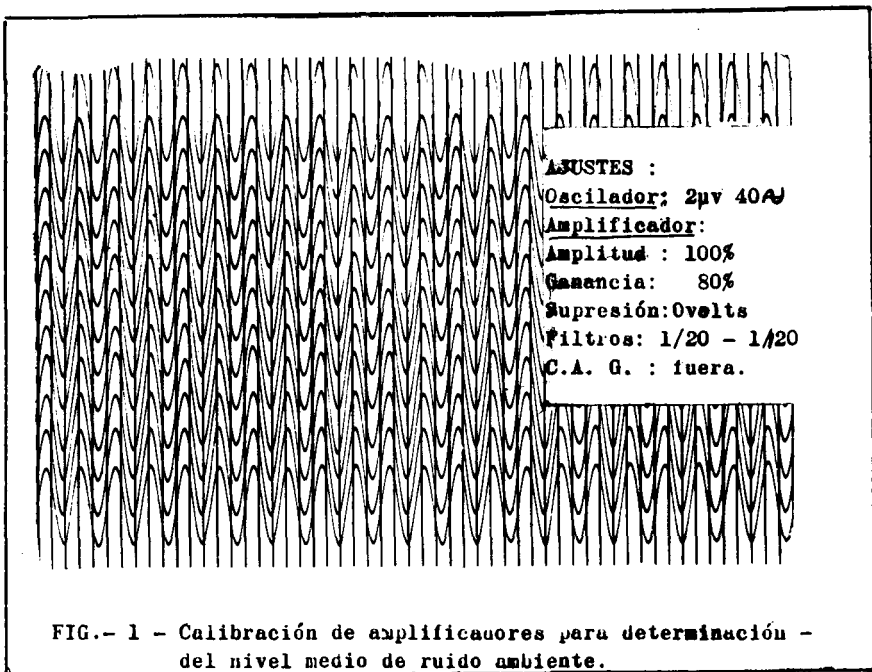
e).—Tómese el registro con una carga de 5 libras, y obsérvese si hay presencia de reflejos, y la máxima profundidad a la que se presentan. En las mismas condiciones se tomarán registros con cargas de: 1, 10, 20, 40 y 100 libras, todas a la misma profundidad (base de intemperismo), la comparación de los registros indicará la carga óptima. Si ésta resulta ser demasiado grande (del orden de 50 ó 100 libras), es muy probable que las condiciones del pozo sean poco favorables, principalmente en lo referente a profundidad. En este caso deberá repetirse esta prueba en esa misma y en otras localidades, con otros pozos y a diferentes profundidades.

f).—Determinándose la carga y las profundidades apropiadas, puede procederse a probar con tendidos de mayor longitud.

2.—*Medición del Nivel Medio de Ruido Ambiente en el Area de Trabajo con tendidos normales.*

Procedimiento:

- a).—Todos los canales deberán calibrarse con una señal de 2 microvolts, y con una amplitud de aproximadamente 2 cms., como se indica en la figura No. 1; en esta forma la sensibilidad de cada traza, será del orden de 1 microvolt por centímetro.
- b).—Teniendo calibrados los amplificadores y fijados los ajustes anteriores, se tomará un registro del ruido ambiente, con un tendido normal. En el registro podrá determinarse, de acuerdo con la calibración del nivel de ruido de cada traza.
- c).—Esta prueba deberá efectuarse en diversos lugares del área.



### 3.—Determinación de la Respuesta del Terreno.

El objeto de esta prueba es conocer la respuesta energética del terreno o en otras palabras, determinar la cantidad de señal entregada por los sismodetectores desde el instante de tiro, hasta 5 ó 6 segundos después.

Para esto es necesario calibrar previamente los canales sismológicos en la forma que a continuación se describe:

1o.—Ajustense los amplificadores en la forma siguiente:

Amplitud: 100%

C. A. G.: Fuera (out)

Filtros: 1/20 — 1/120

Supresión: 0

Aplíquese una señal de 40 cps., proveniente de un oscilador con magnitudes desde 1  $\mu\text{v}$ ., hasta 500 mv., según la TABLA No. 1 y ajustando con el control de ganancia la deflexión del galvanómetro a un nivel constante para todos los casos (aproximadamente de 1").

En estas condiciones se tomará un registro para calibrar la sensibilidad de cada traza, como lo muestra la figura No. 2.

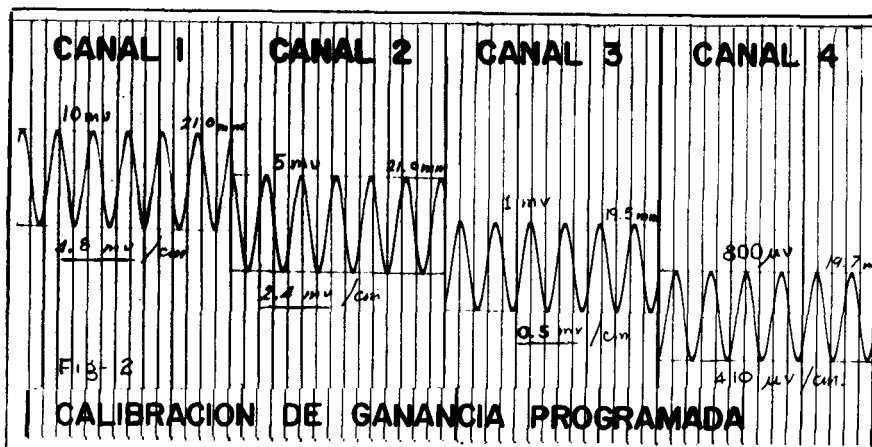


TABLA 1  
CALIBRACION DE CANALES

Canal No.	Señal	Posición aproximada del Control de Ganancia %
1	500 mv.	4
2	300 „	6
3	100 „	8
4	50 „	10
5	10 „	12
6	5 „	14
7	1 „	16
8	800 $\mu$ v	17
9	600 „	18
10	400 „	19
11	200 „	20
12	100 „	23
13	80 „	26
14	60 „	29
15	40 „	31
16	20 „	33
17	10 „	36
18	8 „	38
19	6 „	41
20	4 „	43
21	2 „	45
22	1 „	48

2o.—Háganse disparos con cargas, según el porciento indicado, de carga típica que se usará en el área:

1 — 200%

2 — 100%

3 — 50%

4 — 30%

5 — 10%

6 — 1%

3o.—En cada sismograma determínese el tiempo por traza en que la amplitud media tenga 1".

4o.—Constrúyase una gráfica de "TIEMPO DEL SISMOGRAMA" vs. "VOLTAJE DE DETECTORES" (figura No. 3).

5o.—Esta operación debe efectuarse, con un tendido normal, empleando las cubiertas de detectores múltiples usuales. Los amplificadores deberán estar conectados en paralelo.

6o.—Constrúyase la gráfica correspondiente y dedúzcase:

a).—Variación del nivel de ruido.

b).—Variación de los niveles de refracción.

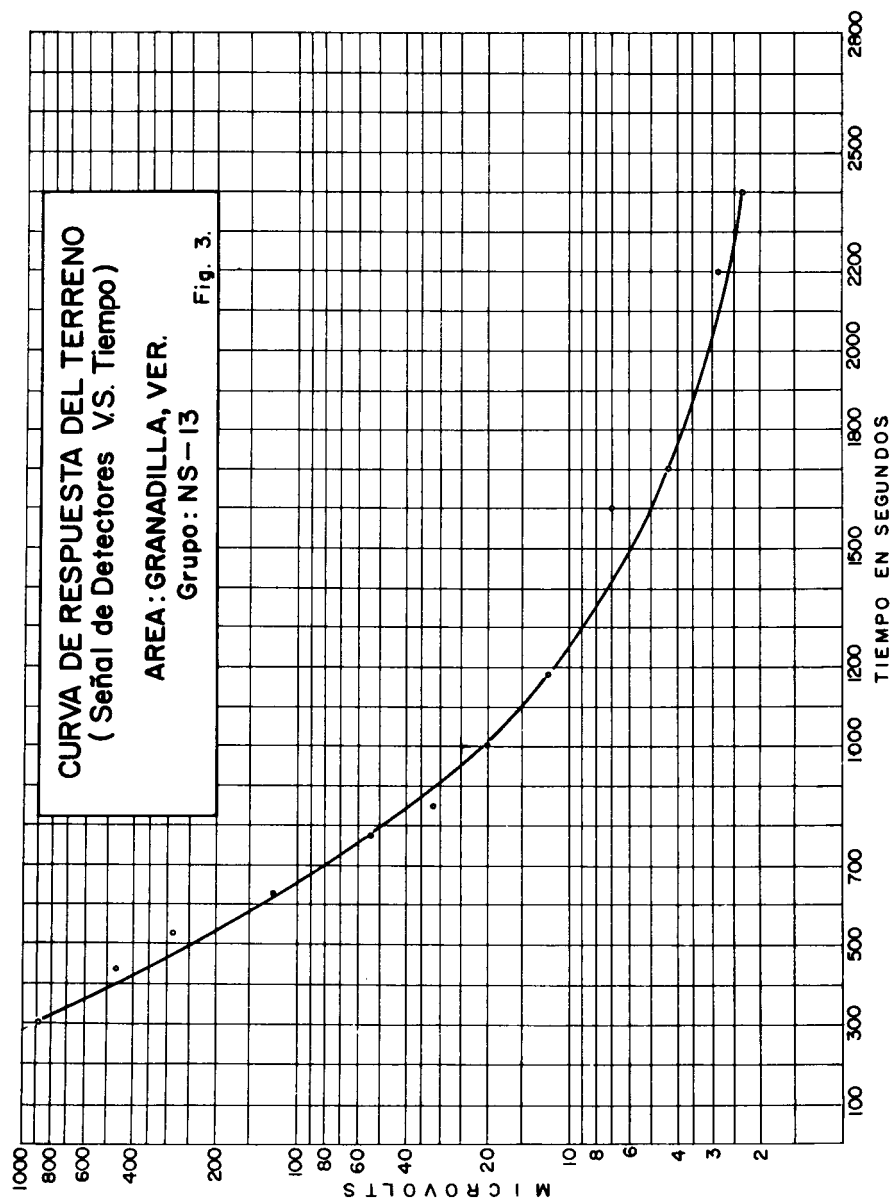
En la figura No. 3 se muestra un ejemplo de respuesta de terreno, efectuado en el área denominada de Granadilla, Ver., por el grupo sismológico NS - 3.

Determinadas la carga y profundidades de pozo apropiadas para el área, así como la respuesta del terreno, debe procederse a efectuar perfiles de ruido a fin de conocer los siguientes aspectos:

a).—Espectro y magnitud de ruido coherente.

b).—Espectro y magnitud de ruido fortuito.

c).—Espectros de frecuencia de reflexión.



Con estos datos se determina la longitud de las cubiertas, el número de sismodetectores por traza y el paso de banda adecuado para el área en que se trabaje.

Cuando estas pruebas han sido efectuadas, quedan ya determinadas: la carga, la profundidad óptima de tiro, la longitud del tendido, y las cubiertas de sismodetectores múltiples.

## OPERACION DEL SISMOGRAFO

Los ajustes que intervienen en la operación de un sismógrafo son los siguientes:

Filtrado.

Control automático de Ganancia.

Amplitud.

Ganancia y

Supresión.

Cuyas funciones el operador necesita conocer ampliamente para poder operar eficientemente el equipo.

El objeto principal es conservar dentro de lo posible las características fundamentales de las señales de reflexión, por lo cual se requiere operar dentro del rango de *mínima distorsión y mínimo ruido instrumental*. Podemos fijar las siguientes normas para la operación del sismógrafo:

- a).—El máximo nivel de ruido instrumental deberá ser del orden de 0.2 microvolts.
- b).—La máxima distorsión permisible deberá ser de 1%.
- c).—El control de amplitud debe quedar siempre muy cerca de su máximo y nunca debe ser menos del 70%.
- d).—La tolerancia aceptable en defasamiento entre canales es de  $\pm 1$  ms.
- e).—La precisión del sistema de tiempo debe ser de 1/5000.

Para lograr estas condiciones es necesario efectuar las siguientes pruebas instrumentales:

## PROGRAMA DE PRUEBAS

a).—Las pruebas preliminares son las de rutina:

Prueba de amplificadores en paralelo con señal de oscilador.

b).—El Sistema de Tiempo, se comprobará con la estación “WWV” de Washington.

Con estas pruebas se determina la uniformidad de respuesta en amplitud y en fase de todos los amplificadores.

Para fijar los ajustes del sismógrafo es necesario determinar:

- 1.—El nivel de ruido de los amplificadores.
- 2.—El porcentaje de ganancia apropiado.
- 3.—El rango de supresión adecuado para el área.
- 4.—La velocidad del control automático de ganancia. .

### 1.—*Determinación del Ruido de los Amplificadores.*

E j e m p l o :

- a).—Se ajustaron los amplificadores de manera que con una señal del oscilador de 1 microvolt, la amplitud de las trazas fue del orden de 13 mm. (figura No. 4).
- b).—Sin variar las condiciones instrumentales, se tomó un registro sin señal del oscilador (figura No. 5).
- c).—El nivel de ruido equivalente de un amplificador es:

$$\frac{\text{Amplitud del ruido (mm)}}{\text{Amplitud de señal de } 1 \mu\text{v (mm.)}} = N \text{ Microvolts}$$

- d).—Resultados obtenidos en los doce amplificadores usados (del 13 al 24).



