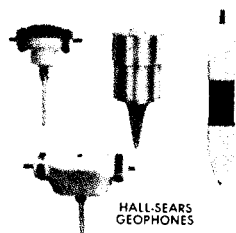
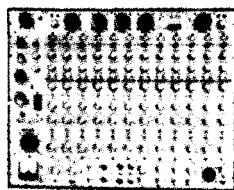


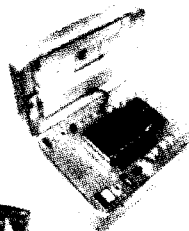
**La mejor
línea completa
de detectores sísmicos
que la industria
tiene además
de instrumentos
enteramente integrados
para registro en el campo
y reducción
de los datos**



HALL-SEARS
GEOPHONES



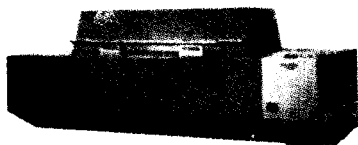
MODEL 111 AMPLIFIER



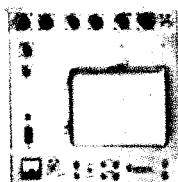
GT-2
INTERVAL TIMER



MODEL RO-6-28 CAMERA



DRUM CROSS SECTION PLOTTER



MODEL 200 RECORDER



*La NUEVA CABECILLA
en la instrumentación sísmica*

GEO SPACE CORPORATION

5003 GLENMONT DRIVE • HOUSTON, TEXAS 77036

TELEPHONE: AREA CODE 713—MO 6-1611 • CABLE ADDRESS: GEOSPA • TELEX: 077-374

Offices in THE HAGUE, PARIS, BRISBANE, LONDON, CALGARY.

Agents in TOKYO, KARACHI, NEW DELHI, MEXICO CITY.



ROSSBACH DE MEXICO, S. A.

FABRICANTES DE INSTRUMENTOS DE PRECISION

Aliada Rossbach tipo
"Geológica"



Modelo 620

Sobre Pedido:
aproximación de 20 segundos

- Tránsito Rossbach Mod. 510R
- Tránsito Rossbach Mod. 512R

aproximación 1 minuto
aproximación 1 minuto

- Plancheta Rossbach Mod. 600R
- Limnógrafo Rossbach
- Pluviógrafo Rossbach
- Estadales Philadelphia

- Nivel fijo 18" Mca. Rossbach Mod. 191R
- Molinete Eléctrico Rossbach
- Molinete Mecánico Rossbach
- Veletas Embeladas
- Niveles Automáticos
- Tránsitos de 1 segundo

Representantes de Otto Fennel & Son
Representantes de Miller Innsbruck
Representantes de Meopta - Praha

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

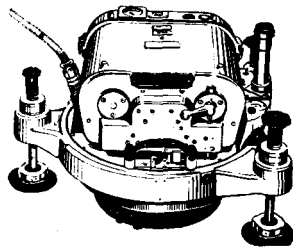
ROSSBACH DE MEXICO, S. A.

OFICINAS: Diagonal San Antonio 1015 - Tel.: 23-39-72

FABRICA: Calz. Ixtapalapa-Puebla 1629 - Tel.: 39-20-09

COMPAÑIA MEXICANA AEROFOTO, S. A.

LOS SIGUIENTES ELEMENTOS RESPALDAN
NUESTROS 31 AÑOS DE OPERACION.



WILD

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 KELS
- 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 Dountless, matrícula XB-GUC
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
rectificados 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

Talleres de Aviación y Hangares

Lindero Sur, Aeropuerto Central

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

México 12, D. F.