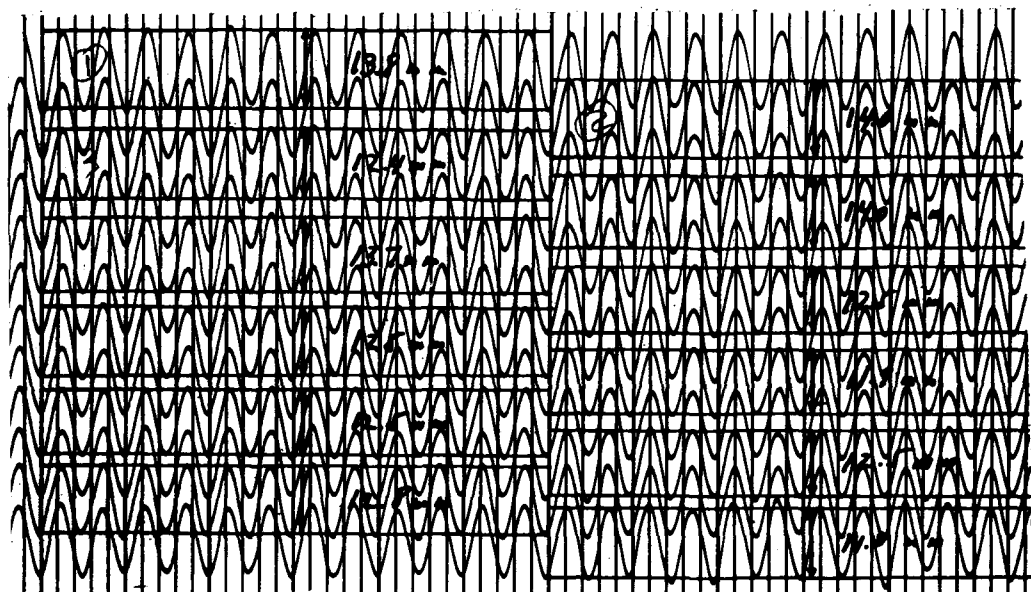


Figura 4. (Señal testigo para calibración de amplificadores (con señal de 1 microvolt)).

Ajustes: Ganancia: 50 %

Amplitud: 70 %.

C.A.G.: Fuera.

Filtros: 1/20 - 1/120.

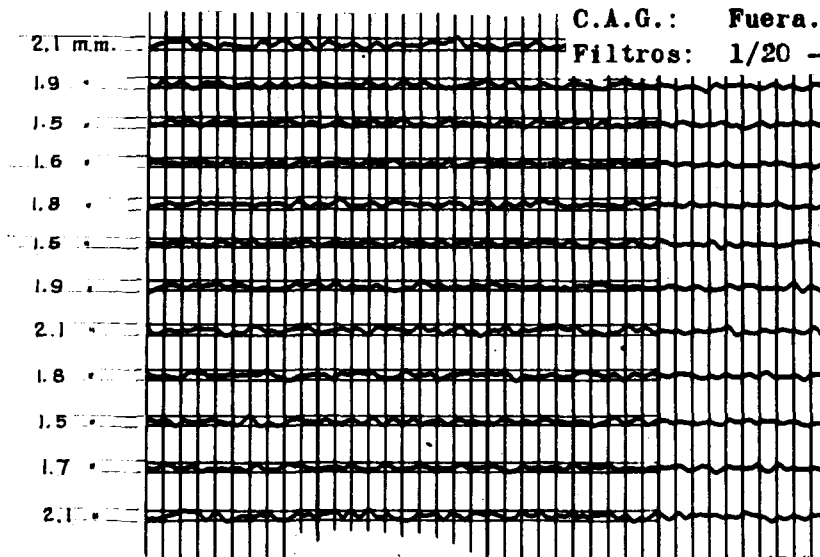


Fig. 5. Ruido de Amplificadores.

- (13)  $2.1/13.8 = 0.152$  Microvolts
- (14)  $1.7/14.0 = 0.121$  „
- (15)  $1.5/12.4 = 0.121$  „
- (16)  $1.8/14.0 = 0.128$  „
- (17)  $2.1/13.7 = 0.121$  „
- (18)  $1.9/12.5 = 0.152$  „
- (19)  $1.5/12.5 = 0.120$  „
- (20)  $1.8/11.9 = 0.151$  „
- (21)  $1.6/12.5 = 0.128$  „
- (22)  $1.4/12.5 = 0.120$  „
- (23)  $1.9/12.8 = 0.148$  „

Estos valores son inferiores al valor permitido de  $0.2 \mu v$ .

## 2.—*Determinación del Porcentaje de Ganancia apropiado.*

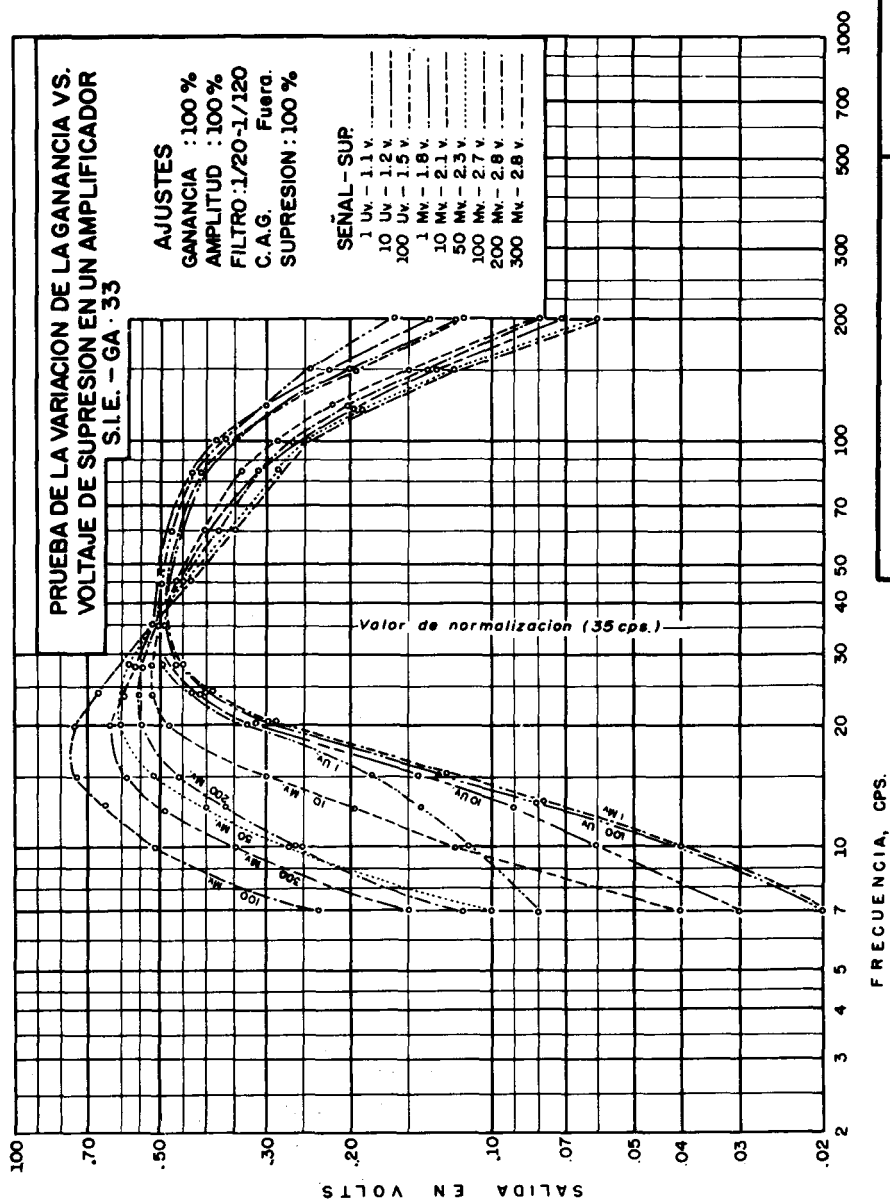
Para esta determinación es necesario tomar en cuenta los siguientes factores:

- a).—Nivel de señal de entrada.
- b).—Distorsión máxima permisible.

Los niveles de señal de entrada, como se vió anteriormente pueden variar desde 100 milivolts en la primera parte del registro, hasta 1 microvolt, para las señales muy débiles.

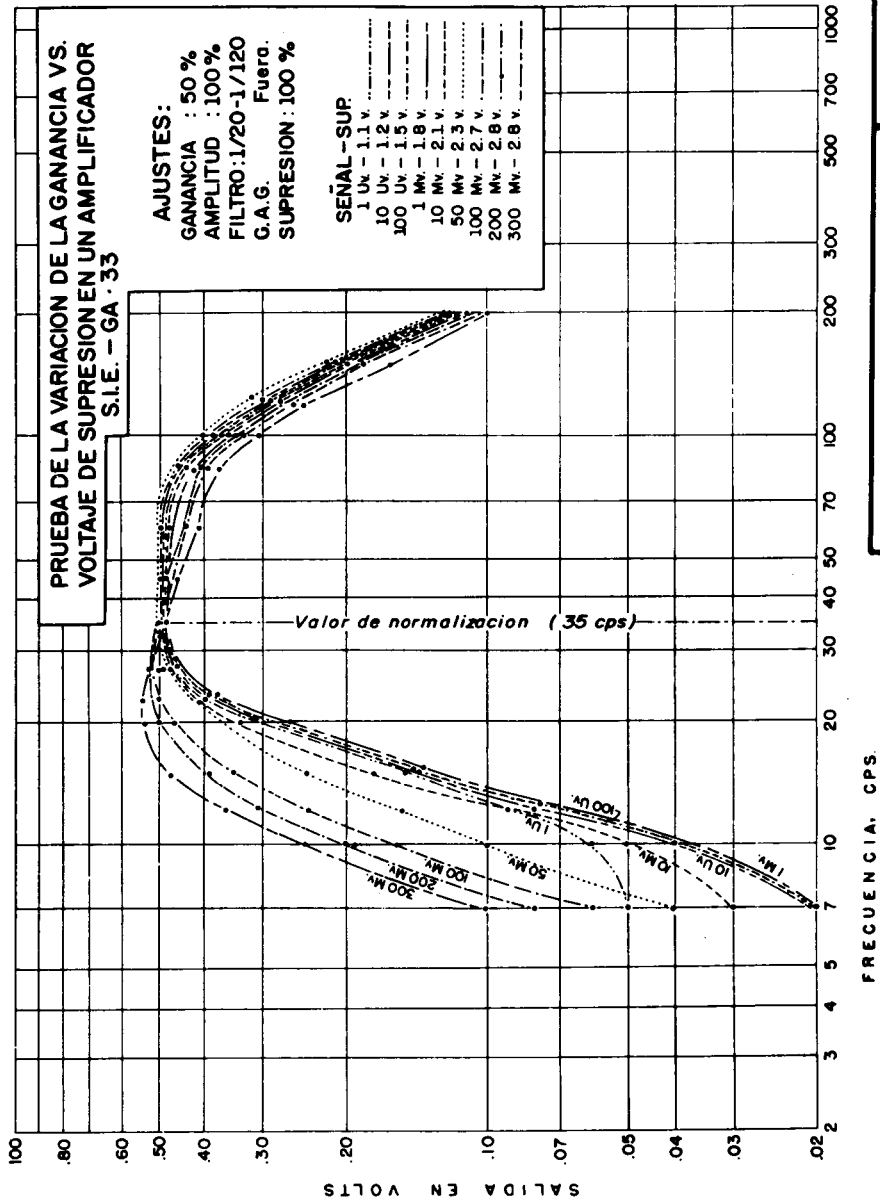
Es necesario por consiguiente conocer el comportamiento del amplificador a ese rango de voltajes de señal.

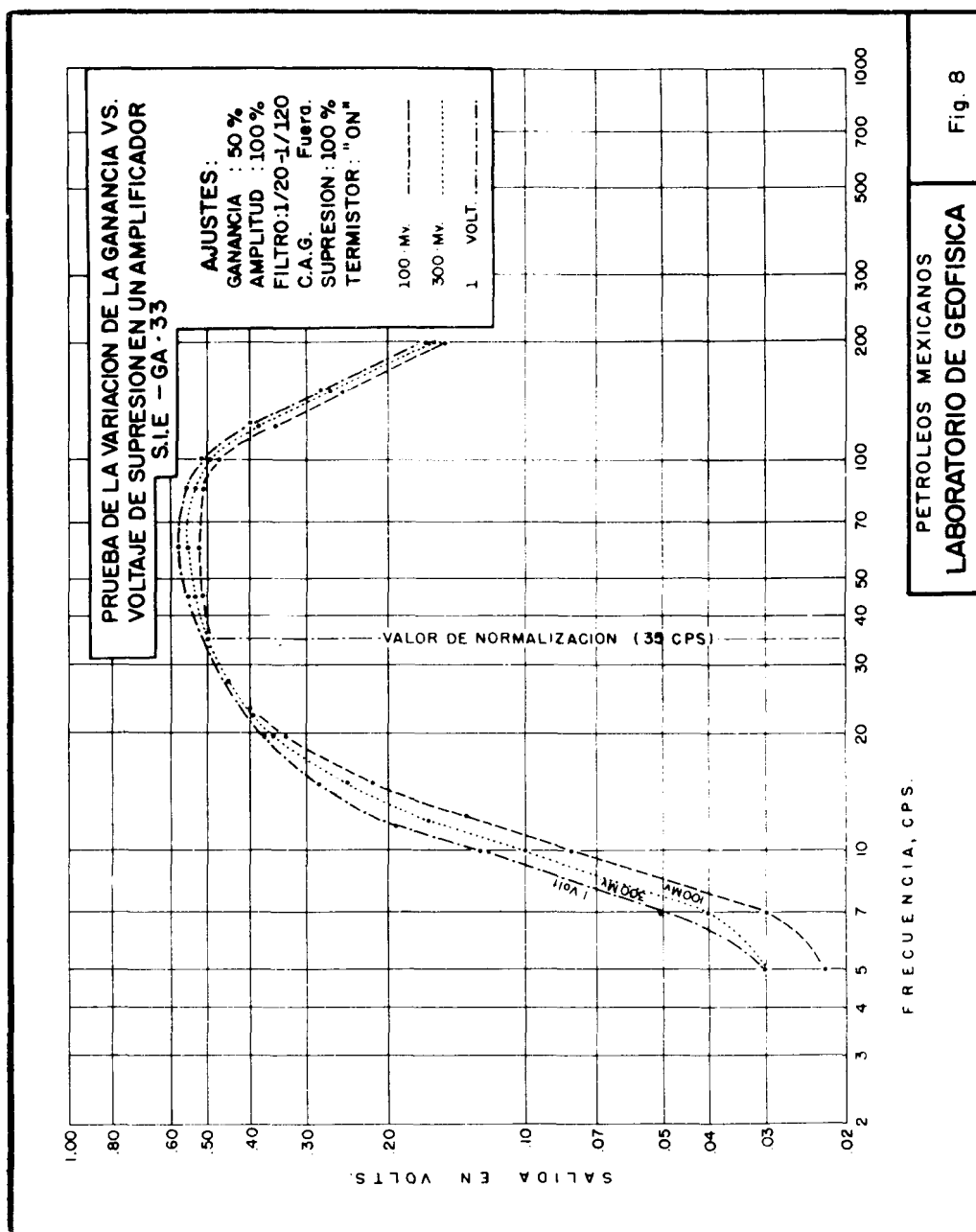
Inmediatamente después del instante de tiro, la energía recibida es intensa y se controla mediante circuitos de supresión para evitar bloqueos o alta distorsión en los amplificadores. En las figuras Nos. 6 y 7, se muestra la respuesta de un amplificador, bajo la acción del supresor a diferentes niveles de señal de entrada y diferentes posiciones del control de ganancia; y en la figura No. 8, se muestra la variación de la ganancia VS voltaje de supresión incluyendo la supresión térmica.



PETROLEOS MEXICANOS  
 LABORATORIO DE GEOFISICA

Fig. 6





Estas gráficas fueron obtenidas en pruebas de laboratorio en un Equipo SIE GA -33.

Las conclusiones que podemos obtener de estas gráficas son las siguientes:

- a).—Cuando las señales de entrada exceden de 100 milivolts, existe la tendencia a una mayor amplificación a las bajas frecuencias.

Esta condición puede modificarse reduciendo la ganancia. Con un 50% de ganancia, la amplificación se uniformiza dentro del paso de banda fijado, con señales de entrada hasta de 50 MV.

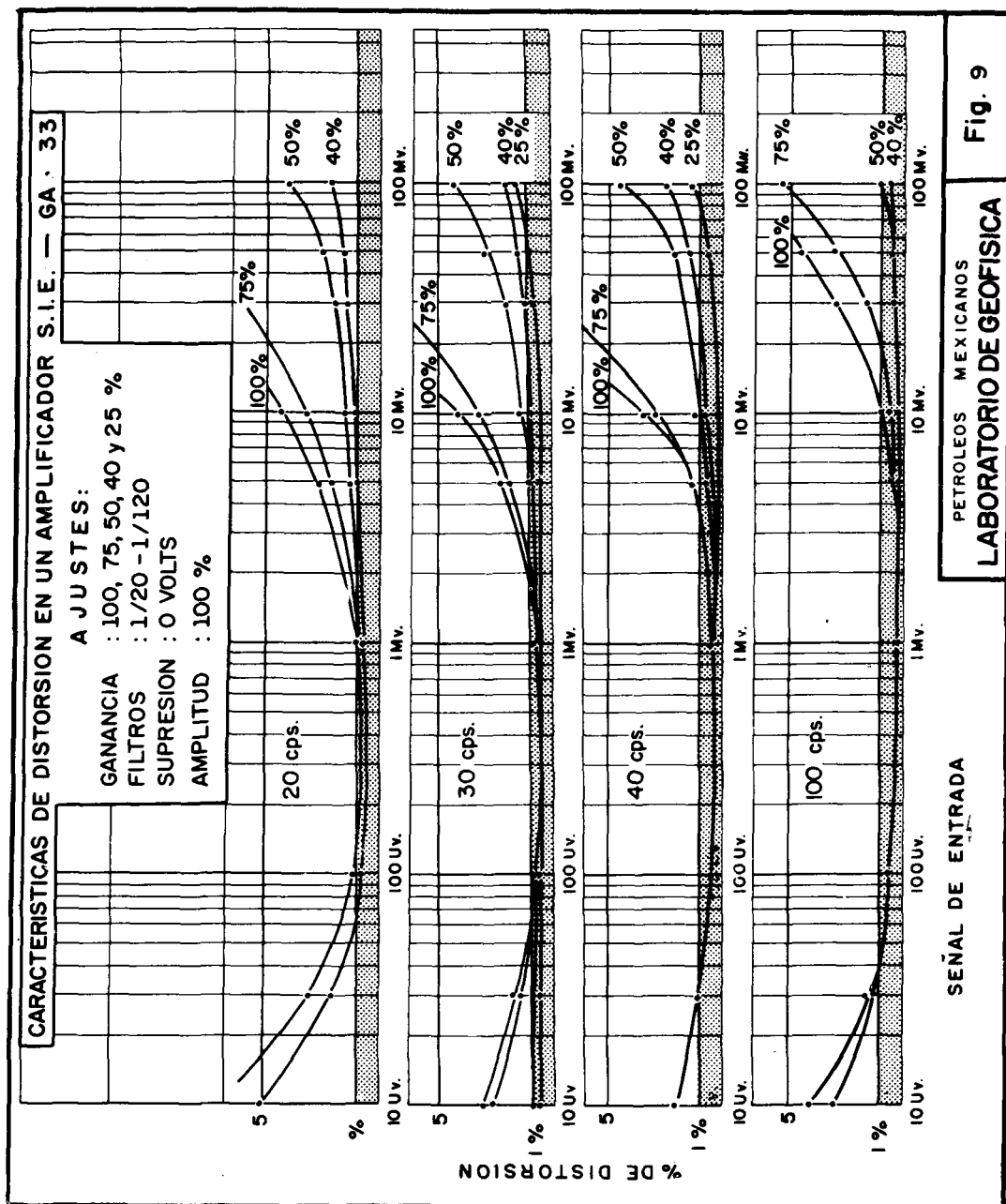
- b).—Cuando las señales sean superiores de 50 MV, deberá usarse el “Thermistor”, con 100% de ganancia hasta 100 MV y con 50% de ganancia hasta 300 MV.

#### *Ajustes recomendables del Control de Ganancia*

Señales de Entrada	Ganancia Máx.	Thermistor
de 1 UV a 1 MV	100%	OFF
de 1 MV a 50 MV	50%	OFF
de 1 MV a 100 MV	100%	ON
de 100 MV a 500 MV	50%	ON

#### *D i s t o r s i ó n*

Las pruebas de distorsión de los amplificadores no es factible realizarlas en el campo, ya que se requieren instrumentos especiales para ello. En la figura No. 9, se muestra una gráfica típica de distorsión en un amplificador SIE GA -33, obtenida en el Laboratorio de Geofísica; en esta gráfica se indica la respuesta del equipo a diferentes frecuencias, niveles de señal y posiciones del control de ganancia.



Las conclusiones que se obtienen en esta prueba son:

- 1.—La mínima distorsión del amplificador, ocurre para señales comprendidas entre 100  $\mu$ v y 1 mv.
- 2.—La distorsión aumenta rápidamente para señales de entrada superiores a 10 mv.
- 3.—La distorsión es menor para las frecuencias altas (100 cps), que para las frecuencias bajas (10 cps).
- 4.—La distorsión disminuye al reducir la ganancia del amplificador.

De las pruebas anteriores se deduce que el control de ganancia en la mayoría de los casos no debe exceder del 60% y que el uso de la supresión térmica, es en general recomendable sobre todo en aquellas áreas en que los primeros ímpetus son de gran magnitud y muy prolongados.

Para obtener una presentación conveniente del sismógrafo, puede ajustarse el control de amplitud aún al máximo de su recorrido, sin que la fidelidad de la señal se altere.

Cuando la sensibilidad del terreno sea muy pobre, la solución apropiada será emplear cargas adecuadas, o técnicas de tiro tendientes a mejorar la información, por ejemplo sismodetectores o pozos múltiples, etc., etc.

### *3.—Determinación del Rango de Supresión Adecuado para el Area.*

Al determinar la sensibilidad del terreno (figura No. 3), es fácil observar que se requiere una mayor atenuación en la parte inicial del registro y esta atenuación debe decaer con el tiempo. La velocidad de caída del voltaje de supresión puede seleccionarse en el instrumento tal como lo muestra la figura No. 10.

### *4.—Operación del Control Automático de Ganancia.*

En la figura No. 11, se muestra el diagrama en blocks de un amplificador sismológico en el que se indican las partes del circuito en donde opera el Control Automático de Ganancia.



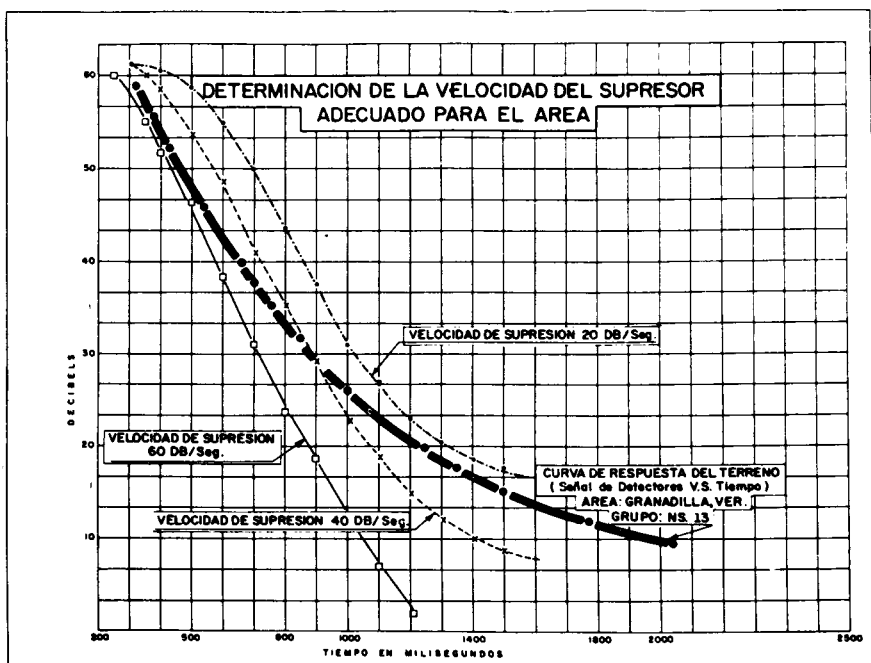


Figura No. 10

Efecto de la Supresión en la Ganancia de un Amplificador S I E.