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
1222 Petroleum Life Bldg., Midland, Texas
5822 E. Admiral Place, Tulsa, Oklahoma
1730 Broadway, Room 504, Denver 2, Colorado
245 Mt. Lebanon Blvd., Pittsburgh 24, Pennsylvania
Suite B, 534 St. John Ave. S.W., Calgary, Alberta, Canada
P.O. Box 181, Anchorage, Alaska

194 rue de Rivali, 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. Generalissima, 53-5° Bis, Madrid 16, Spain

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, los 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, para finamiento, 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

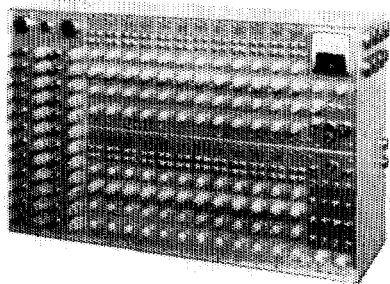
FCO. NOVOA N° 105 MEXICO 14 D.F. TELS: 17-44-10 17-73-51 17-93-79

AGENCIA EN VERACRUZ Km. 435 CARRETERA JALAPA VERACRUZ.

APARTADO POSTAL 659, VERACRUZ, VER.

INSTRUMENTAL GEOFISICO

DA MEJOR
RENDIMIENTO,
MAYOR DURACION
Y A UN COSTO MENOR



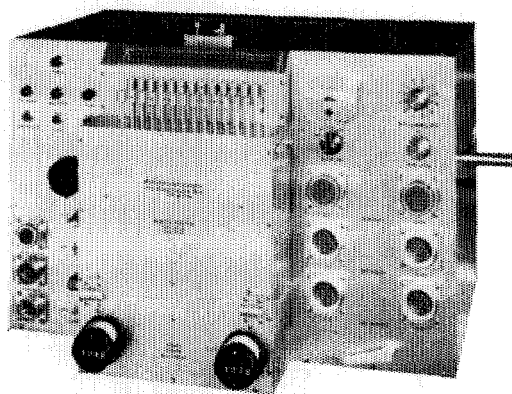
FORTUNE T-1. SISTEMA DE AMPLIFICADORES SISMICOS TRANSISTORIZADOS PARA TRABAJOS DE REFLEXION Y REFRACCION.

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

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

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

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



FORTUNE DC-2B. SISTEMA DIRECTO DE GRABACION Y REPRODUCCION. COMPLETAMENTE TRANSISTORIZADO

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

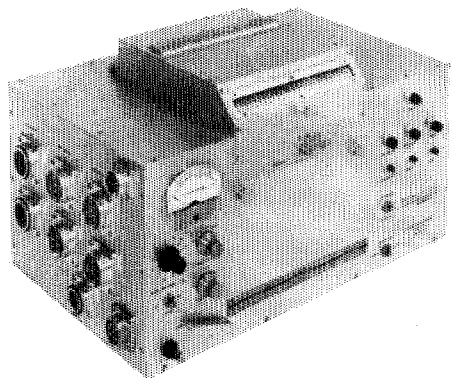
SE AJUSTA A CUALQUIER SISTEMA DE TIRO — No importa el sistema de tiro empleado, ya que mediante una barra universal de tendidos y gracias a medidores ajustables (calibrados en por ciento), es posible aplicar a cada traza la corrección dinámica adecuada.

ESPECIFICACIONES DEL MODELO DC-2B.

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

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

....DE "FORTUNE ELECTRONICS"



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

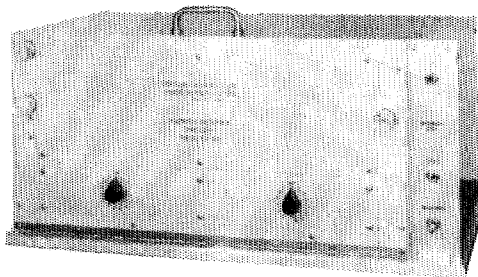
TOTALMENTE TRANSISTORIZADO — La grabadora SR - 5 ofrece los últimos adelantos en sencillez de manejo, presentando características iguales a las de sistemas más costosos y complicados.

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

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

ESPECIFICACIONES DEL MODELO SR-5.

Transporte de la cinta. Mediante tambor, cuyo diámetro es de 7.5".
 Número de canales. 24 sísmicos y 2 ó 4 auxiliares.
 Tamaño de la cinta. 6 1/2 ó 7" de ancho por 24 1/2" de largo.
 Velocidad de la cinta. 3.58"/segundo.
 Tiempo útil de grabación. 6 seg. (el tambor da una vuelta completa en 6.6 seg.)
 Características del motor. De histeresis de 400 ciclos. Acoplado al tambor.
 Polarización (bias). 8 miliamperes a 6 kilociclos.
 Respuesta. De 5 a 200 cps.
 Correcciones estáticas (opcional). ± 100 miliseg.
 Sensibilidad de señal a ruido. 50 db RMS a RMS.
 Distorsión armónica total. (A 100% el nivel de grabación. 2.5%.
 Alimentación cruzada. (Cross feed). Con entrada de 100%. —36 db a 10 cps.
 Nivel de grabación. 50 milivoltios a través de 40 ohms.
 Potencia requerida. 0.5 amper en vacío y 6.5 amperes con carga.
 Medida del transportador de la cinta. 11" X 18 1/2" X 1 1/4".
 Peso. 55 libras (24.040 kgs.).



FORTUNE — LDR.

MICROPISTA - 1 (UNIDAD DE DOS TAMBORES)

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

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

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

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

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

**Fortune
Electronics, Inc.**

H. H. HAPPEL — H. H. HAPPEL, Jr.
 1505 SOUTH BOULEVARD, HOUSTON, TEXAS

Representante en Europa:

Techmation
 113 Rue Lamarck, Paris, Francia.



¿ Sabe usted
con qué nombre
se vende
el papel sismográfico
de mayor confianza
en el mundo ?

Con el nombre de papel **Kodak** LINAGRAPH 480

**GEOFISICOS CONSULTORES PARA
PETROLEOS MEXICANOS**



*Seismograph Service Corporation
of Mexico*

AVE. JUAREZ 95-207 • MEXICO I, D.F.

TELEFONOS : 18-27-25 • 18-56-33

SUBSIDIARIA DE

SEISMOGRAPH SERVICE CORPORATION

6200 East 41st. St. • Box 1590 • Tulsa, Oklahoma, U.S.A.

ESPECIALIZADOS EN :

**SERVICIO DE
GEOFISICA**

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

**SERVICIO DE
REGISTRO DE POZOS**

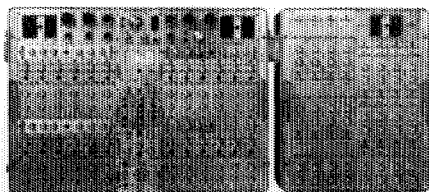
- Registros para Evaluación de Formaciones
- Registros de Pozos de Producción
- Servicio de Terminación Permanente
- Registro Continuo de Velocidad

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:

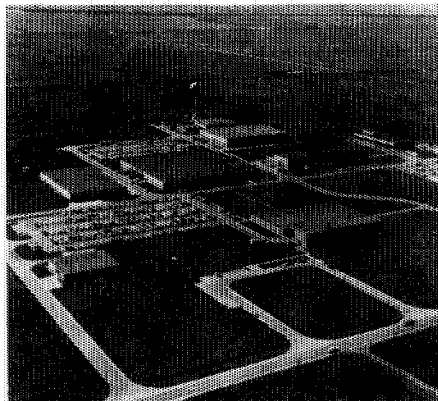
1. El sistema P-11, completamente portátil, integrable e independiente.
2. MR-4—el primer sistema de registro magnético FM (frecuencia modulada) aceptado por la industria.
3. PMR-6—el primer sistema portátil del registro magnético.
4. MS-12—el primer sistema para reducir datos sísmicos y procesar las 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).

BOLETIN

de la

Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración

S U M A R I O

“Correlación Estadística (Aplicada a la Interpretación Sismológica)”, por el Ing. *José Luis Orozco Jiménez*.