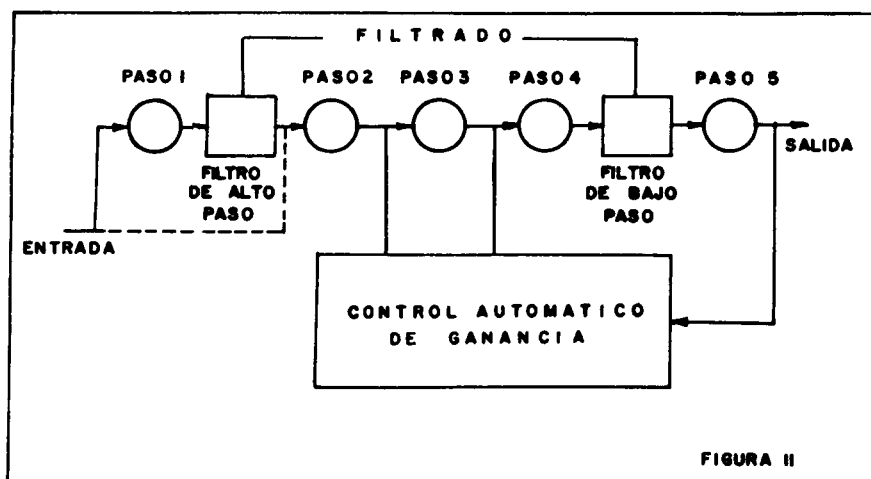
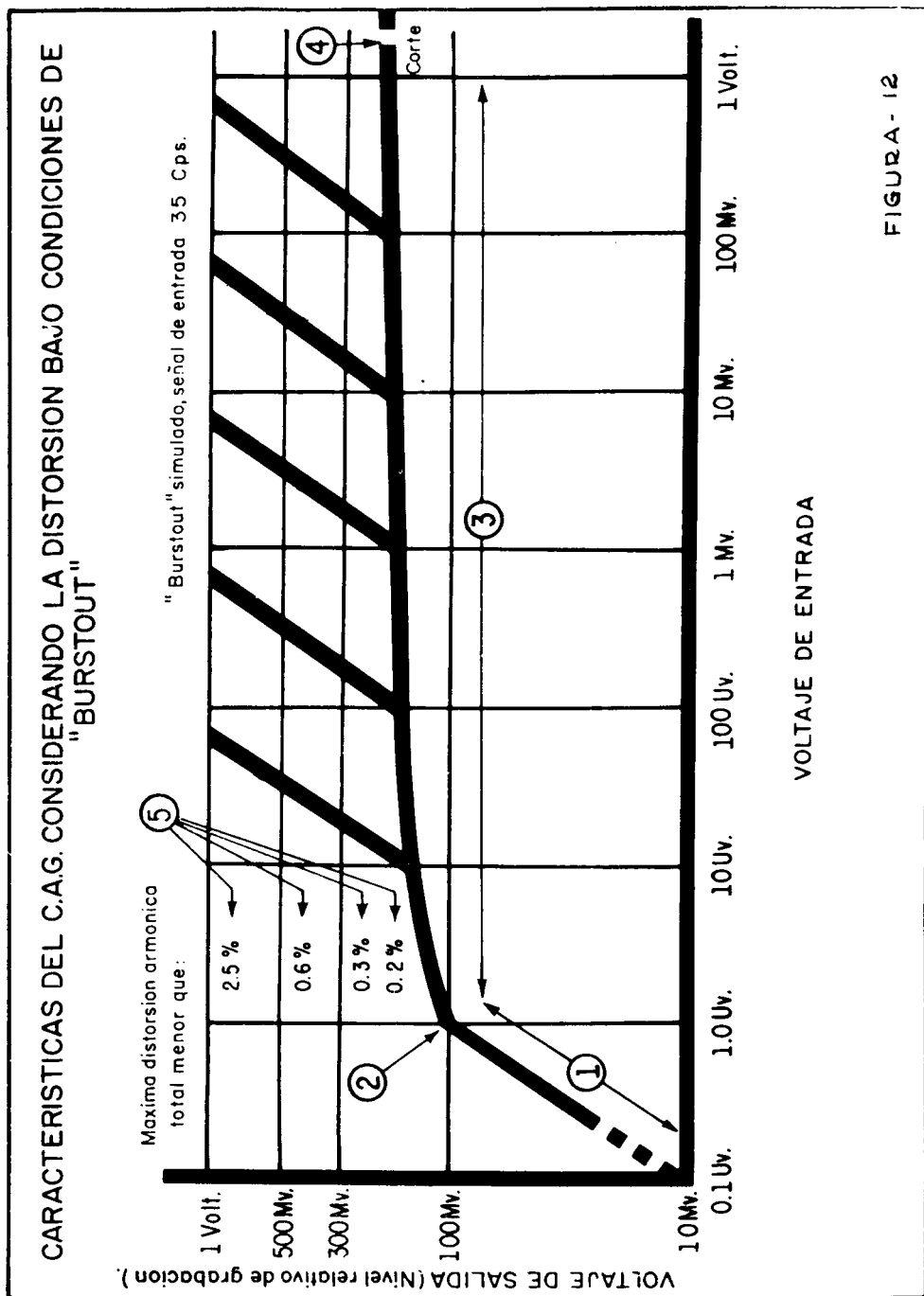
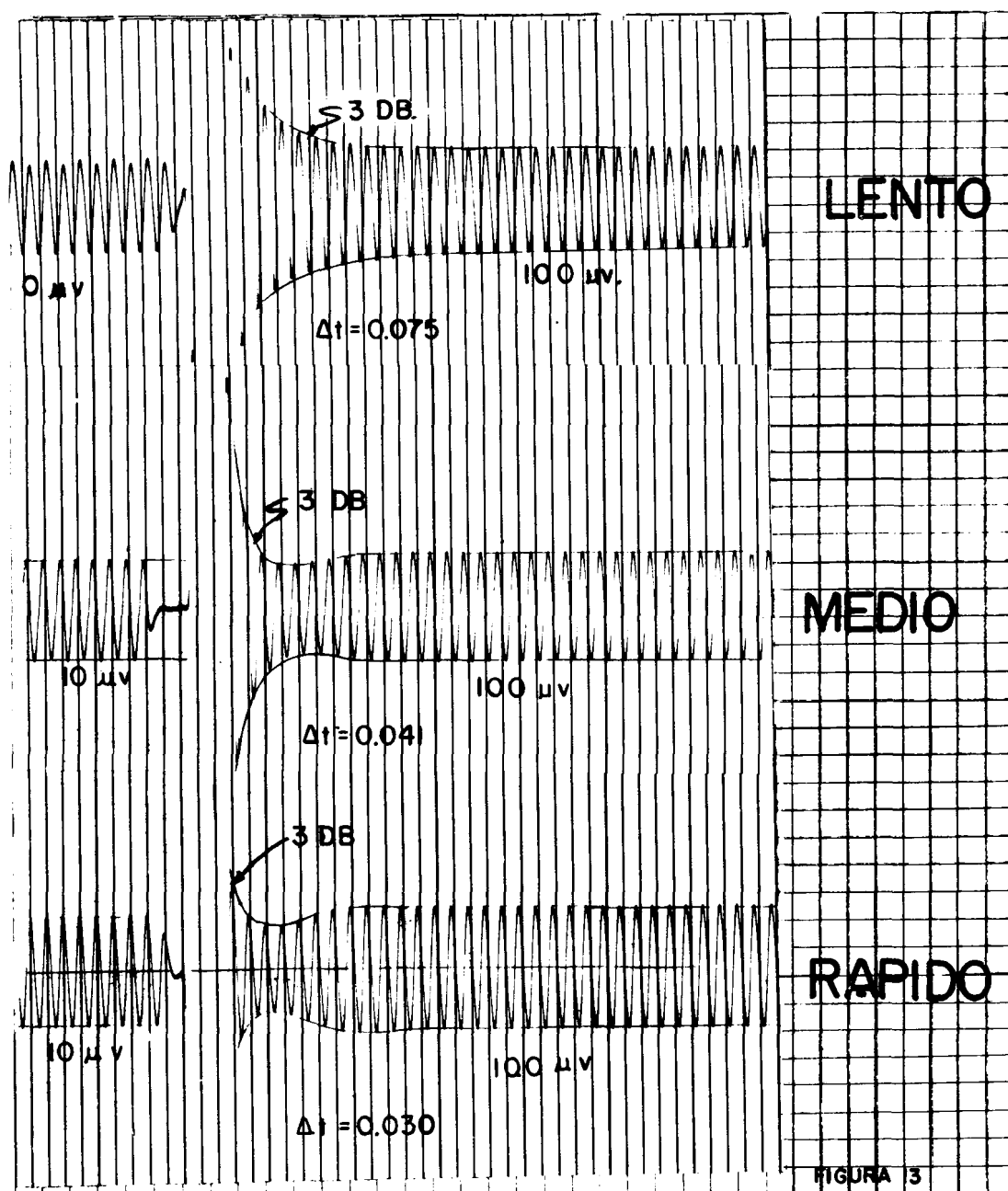


FIGURA II





El objeto del C.A.G. es el de normalizar la respuesta del amplificador para los diferentes niveles de señal, que generalmente varían entre  $1 \mu v$  hasta más de 100 mv. En la figura No. 12, se ilustra la respuesta del C.A.G. para ese rango de voltajes. Los números indicados en la gráfica representan las siguientes condiciones:

- (1)—Región en la que no opera el C.A.G. debido a la pequeña magnitud de las señales ( $0.1 \mu v$  a  $1 \mu v$ ).
- (2)—Punto en donde empieza a operar el C.A.G.
- (3)—Región de Operación del C.A.G.
- (4)—El amplificador queda fuera de control debido a la fuerte intensidad de las señales.
- (5)—Distorsión de la señal para incrementos instantáneos.

En la mayoría de los equipos sismológicos se dispone de diferentes velocidades de operación del C.A.G. En la figura No. 13 se ilustra el efecto de las diferentes velocidades para un incremento de señal de  $+ 20$  D B.

Una de las formas de determinación de la velocidad del C.A.G. se muestra en las figuras Nos. 14 y 15 en las que se puede apreciar la respuesta

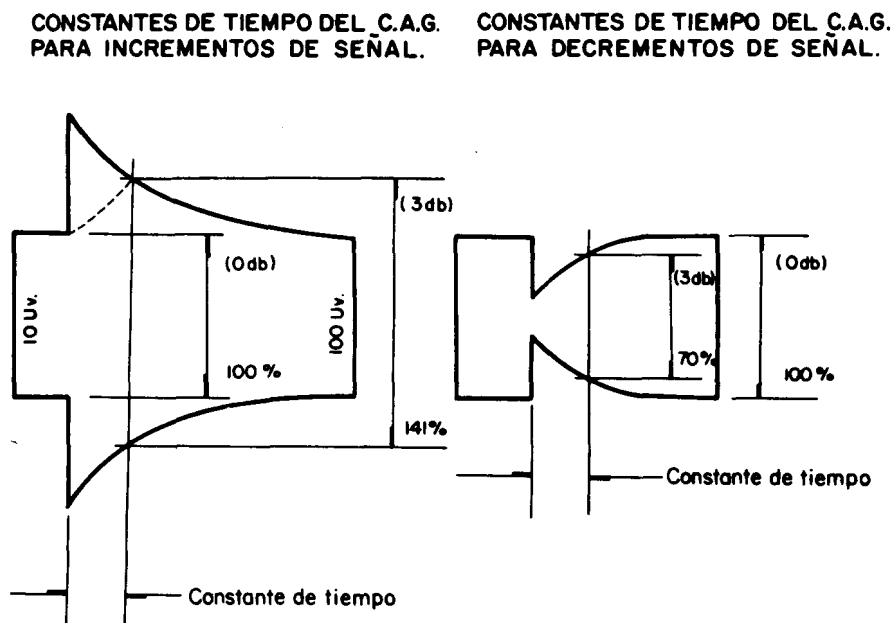
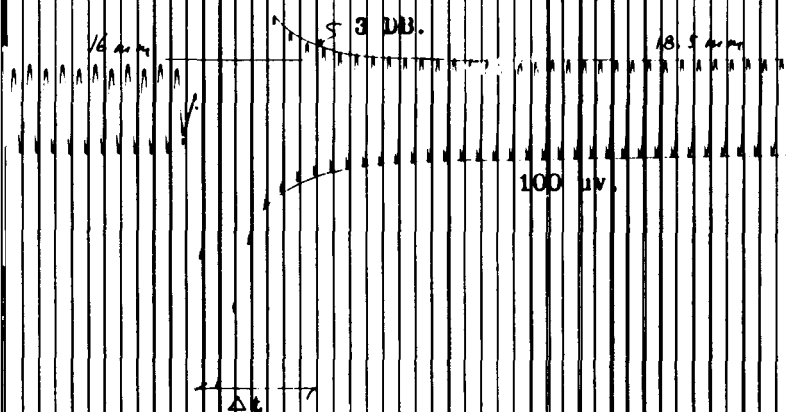


Figura No. 14 — Determinación de la Velocidad del C.A.G.

FRECUENCIA : 100 cps.



$\Delta t = 0.075 \text{ seg.}$

$V = 40 \text{ DB/seg.}$

$$V : V = \frac{3 \text{ DB.}}{\Delta t}$$

FIGURA - 15

LA VELOCIDAD DE OPERACION DEL C.A.G. EN UN

TIPO S.I.E. GA-33

amplificación 100%  
 filtro 1/20 - 1/120  
 presión 0  
 A. G. Lento.

de un amplificador con un C.A.G. lento a un cambio de señal de  $+ 20$  D. B. El tiempo de recuperación o normalización es de 0.075 seg. y en función de éste puede calcularse la velocidad de operación del C.A.G. Este tiempo se mide desde el instante en que es aplicado el incremento de señal hasta que éste adquiere un valor de 1.41 veces la amplitud media normal ( $+ 3$  D. B.) para la compresión. Para la expansión se toma como límite de tiempo el instante en que la señal toma un valor correspondiente a 0.707 de la amplitud media ( $- 3$  D. B.).

Una prueba de laboratorio, como la ilustrada en la figura 16, nos muestra el efecto de las diferentes velocidades del C.A.G. sobre la distorsión de la señal en el amplificador.

Obviamente, un C.A.G. rápido produce mayor distorsión, ya que en algunas ocasiones la operación del C.A.G. se hace manifiesta desde el primer medio ciclo de la señal.

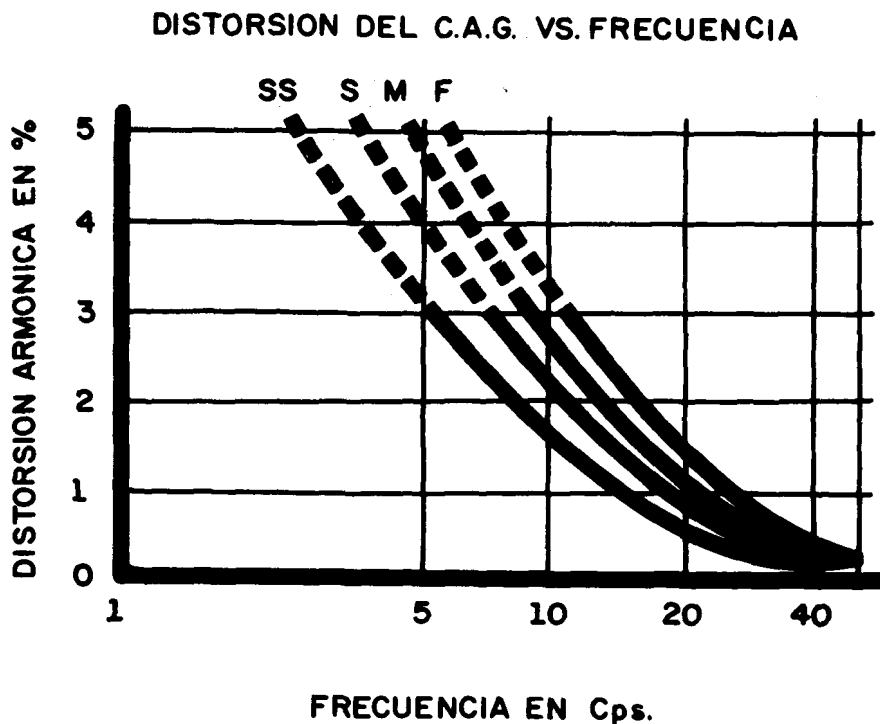


Figura No. 16 — Efecto de la Velocidad del C.A.G.  
en la Distorsión del Amplificador.