“FORO ABIERTO”

Determinación de la Cubierta Optima de Sismodetectores Múltiples, por el Ing. *Mariano Heránndez Moedano*.

Nuevos Socios.

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.

Impreso por Abastecedora de Impresos, S. A. — Dr. Jiménez No. 352 — México 7, D. F.
Teléfono 19-56-75 con 3 líneas.

CORRELACION ESTADISTICA

(Aplicada a la Interpretación Sismológica)*

Por el Ing. *José Luis Orozco y Jiménez***

RESUMEN:

Se plantea el problema de la interpretación sismológica con relación a las posibilidades de aplicar en la solución de algunos de sus aspectos la teoría de la probabilidad, mediante el análisis harmónico generalizado: periódico, aperiódico y fortuito. Se presentan algunos ejemplos de medición de funciones de correlación de la señal sismológica y de separación de sus componentes periódicos y fortuitos. Se postulan conclusiones.

I.—ANTECEDENTES

En la búsqueda permanente de una mejor información destinada a la interpretación sismológica se ensayan, constantemente, diversas técnicas cuya finalidad principal consiste en aumentar la relación señal ruido.

Este es un problema que se ha examinado en estudios exhaustivos realizados sobre comunicaciones electromagnéticas con resultados positivos, mediante el empleo de sistemas de correlación estadística auxiliados por los modernos métodos y equipos de cálculo.

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

** Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.

En forma análoga, desde hace algunos años se ha intentado emplear técnicas semejantes en el campo de la sismología.

Por su extraordinaria importancia, en el presente trabajo se pretende examinar algunos aspectos de tan interesante cuestión.

II.—PROPAGACION SISMOLOGICA

El examen más somero de un sismograma revela la existencia de un conjunto de eventos que pueden ser agrupados en atención a una o varias características comunes entre sí, determinadas genéricamente, por las funciones de tiempo, amplitud y fase correspondientes.

Si se toma en cuenta que cada traza en el sismograma representa una secuencia de la propagación elástica de la energía proveniente de la conmoción sísmica, expresada en forma de un proceso ondulatorio, es de suponerse, y así sucede en realidad, que una combinación de varias trazas arregladas de tal manera que registren oscilaciones sucesivas en un plano, tal como ocurre en una línea de detección, registren eventos análogos identificables por su alineamiento en tiempo y su forma o carácter.

Estos eventos representan en realidad, perturbaciones operadas en el proceso normal de propagación cuando éste sufre la acción de anisotropías representadas por cambios bruscos registrados en la densidad física y en los parámetros elásticos característicos de las condiciones estratigráficas y estructurales del medio en que aquélla se realiza.

De esta manera, el conjunto de eventos contenidos en una sección de sismogramas, como expresiones invariantes de la referidas condiciones densimétrico elásticas, para una transformación determinada de coordenadas, representada en este caso por la transferencia de la energía elástica expresada en valores de tiempo, amplitud y fase, equivale a un cuadro integral de la sección geológica respectiva.

Cuando en la interpretación de información sismológica de esta naturaleza se busca destacar la que proviene de las condiciones estructurales con sus anisotropías continuas producidas por la estratigrafía sedimentaria, el resto de aquélla deberá ser eliminada por su carácter perturbador.

Dicha información espúrea, a la que genéricamente se le ha denominado ruido, puede estar formada por ondas sismológicas coherentes en las que es posible distinguir alineación en tiempo y carácter, o por ondas incoherentes desprovistas de tales atributos.

Ambos tipos de ondas, es decir, las provenientes de las anisotropías o reflectores denominadas señal y las que tienen su origen en otras causas al superponerse o combinarse dan origen a las ondas registradas en el sismograma.

En estas condiciones, la manera aparente de destacar a la señal consiste en reducir el ruido mediante el empleo de medios y procesos discriminatorios basados, por lo general, en ciertas diferencias estructurales existentes entre las ondas que forman la señal y las que ocasionan el ruido.