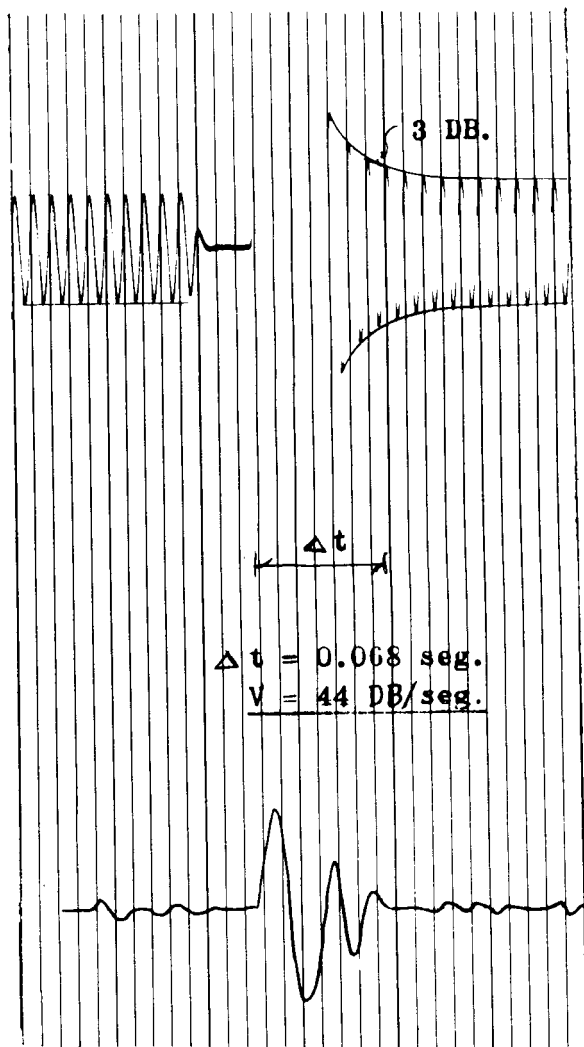
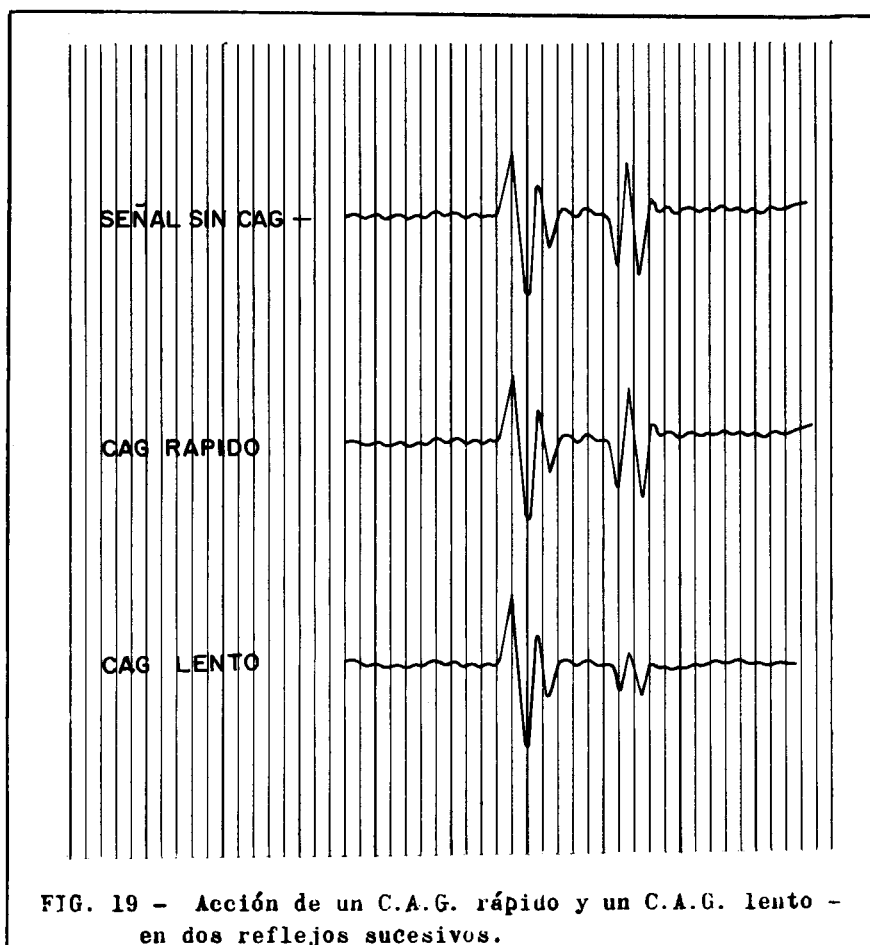


FIG. 18 - En reflejos aislados, el tiempo de compresión debe ser del mismo orden que el de duración del transitorio de la señal de reflexión.

En las figuras Nos. 18 y 19. se muestra la acción del C.A.G. en un reflejo aislado y en dos reflejos sucesivos.

En este caso puede observarse que con un C.A.G. rápido, el amplificador se recupera en un tiempo tal que permite conservar las características de la siguiente reflexión; en cambio un C.A.G. lento puede reducir considerablemente la amplitud del segundo reflejo.



A continuación se mencionan las consideraciones generales para seleccionar la velocidad apropiada del C.A.G. en el trabajo de campo.



- a).—El tiempo de compresión debe ser del mismo orden que el de duración del reflejo.
- b).—Un corto tiempo de compresión es adecuado cuando los pulsos son de gran magnitud.
- c).—El C.A.G. rápido es recomendable cuando se tienen reflejos muy próximos entre sí, cuyos primeros picos difieren en menos de 50 milésimos de segundo.
- d).—El C.A.G. medio se recomienda cuando se tiene un número considerable de reflexiones pero la diferencia de tiempo entre reflejos consecutivos es del orden de 60 milisegundos o mayor.
- e).—El C.A.G. lento puede aplicarse cuando se tienen reflejos bastante separados entre sí.

## NOTA SOBRE LA COMPOSICION DE UN NUMERO DE ONDAS SENOIDALES DE IGUAL PERIODO Y AMPLITUD

Por el Ing. *Daniel Gutiérrez* \*

Es bien sabido que la composición de dos ondas senoidales de igual período rige por la regla de Fresnel, la cual no es otra que la regla del paralelogramo que en mecánica se aplica a la composición de vectores ya sean éstas fuerzas, velocidades o aceleraciones.

En el caso de las ondas senoidales, que desde luego no son magnitudes vectoriales pero que tienen amplitud, período y fase, la regla de Fresnel se aplica a las amplitudes situadas en su posición relativa (defasamiento) correcta.

En la figura que sigue se muestra el caso de la composición de dos ondas senoidales de amplitudes  $A_1$  y  $A_2$  junto con las ecuaciones necesarias, de acuerdo con la regla de Fresnel, para la determinación de la amplitud y de la fase de la onda resultante.

Sean las dos ondas senoidales

$$Y_1 = A_1 \text{ sen } wt$$

$$Y_2 = A_2 \text{ sen } (wt + \alpha)$$

y la onda resultante

$$Y_r = A_r \text{ sen } \beta = A_r \text{ sen } (wt + \varphi)$$

---

\* Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.

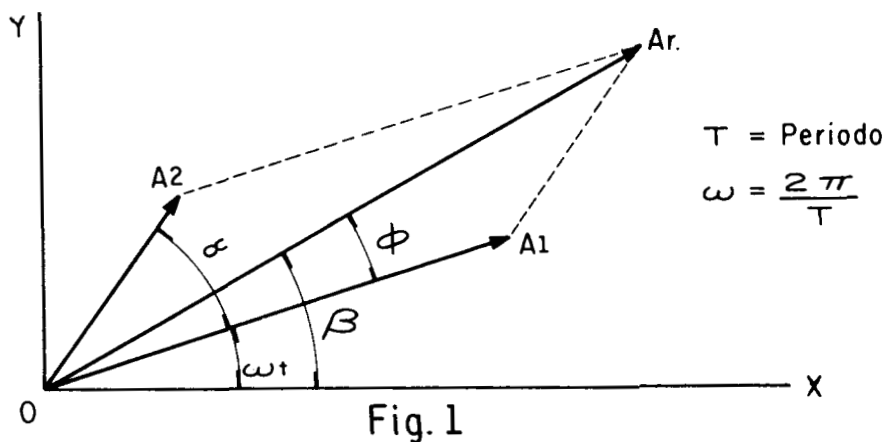


Fig. 1.—Aplicación de la regla de Fresnel a la composición de dos ondas senoidales de igual período.

Proyectando los lados del paralelogramo y la diagonal sobre los ejes de coordenadas, se tiene, por el teorema de las proyecciones:

$$Ar \cos (wt + \varphi) = A_1 \cos wt + A_2 \cos (wt + \alpha) \quad (1)$$

$$Ar \sin (wt + \varphi) = A_1 \sin wt + A_2 \sin (wt + \alpha) \quad (2)$$

Elevando al cuadrado:

$$A_r^2 \cos^2 (wt + \varphi) = A_1^2 \cos^2 wt + A_2^2 \cos^2 (wt + \alpha) + \\ + 2 A_1 A_2 \cos wt \cos (wt + \alpha)$$

$$A_r^2 \sin^2 (wt + \varphi) = A_1^2 \sin^2 wt + A_2^2 \sin^2 (wt + \alpha) + \\ + 2 A_1 A_2 \sin wt \sin (wt + \alpha)$$

Sumando:

$$A_r^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 [\cos wt \cos (wt + \alpha) + \sin wt \sin (wt + \alpha)] \\ = A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos \alpha$$

y finalmente

$$Ar = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos \alpha} \quad (3)$$

que expresa la amplitud de la onda resultante en términos de las amplitudes de las ondas componentes y de su defasamiento.

El ángulo de fase de la resultante se obtiene dividiendo la expresión (2) entre la (1), resultando:

$$\tan (wt + \varphi) = \frac{A_1 \sin wt + A_2 \sin (wt + \alpha)}{A_1 \cos wt + A_2 \cos (wt + \alpha)} \quad (4a)$$

Esta expresión se simplifica un poco si en vez de considerar las ondas en el instante  $t$ , se las considera en el instante cero, resultando entonces:

$$\tan \varphi = \frac{A_2 \sin \alpha}{A_1 + A_2 \cos \alpha} \quad (4b)$$

Fácilmente se puede generalizar la regla de Fresnel a cualquier número  $n$  de ondas componentes, obteniéndose así las siguientes expresiones para la amplitud  $R$  y fase  $\psi$  de la resultante:

$$R^2 = \left[ \sum_{m=1}^n A_m \cos (wt + \alpha_m) \right]^2 + \left[ \sum_{m=1}^n A_m \sin (wt + \alpha_m) \right]^2 \quad (5)$$

$$\tan \psi = \frac{\sum_{m=1}^n A_m \sin (wt + \alpha_m)}{\sum_{m=1}^n A_m \cos (wt + \alpha_m)} \quad (6)$$

Cuando las ondas componentes son de igual amplitud y están defasadas entre sí un ángulo constante, la resultante se obtiene más fácilmente aplicando la idea del polígono funicular que, en el caso particular que se está considerando, es un polígono regular y por lo tanto susceptible de inscribirse en una circunferencia.

Supongamos que se desea calcular la onda resultante de cinco ondas componentes iguales, ver figura No. 2.

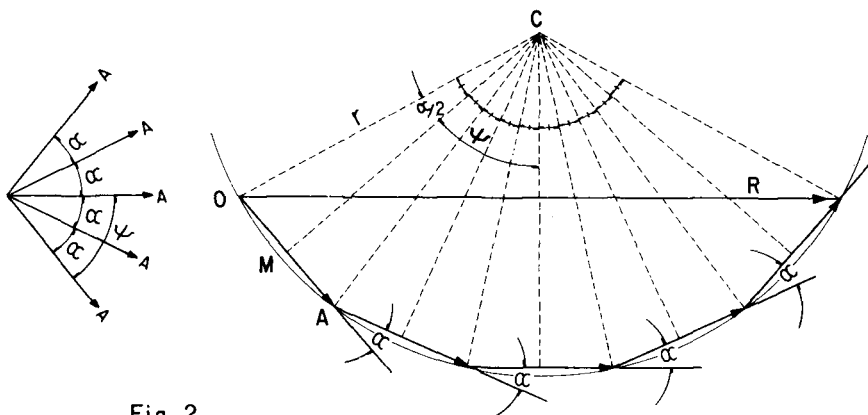


Fig. 2

Fig. 2.—Poligonal regular formada por los vectores representativos de cinco ondas componentes.

Una vez trazada la poligonal de los cinco vectores representativos, es obvia la determinación del centro del círculo circunscrito. Sean  $C$  su centro y  $r$  su radio.

De la figura, es evidente que el radio vale:

$$r = A / (2 \operatorname{sen} \alpha/2) \quad (7)$$

y la resultante

$$R = 2 r \operatorname{sen} \frac{5 \alpha}{2} \quad (8)$$

Substituyendo (7) en (8):

$$R = A \frac{\text{sen } \frac{5\alpha}{2}}{\text{sen } \frac{\alpha}{2}} \quad (9)$$

Es claro que si en vez de cinco fueran  $n$  los vectores, la construcción del polígono sería en todo semejante, y se obtendría:

$$R_n = A \frac{\text{sen } \frac{n\alpha}{2}}{\text{sen } \frac{\alpha}{2}} \quad (10)$$

De la figura se ve también que:

$$\psi = \frac{5\alpha}{2} - \frac{\alpha}{2} = 2\alpha \quad (11)$$

y que en el caso general de  $n$  vectores se transformaría en:

$$\psi_n = \frac{n\alpha}{2} - \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2} (n-1) \quad (12)$$

siendo  $\psi$  el ángulo de fase entre la resultante  $R$  y el primer vector.

De acuerdo con todo lo anterior, la expresión completa de la onda resultante de un número  $n$  de ondas componentes es:

$$R = A \frac{\frac{\sin \frac{n\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}}}{} \cdot \sin \left[ wt + (n-1) \frac{\alpha}{2} \right] \quad (13)$$

Si las  $n$  ondas componentes hubieran estado todas en fase con la onda central del grupo, su resultante habría sido:

$$R^1 = n A \sin \left[ wt + (n-1) \frac{\alpha}{2} \right] \quad (14)$$

Dividiendo (13) entre (14) se obtiene la amplitud relativa:

$$C = \frac{R}{R^1} = \frac{\frac{\sin \frac{n\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}}}{n \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (15a)$$

En el caso de que el número  $n$  de vectores creciera y al mismo tiempo decreciera el ángulo de defasamiento entre ellos, la poligonal de la figura No. 2 tendería a convertirse en un arco de círculo. En el límite, para infinito, la poligonal sería un arco de círculo, y la fórmula (15 a) se transformaría en la siguiente:

$$C^1 = \frac{\frac{\sin \frac{n\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}}}{\frac{n\alpha}{2}} = \frac{\sin \phi}{\phi} \quad (15b)$$

que no es otra que la relación entre el seno y el arco.