En efecto, aunque tanto la señal como el ruido están formados de procesos ondulatorios, de carácter transitorio, los límites paramétricos respectivos, son diferentes para cada clase de ondas, de manera que, por ejemplo, la velocidad de propagación, amplitud y frecuencia de las ondas de ruido son diferentes a las de la señal.

Con base en estas diferencias se han ideado sistemas que permiten la separación de unas y otras ondas, discriminando a las de ruido para destacar a aquéllas que forman la señal.

Entre estos sistemas figura el de la correlación estadística por lo que se refiere a la eliminación del ruido incoherente, sujeto al azar y, por consecuencia, a las leyes de la probabilidad.

III.—EL PROBLEMA

En la Fig. 1, se muestra la reproducción de un sismograma común y corriente como un caso de la clase de material que en múltiples ocasiones tiene que ser interpretado. En este sismograma no es posible destacar, a primera vista, los alineamientos ondulatorios que puedan ser identificados como reflejos, aunque se presume que éstos puedan existir encubiertos por las ondas distorsionadas contenidas en el mismo. En estas condiciones, el problema de la correlación estadística consiste en tratar de destacar los verdaderos reflejos, si los hay, empleando las técnicas adecuadas.



FIG. 1

Consecuentemente con dichas técnicas, el sismograma en cuestión representa un conjunto de eventos que pueden ser identificados y clasificados de conformidad con algunas características que le sean comunes en las cuales, implícitamente están establecidas las relaciones de causalidad específica que los rigen y, mediante la aplicación adecuada de aquéllas, desdoblarlos en sus componentes genéricos de ruido y señal.

Si para el efecto se miden los valores de amplitud a intervalos de tiempo regulares en todas o algunas de sus trazas con respecto a un nivel de referencia determinado, se suman algebraicamente los valores leídos para obtener la media estadística.

Si posteriormente esta media particular o general es restada de cada uno de los valores de amplitud leídos y la diferencia, positiva o negativa multiplicada para cada caso por el intervalo de tiempo correspondiente, se obtiene el porcentaje de probabilidad de error de dicho valor. De esta manera, cada valor de amplitud leído tendrá su correspondiente probabilidad de error y formará parte de una distribución discreta de la probabilidad, cuyos valores límites serán 0 y 1.

La distribución discreta de la probabilidad puede escribirse, como sigue:

$$D(X) = P(X \leq x) = \sum P x \dots\dots\dots; 2$$

Para el caso de una distribución continua de la probabilidad, los valores en los puntos x , deberán expresarse en términos de una función $w(x)$

llamada comúnmente de densidad de la probabilidad en el citado punto, por lo que resulta:

$$D(x) = \int_{-x}^{+x} w(x) dx \dots\dots\dots; 3$$

en la inteligencia de que $w(x) dx$, representa la probabilidad de que una variable fortuita X , tenga un valor x en el rango $(x, x, + dx)$, y se le llama, a menudo, el elemento de la probabilidad de x .

Para una distribución continua $w(x)$ representa a la función normal de frecuencia, de manera que puede escribirse, como sigue:

$$w(x) = \sqrt{\frac{1}{2\pi}} e^{-x^2/2} \dots\dots\dots; 4$$

advertido de que la distribución de la probabilidad resulta igual a:

$$D(x) = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{x}{\sqrt{2}}, \operatorname{erf}(x) \right] \dots\dots\dots; 5$$

Ahora bien, para los casos de las distribuciones continuas, la función de X posee una derivada $D'(x) = w(x)$, llamada función de frecuencia o distribución de densidad de X , expresada en términos de los valores x que la variable fortuita X puede asumir en un ensayo del experimento E .