Las fórmulas (15 a) y (15 b) tienen numerosas aplicaciones en óptica, en la teoría de las interferencias, redes de difracción etc., y en sismología de exploración en la teoría de receptores múltiples, pozos múltiples, composición de trazas, etc.

La dependencia de la función  $C$  con la frecuencia, puede evidenciarse fácilmente como sigue: sean  $\Delta t$  el retraso de la onda entre dos elementos consecutivos de una disposición lineal de elementos generadores o receptores idénticos, y  $T$  el período de la onda emitida o recibida.

Entonces el defasamiento  $\Delta t$  expresado en radianes es:

$$\alpha = 2\pi \frac{\Delta t}{T} = 2\pi f \Delta t$$

donde  $f$ , la recíproca de  $T$ , es la frecuencia.

Substituyendo en la fórmula (15 a) resulta:

$$C = \frac{\text{sen } \pi n f \Delta t}{n \text{ sen } \pi f \Delta t} \quad (16)$$

En un caso particular dado, siendo constantes  $n$  y  $\Delta t$ , es evidente de la fórmula (16) que  $C$  dependerá solamente de la frecuencia.



## INGENIERIA CIVIL, GEOLOGIA Y GEOFISICA

Por el Ing. *Gustavo Bello Ochoa* \*

Se confía en que la expresión proverbial: “los últimos serán los primeros”, sea la conclusión a la que llegue el amable y paciente lector, más aún si Geofísico), una vez finalizada la lectura de este artículo, ya que su título sugiere una alteración en el orden de actividades que presupone una obra de ingeniería, ya sea de proporciones gigantescas o de pequeña magnitud, en la que concurren esas ciencias, dependiendo fundamentalmente de las condiciones geológicas del lugar donde se localice.

Cualquier obra de ingeniería civil, en forma ineludible e imperiosa, necesita de una cimentación; las características de tal cimentación, como su magnitud, dependen de la clase, dimensiones, tipo, propósito etc., de la obra o estructura en cuestión y, principalmente, de la calidad del subsuelo; es decir, de la geología local en el lugar de erección. Como se comprenderá, para idéntica clase de estructuras el tipo de cimentación no será el mismo en una zona en la que se tenga un suelo fangoso o deleznable, que si se tiene uno compacto, resistente y bien consolidado.

Independientemente de lo anterior, el buen criterio y precaución del proyectista supedita el diseño de su cimentación a la calidad del subsuelo, una vez obtenida la información que considera pertinente; ahora bien, ¿cómo obtiene el Ingeniero Civil esta información tan valiosa?

Indiscutiblemente, en grandes proyectos u obras de ingeniería civil, el concurso de la ciencia de la Geología es un factor de gran valía, ya que el conocimiento de las formaciones o estratos del subsuelo por parte de un geólogo son, si no determinantes, si de una ayuda para el proyectista que acepte

---

\* Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.

este auxilio. Desafortunadamente para el geólogo hay casos en que la observación geológica superficial de carácter local no es lo suficientemente amplia y clara, desde un punto de vista cuantitativo, para llegar a conclusiones definitivas y precisas sobre todo a profundidad; el complemento ineludible, ampliamente conocido y al que más se le confía (que es aceptado por el ingeniero civil) por ministrar datos tangibles del subsuelo es: la perforación, ya sea a base de pozos a cielo abierto, túneles o perforaciones de relativo pequeño diámetro hechas con máquina.

Este procedimiento, aparentemente insustituible y de reconocida ventaja, se estima tener en su contra dos poderosos factores, los que a continuación se mencionan:

- 1.—Absorción de tiempo y, consecuentemente
- 2.—Costo muy elevado.

Se hace mención a lo anterior por convertirse en factores preponderantes cuando, por ejemplo, en una gran obra de ingeniería civil de gran extensión, v. gr. en sitios de presa en los lugares donde se proyecte la cortina, los diques, el vertedor, casa de máquinas, etc., según la finalidad que se persiga con el almacenamiento, ya sea de control de avenidas, riego y generación de energía eléctrica; en localización de aguas subterráneas, ya sea para fines de riego, industriales o de abastecimiento de pequeños o grandes centros de población; en exploraciones para la minería, localización de estructuras favorables para la acumulación de petróleo, etc., etc. A grandes rasgos se alude a lo anterior por la imperiosa necesidad de estudiar áreas que cubren grandes extensiones de terreno que, como se comprenderá, hacerlo a base de perforaciones resultaría, además de lento, sumamente costoso. Además, una perforación considerándola perpendicular a la horizontal del terreno, da información a lo largo de la vertical del punto, mientras que al aplicarse los métodos que se mencionarán a continuación se está en posibilidad de obtener, por medio de líneas o secciones convenientemente localizadas, configuraciones del subsuelo encaminadas al objeto de la exploración.

Teniendo en consideración todo lo ya expuesto, se concluye que el tipo de exploración más adecuado, por su rapidez y economía, es el de aplicación de los métodos geofísicos de investigación.

La Geofísica, ciencia relativamente nueva en su empleo, entre otros, con sus métodos sismológicos, gravimétricos, geodéctricos, magnéticos y radioactivos, atinadamente aplicados mediante la utilización de los equipos apro-

piados, se convierte en el auxiliar más valioso en investigaciones indirectas del subsuelo para los fines ya mencionados en párrafos anteriores.

Aplicaciones muy variadas puede tener esta ciencia considerando los diferentes métodos que se pueden utilizar; sin embargo, no se crea que es la panacea que resolverá todos los problemas de investigación de la corteza terrestre, así como tampoco se espere que su precisión tendrá un 100% de exactitud, pero sí que, un trabajo preliminar de reconocimiento del subsuelo por cualesquiera de estos métodos ministrará información que se debe considerar primordial, útil y valiosa para programar exploraciones complementarias que se concentren en lugares específicos en los que debido a condiciones estructurales geológicas muy particulares no sea posible definirlos o detallarlos con el grado de precisión deseado.

Como un epílogo a lo que se ha expuesto en la forma más sintetizada posible, se mencionarán a continuación una serie de trabajos en los que la aplicación de los métodos geofísicos ha sido un factor de gran utilidad para satisfacer la finalidad perseguida.

Los siguientes, entre otros, en lo tocante a problemas de ingeniería civil: Presa de Sta. Teresa, sobre el río Altar, Sonora; Presa de Mocuzari, sobre el río Mayo, Sinaloa; sitio "El Tunal", sobre el río del mismo nombre, Durango; Sitios Colimote "A" y "B", sobre el río Verde, San Luis Potosí; sitio "Diablo", ahora "La Amistad", sobre el río Bravo, aproximadamente 11 km. aguas arriba de Villa Acuña, Coahuila y Del Río, Texas; sitio "La Villita", sobre el río Santa Catarina, Guerrero; derivación "El Salto", sobre el río del mismo nombre, San Luis Potosí, etc., llevados a cabo por la S. R. H. y la C. F. E.

Asimismo se podrían nombrar otros lugares en los que, para cimentación de puentes se refiere, se han utilizado los métodos geofísicos, aun cuando en menor número de intervenciones.

En lo que a localización de aguas subterráneas concierne, exploraciones que cubrieron áreas extensas, tanto para abastecimiento de poblaciones como para fines industriales, se han efectuado en: Valle de Guadalajara, Jalisco; Valle de Cadereyta de Montes, Querétaro; Valle de Puebla en zona Sur de

la Malintzi, Puebla; zona NE. de Jiquilpan, Michoacán; Valle de León, al Sur de la Ciudad de León, Guanajuato; parte W-SW de Ciudad Juárez, Chihuahua; Valle al N. de Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, etc., hechos tanto por S. R. H. y C. F. E. así como por particulares.

Referente a investigaciones de carácter minero, para localización de hierro, azufre, sal, carbón, etc., se pueden nombrar los siguientes lugares en los cuales se han efectuado, tales son: Chinameca y Cosoleacaque, Ver.; Monclova, Coah.; Peña Colorada, Edo. de Colima; El Encino, Edo. de Jalisco; La Perla, Edo. de Chihuahua, etc., etc.

Como consecuencia de todas estas exploraciones se ha llegado a obtener como resultado una superación en la aplicación, no sólo de los equipos empleados, sino de la tecnología de campo, tratando en lo posible de llegar a un grado de precisión y exactitud tales que los métodos geofísicos de exploración, íntimamente ligados con la geología, se conviertan en un factor que, sin llegar a ser insustituible, sea amplia y seguramente utilizado.

# “FORO ABIERTO”

## UNA VARIANTE EN EL DISEÑO DE UNA CUBIERTA DE SISMO- DETECTORES MULTIPLES Y COMO CONSECUENCIA LA DETERMINA- CION DEL FILTRO ADECUADO PARA UNA CUBIERTA YA CONSTRUIDA

Por el Ing. *Mariano Hernández Moedano* \*

### RESUMEN

Se establece que: la relación entre las velocidades aparentes máxima y mínima del ruido coherente, fija la relación que debe existir entre las frecuencias de corte máxima y mínima del filtro eléctrico, adecuado para una cubierta de  $M$  sismodetectores múltiples que pretenda cubrir totalmente la banda de atenuación de ruidos coherente. Como una consecuencia, se deduce una variante en el diseño de una cubierta de detectores múltiples en el cual se supone la frecuencia mínima de corte y se seleccionan o el número  $M$  de sismodetectores o su separación.

### INTRODUCCION

Actualmente en la exploración Sismológica por reflexión, se están intentando todas las técnicas posibles tanto de campo como de laboratorio, con el fin de mejorar la calidad de los sismogramas. Un intento más, podría

---

\* Servicios Geofísicos, S. A. de C. V.

ser la obtención de reproducciones con el filtro eléctrico adecuado a la cubierta empleada en la grabación de la cinta magnética; este método será más preciso, entre mayor conocimiento se tenga de las velocidades aparentes de ruido coherente dentro de la región en estudio y factible solamente si la grabación ha sido hecha con un filtro suficientemente ancho, tal que permita usar en la reproducción la combinación del filtro calculada.

El desarrollo aquí presentado está basado en las definiciones adoptadas en el artículo "Notas sobre el empleo de Sismodetectores múltiples", del Ingeniero Antonio García Rojas, y publicado en el volumen III, del número 2 del boletín de la A. M. G. E.

## DESARROLLO

A continuación se citan las definiciones adoptadas en el diseño de una cubierta de sismodetectores múltiples:

$V_{ar\ máx.}$  = Velocidad aparente máxima de ruido coherente.

$V_{ar\ mín.}$  = Velocidad aparente mínima de ruido coherente.

$\Delta X$  = Separación entre detectores.

$M$  = Número de detectores múltiples.

$L = \Delta X (M - 1)$  = Longitud de cubierta.

$F_{máx.}$  = Frecuencia máxima de corte del filtro eléctrico.

$F_{mín.}$  = Frecuencia mínima de corte del filtro eléctrico.

$\lambda_{ar\ máx.} = \frac{V_{ar\ máx.}}{F_{mín.}} = \text{Longitud de onda aparente máxima de ruido.}$

$\lambda_{ar\ mín.} = \frac{V_{ar\ mín.}}{F_{máx.}} = \text{Longitud de onda aparente mínima de ruido.}$

$$\frac{M}{M-1} = \text{Límite superior de la banda de atenuación de ruido coherente.}$$

$$\frac{M}{(M-1)^2} = \text{Límite inferior de la banda de atenuación de ruido coherente.}$$

Además se introducen las dos siguientes definiciones convencionales:

$$\frac{F_{\text{máx.}}}{F_{\text{mín.}}} = AB \equiv \text{Ancho de banda del filtro eléctrico.}$$

$$\frac{V_{ar \text{ máx.}}}{V_{ar \text{ mín.}}} = K \equiv \text{Factor de ruido coherente.}$$

Las definiciones de los límites de la banda de atenuación, deben satisfacer precisamente en su límite las siguientes condiciones:

$$\text{Límite superior} = \frac{\lambda_{ar \text{ máx.}}}{L} \quad (1)$$

$$\text{Límite inferior} = \frac{\lambda_{ar \text{ mín.}}}{L} \quad (2)$$

por lo que igualando y sustituyendo valores se tendrá:

$$\frac{M}{M-1} = \frac{V_{ar \text{ máx.}}}{\Delta X (M-1) F_{\text{mín.}}} \quad (3)$$

$$\frac{M}{(M-1)^2} = \frac{V_{ar \text{ mín.}}}{\Delta X (M-1) F_{\text{máx.}}} \quad (4)$$

Despejando a  $F_{m\acute{a}x.}$  y  $F_{m\acute{i}n.}$  se tiene:

$$F_{m\acute{a}x.} = \frac{V_{ar\ m\acute{i}n.} (M - 1)}{M \Delta X} \quad (5)$$

$$F_{m\acute{i}n.} = \frac{V_{ar\ m\acute{a}x.}}{M \Delta X} \quad (6)$$

Dividiendo miembro a miembro las ecuaciones 5 y 6 se tiene:

$$AB \cong \frac{F_{m\acute{a}x.}}{F_{m\acute{i}n.}} = \frac{M - 1}{K} \quad (7)$$

En donde la constante  $K$ , como ya se mencionó, representa el cociente de las velocidades aparentes máxima y mínima del ruido coherente respectivamente.

La ecuación No. 7 representa una familia de líneas rectas, para cada valor de  $K$ , tal como se ilustra en la gráfica de la figura No. 1. La variación del ancho de banda  $AB$  será más preciso, entre mayor sea el control de las velocidades aparentes del ruido coherente. Por esta razón resulta indispensable el observar el mayor número posible de perfiles de ruido en la región estudiada, ya que así podrá configurarse valores de la constante de ruido  $K$  y escoger el adecuado para una cinta grabada en determinado lugar del área.

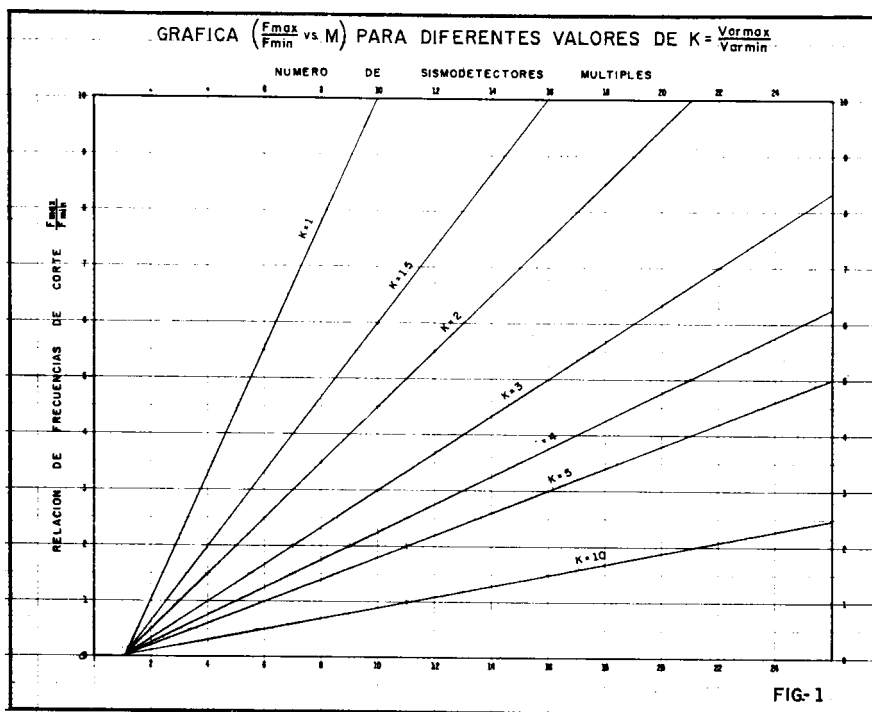
Ejemplo: Supongamos que una cinta magnética se grabó, usando una cubierta de 10 detectores cada 3 metros y que el factor de ruido correspondiente a ese lugar es:

$$K = \frac{1200\ m/s}{400\ m/s} = 3$$

Aplicando la ecuación No. 7 encontramos el ancho de banda adecuado:

$$\frac{F_{m\acute{a}x.}}{F_{m\acute{i}n.}} = \frac{10 - 1}{3} = 3$$





Es decir la reproducción deberá obtenerse con un filtro eléctrico tal que su frecuencia máxima de corte sea 3 veces la frecuencia mínima.

La frecuencia mínima de corte del filtro se puede calcular con la ecuación No. 6

$$F_{\min.} = \frac{1200 \text{ m/s}}{3_m \times 10} = 40 \text{ c/s}$$

Por lo tanto el filtro que deberá emplearse en la reproducción de la cinta magnética será la combinación 40 — 120. Cualquier otro filtro diferente al calculado tendrá los siguientes peligros:

A) No cubrirá toda la banda de ruido coherente por lo cual podrá pasar ruido que oscurezca la información útil.

B) Podrá pasarse de los límites de la banda de atenuación, con los peligros de atenuar fuertemente en la banda de paso y por lo tanto cortando frecuencias útiles.

Cuando el valor de la velocidad aparente máxima de ruido coherente es tan alto que la magnitud de  $F_{min.}$  dado la ecuación (6) fuera prácticamente ilógica, tal hecho indicaría que la cubierta de sismos empleada en la grabación de la cinta magnética, no fue adecuada y por lo tanto poco o ningún provecho podrá sacarse de las reproducciones con los cambios de filtro.

### DISEÑO DE UNA CUBIERTA

De la ecuación No. 6 puede establecerse la siguiente expresión:

$$M F_{min.} = \frac{V_{ar\ máx.}}{\Delta X} \quad (8)$$

Esta ecuación es una parábola para valores dados de la separación  $\Delta X$  y de  $V_{ar\ máx.}$  tal como se ilustra en la figura No. 1-A.

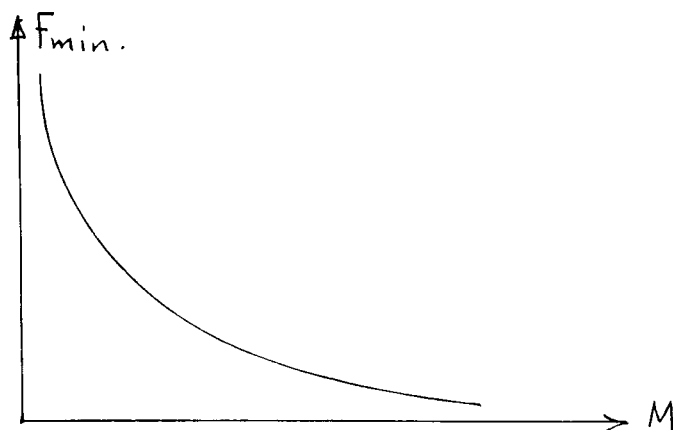


Figura No. 1-A

La figura No. 1-A junto con la figura No. 1 ilustran un aspecto importante, a saber: a mayor número de  $M$  detectores le corresponde un ancho de banda mayor, lo cual es lógico suponer ya que entre más detectores existen,

éstos eliminan mayor número de frecuencias de ruido aparente y también mayor ruido incoherente, permitiendo a su vez el paso de mayor número de frecuencias útiles los cuales no sufren atenuación importante debido a su alta velocidad con respecto a la del ruido. Por esta razón la frecuencia mínima de corte del filtro eléctrico empleado, deberá ser la menor posible, o en su defecto tener un rango corto de variación.

Con las ecuaciones Nos. 6 y 7 es posible diseñar o modificar cierta cubierta y calcular sus filtros correspondientes. La ecuación No. 6 representa una familia de líneas rectas para una  $F_{\min.}$  supuesta y para diferentes valores de la separación  $\Delta X$  tal como se muestra en las gráficas de las figuras números 2, 3 y 4 respectivamente.

Ejemplo: En un perfil de ruido observado se obtuvieron los siguientes datos:

$$V_{ar\ máx.} = 1300 \text{ m/s}$$

$$V_{ar\ mín.} = 400 \text{ m/s}$$

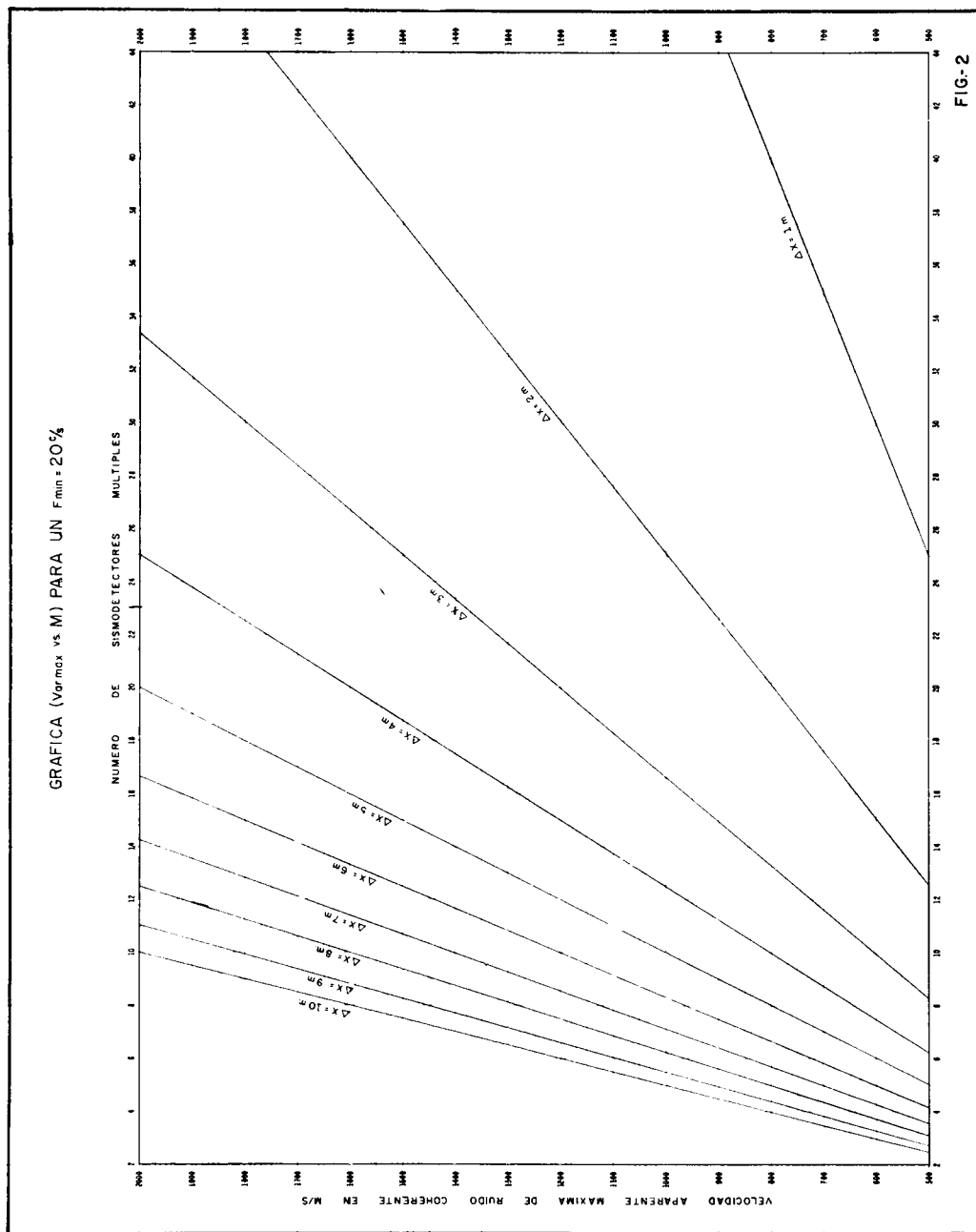
$$K = \frac{1300 \text{ m/s}}{400 \text{ m/s}} = 3.25$$

La brigada está operando normalmente con una cubierta de 16 detectores cada 2 metros por traza.

Las diversas soluciones prácticas posibles se presentan a continuación:

- 1).—Conservando los 16 detectores y suponiendo una  $F_{\min.} = 20 \text{ c/s.}$  se obtiene con la ecuación No. 6 ó con su gráfica correspondiente (figura No. 2) que la separación correcta entre detectores deberá ser:

$$\Delta X = \frac{1300 \text{ m/s}}{20 \text{ c/s} \times 16} = 4 \text{ metros.}$$



GRAFICA ( $V_{max}$  vs M) PARA UN  $F_{min} = 27\%$

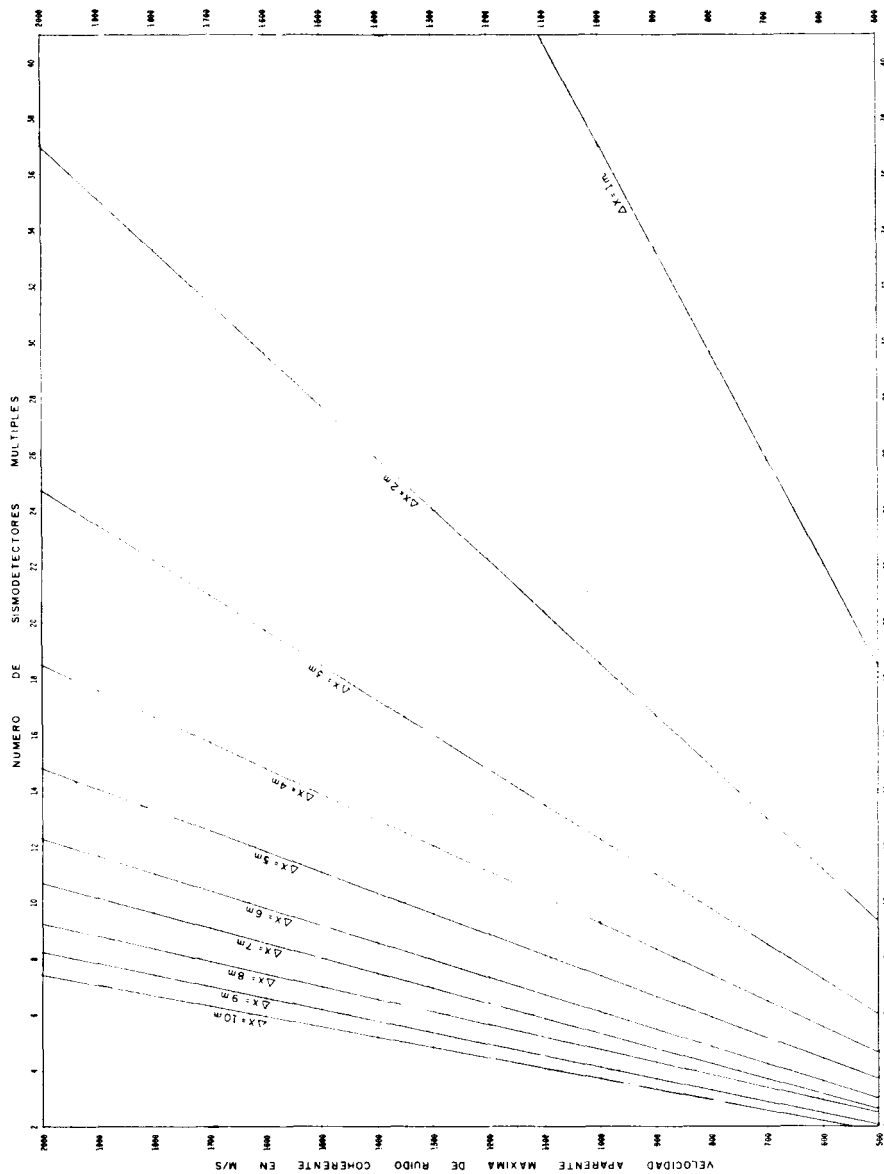
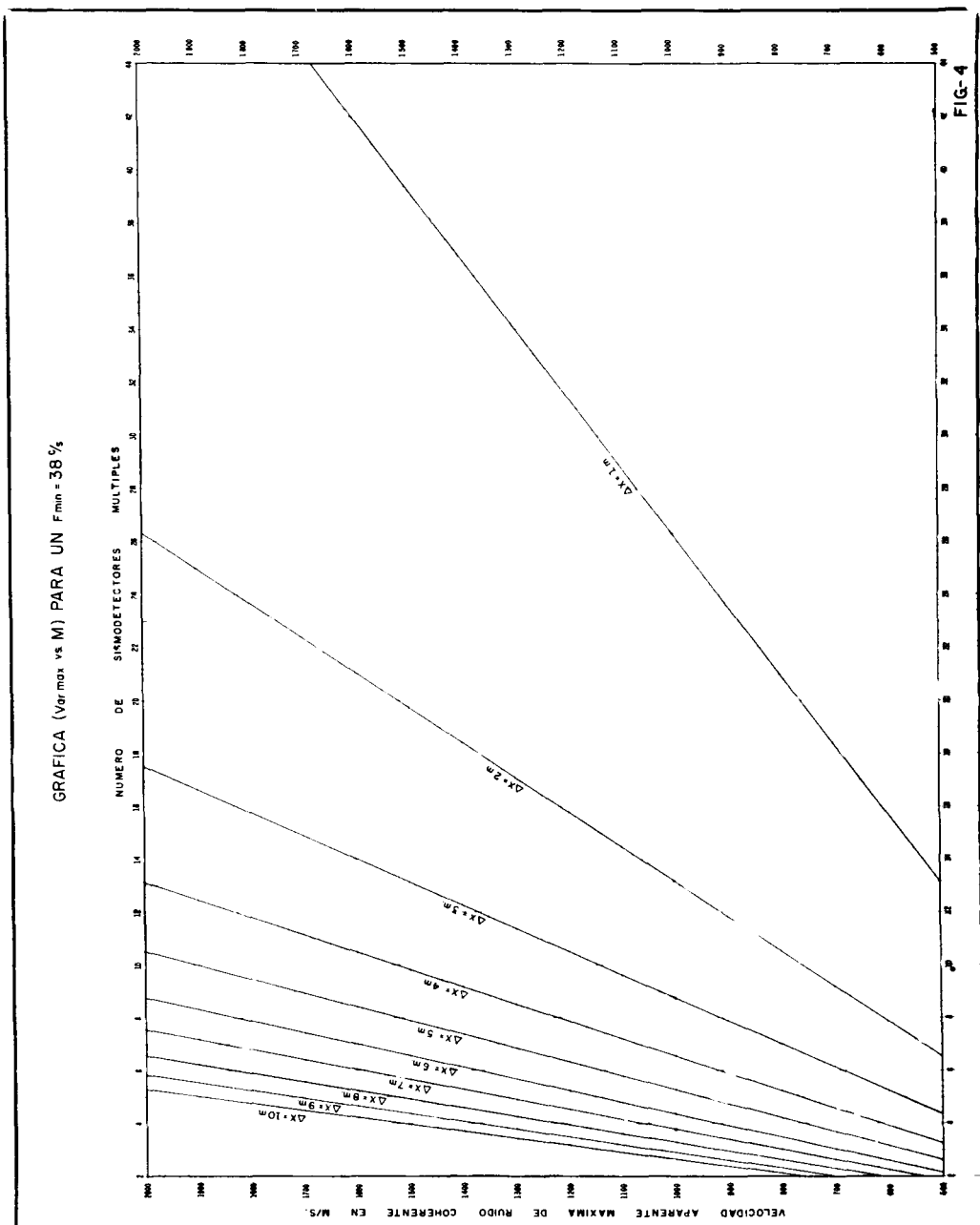


FIG-3



Ahora a través de la ecuación No. 7 se determina la frecuencia máxima de corte:

$$F_{\text{máx.}} = \frac{M - 1}{K} \quad F_{\text{mín.}} = \frac{15 \times 20}{3.25} = 92 \text{ } ^\circ/\text{s.}$$

Concretando, la solución queda así:

16 detectores cada 4 metros entre sí y con una combinación de filtros eléctricos de 20 — 92  $^\circ/\text{s.}$

2).—Conservando la misma separación  $\Delta X = 2 \text{ m.}$  y la  $F_{\text{mín.}} = 20 \text{ } ^\circ/\text{s.}$  se determina de una manera análoga a la anterior el número de detectores y el filtro eléctrico adecuado, los resultados son:

$$M = 32 \text{ detectores.}$$

$$\text{Filtro} = 20 - 190 \text{ } ^\circ/\text{s.}$$

3).—Conservando los 16 detectores y suponiendo una  $F_{\text{mín.}} = 27 \text{ } ^\circ/\text{s.}$  se determina la  $\Delta X$  y  $F_{\text{máx.}}$  correspondiente y sale:

$$\Delta X = 3.00 \text{ metros.}$$

$$\text{Filtro} = 27 - 125 \text{ } ^\circ/\text{s.}$$

4).—Conservando los 16 detectores y suponiendo una  $F_{\text{mín.}} = 38 \text{ } ^\circ/\text{s.}$  los resultados correspondientes son:

$$\Delta X = 2.25 \text{ metros.}$$

$$\text{Filtro} = 38 - 175 \text{ } ^\circ/\text{s.}$$

Tomando en cuenta la construcción de la cubierta original (16 detectores cada 2 metros) y el perfil de ruido observado, se nota una ausencia de frecuencias bajas; se concluye que las soluciones más prácticas son la No. 1 y la No. 2. Aunque ambas satisfacen su banda de atenuación de ruidos coherentes, la solución No. 2 tiene la doble ventaja que su mayor número de detectores, cancela también mayor cantidad de ruido incoherente; permitiendo a su vez el paso de mayor número de frecuencias útiles.

**NUEVOS SOCIOS**

Ing. LUIS F. DE LAS MUÑECAS CALDERON

Edificio Maracán Desp. 107.

Av. Juárez y Allende.

Monterrey, N. L.

Ing. LUIS CALZADA TOVAR.

Alicia No. 84 Depto. 8.

Col. Guadalupe Tepeyac.

México 14, D. F.

Ing. GREGORIO FUENTES JUAREZ.

Callejón Frente Plazuela de la Asunción.

Xochimilco.

México 23, D. F.

Ing. MANUEL MENDEZ AROCHA.

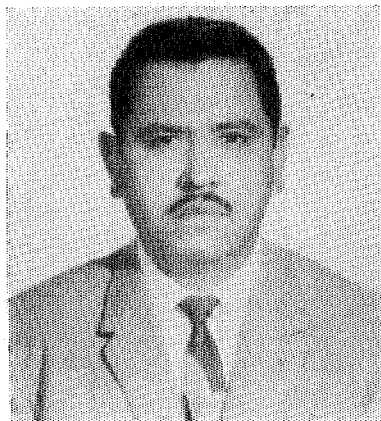
Universidad Central de Venezuela.

Facultad de Ingeniería.

Caracas, Venezuela.

Sud América.





### **Ing. Mariano Hernández Moedano**

Graduado de Ingeniero en Comunicaciones Eléctricas y Electrónica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en el año de 1950; de 1951 a 1954 trabajó en Petróleos Mexicanos en el Departamento de Ingeniería Petrolera. De 1955 a la fecha trabaja como Geofísico en la Compañía Servicios Geofísicos, S. A. de C. V.

Carlos Alemán A.

EXPLORACION

y

PERFORACION

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

MEXICO 1, D. F.

**SCHLUMBERGER**

# SCHLUMBERGER SURENCO, S. A.

AGENCIA EN MEXICO

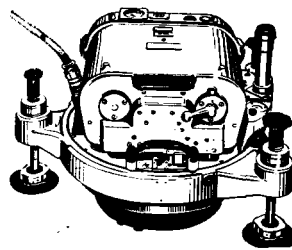
Av. Morelos 98, Desp. 306

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

MEXICO 6, D. F.

## COMPañIA MEXICANA AEROFOTO, S. A.

LOS SIGUIENTES ELEMENTOS RESPALDAN  
NUESTROS 31 AÑOS DE OPERACION.



### EQUIPO DE RESTITUCION PARA PLANOS TOPOGRAFICOS:

- 1 Autógrafo WILD A-7
- 1 Autógrafo WILD A-8
- 1 Autógrafo WILD A-9  
(Para fotografías granangulares  
y supergranangulares)

- 4 Aviografos WILD B-8
- 3 Aparatos de Restitución KESLH
- 1 Multiplex con 8 proyectores

- 1 Cámara fotogramétrica WILD RC-8
- 1 Cámara fotogramétrica WILD RC-5
- 1 Cámara supergranangular WILD RC-9
- 3 Cámaras fotogramétricas FAIRCHILD
- 1 Cámara fotogramétrica para fotografía  
infrarroja y a colores.

### AVIONES DE ALTURA:

- F-15 Northrop, matrícula XB-FUJ
- Boeing B-17G, matrícula XB-BOE

Douglas Dauntless, matrícula XB-QUC  
North American, O-47-B matrícula  
XB-YUW

### AVIONES DE MEDIANA ALTURA:

Strato Helio, matrícula XB-YOI  
Beechcraft, matrícula XB-VIG  
Beechcraft, matrícula XB-RAU  
Cessna 190, matrícula XB-KUC

Además equipo completo de laboratorio, mapas para mosaicos, fotografías panorámicas y fotografías  
rectificadas de reproducción

120 empleados especializados en los distintos aspectos de la fotogrametría

### DIRECCION:

Av. Obrero Mundial Núm. 338, Esq. con Pestalozzi  
Teléfono: 43-38-30 con tres líneas directas

México 12, D. F.

Talleres de Aviación y Hangares

Lindero Sur, Aeropuerto Central

Tels.: 22-22-58 y 22-29-64

# **PERFORACIONES, S. A.**

**CONTRATISTA DE PERFORACION  
EXPLORATORIA DESDE 1950 PARA**

**PETROLEOS MEXICANOS**

**SECRETARIA DE MARINA**

**CONSTRUCTORA MALTA, S. A.**

**NATIONAL SOIL SERVICES, CO.**

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

**Y PARTICULARES**

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

**Teléfonos: 21-37-25 y 21-36-42**

**MEXICO 1, D. F.**

**...SISMOLOGIA... GRAVIMETRIA... GEOQUIMICA...**

**MAGNETOMETRIA... ...SUE\***

**...PROCESADO DE DATOS MAE\*\***

**A R E A S :**

**Grandes o pequeñas, marinas o terrestres.**

**PROBLEMAS:**

**Técnicos u operacionales.**

**INFORMACION:**

**Superficial o profunda.**

**F O R M A :**

**Utilizando los métodos y equipos más modernos compatibles con áreas y presupuestos.**

**G E O P H Y S I C A L**

**S E R V I C E**

**I N C O R P O R A T E D**

**Exchange Bank Bldg.,  
100 Exchange Park North,  
DALLAS 35, TEXAS.  
Tel. FLeetwood 7-4311**

**Avenida Juárez No. 119,  
Despacho 42,  
Tels. 46-37-20 - 21-74-67  
MEXICO 1, D. F.**

**\* Seismic Underwater Exploder.**

**\*\* Multiple Analyzer Eliminator.**



SOCIOS  
\$100.00  
NO SOCIOS  
\$150.00

ADQUIERA UD. LOS VOLUMENES NUMEROS  
I - II Y III CORRESPONDIENTES A LOS AÑOS  
DE 1960-1961 Y 1962 EMPASTADOS EN KERATOL  
CON SUS INICIALES GRABADAS EN ORO.

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

---

---

---

---

# EXPLORACIONES, S. A.

---

ITURBIDE No. 36    DESP. 201

TEL. 10 - 15 - 64

MEXICO 1, D. F.

---

---

---

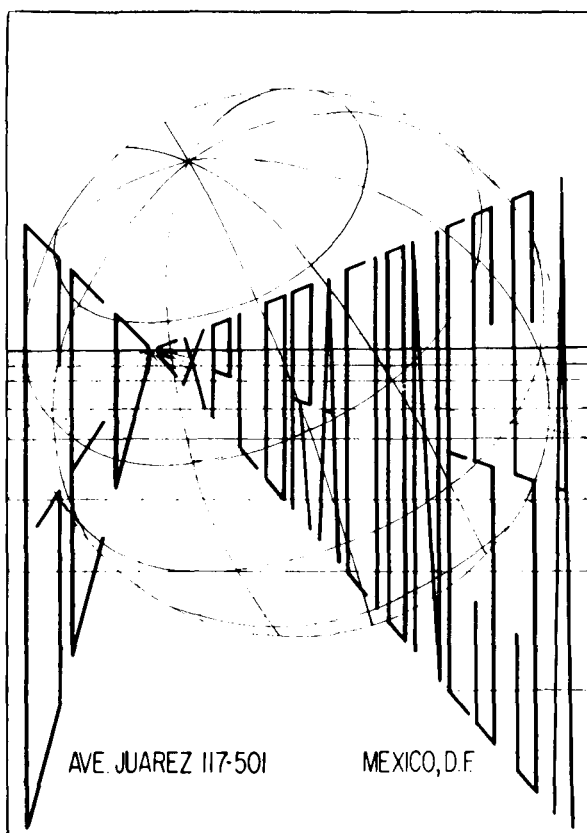
---

S E R V I C I O S

GEOFISICOS

GEOLOGICOS

FOTOGEOLOGICOS



AVE. JUAREZ 117-501

MEXICO, D.F.

TEL. 46 - 11 - 81

GEOHIDROLOGICOS

RADIOACTIVOS

TOPOGRAFICOS



# CURSO DE SISMOLOGIA APLICADA

Por el Ing. V. A. OLHOVICH



En las principales librerías  
o directamente en la

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

Av. Juárez 97. Desp. 302.

México 1, D. F.

Estimado Socio:

Agradeceremos a Ud. su cooperación enviándonos Artículos para nuestro Boletín, o bien Comentarios o Sugerencias que nos permitan seguir adelante con nuestra publicación.