Esta función de distribución de X , puede escribirse:

$$Q(x) = \int_{(x)} dD(x) \dots\dots\dots; 6$$

y, para una función g de X ,

$$Z(a, b) = \int_a^b g(x) dD(x) \dots\dots\dots; 7$$

en la inteligencia de que, para el caso de una distribución continua, esta última ecuación, puede escribirse:

$$Z(a, b) = \int_a^b g(x) w(x) dx \dots\dots\dots ; 8$$

Ahora bien, si la distribución $D(x)$ de la probabilidad se normaliza a 1 dentro de los límites de $+\gamma$ — el infinito, y la densidad de la probabilidad $w(x)$ es tomada como función no de x , sino de $(x - x_0)$, de manera que pueda escribirse:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta_{\alpha}(x - x_0) dx = 1 \dots\dots\dots ; 9$$

resulta, cuando Δx , se aproxima a 0, un tipo de función que Dirac llamó función Delta, cuyas características fundamentales son:

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \delta_{\alpha}(x - x^1) = \delta(x - x^1) ; \text{ Cuando } \delta_{\alpha} = \frac{\alpha}{\pi} [\alpha^2 + (x - x^1)^2]$$

$$\text{o bien: } \delta_{\alpha} = \frac{\text{Sen } \alpha^{-1}(x - x^1)}{\pi(x - x^1)} \quad \text{o Cuando: } \delta_{\alpha} = \frac{1}{\alpha} e^{-(x - x^1)/\alpha} \quad .10$$

$$\text{así como: } \int_{-\infty}^{\infty} e^{\pm 2\pi j x t} dt = \delta(x - 0)$$

$$\text{o bien } \int_{-\infty}^{\infty} e^{\pm 2\pi j (x - x^1)} dt = \delta(x - x^1)$$

Ahora, si $w(x)$ representa a una función de densidad de la probabilidad de una función fortuita X , la que puede ser continua, discreta o mixta, se puede escribir:

$$g(X) = E[g(X)] = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) w(x) dx \dots\dots\dots ; 11$$

para el medio ponderado, valor medio o probabilidad de la función $g(x)$ con respecto a la función $w(x)$ de distribución de densidad, en la inteligencia de que de esta clase de valores medios el más importante es, sin duda, el representado por la función característica, mismo que puede expresarse, como sigue:

$$E(e^{j\mu X}) = \int_{-\infty}^{\infty} w(x) e^{j\mu x} dx = F_x(\mu) \dots\dots\dots; 12$$

en la inteligencia de que, por otra parte, se puede escribir:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F_x(\mu) e^{-j\mu x} d\mu &= \\ &= \frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty}^{\infty} w(x^1) e^{j\mu(x^1 - x)} dx^1 d\mu = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} w(x^1) \delta(x^1 - x) dx^1 = w(x) \dots\dots 13 \end{aligned}$$

de donde resulta que la función característica $F_x(\mu)$ y la función de distribución de la densidad $w(x)$, forman un par transformado de Fourier. Pero si se toma en cuenta que la ecuación intermedia de la igualdad (13) representa al Teorema de la Integral de Fourier, resulta que éste aparece como un caso del uso de las funciones Delta de Dirac.

Las condiciones establecidas en las igualdades (12) y (13) conducen al Teorema de Wiener para la autocorrelación. En efecto, de acuerdo con el mismo, se tiene: La función de autocorrelación de una función fortuita y el espectro de la densidad de potencia de la misma se encuentran relacionadas entre sí por una transformación cosinusoidal de Fourier, como sigue:

$$\phi_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{11}(\omega) \cos \omega \tau d\omega \dots\dots\dots 14$$

$$y \Phi_{11}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{11}(\tau) \cos \omega \tau d\tau \dots\dots 15$$

El supuesto principal contenido en el Teorema de Wiener consiste en la existencia de la función de autocorrelación y la comunidad de la misma a todas las funciones miembros del conjunto considerado, lo que implica la condición de que cada miembro del conjunto tiene el mismo espectro de densidad de potencia, independientemente de la forma ondulatoria de aquél. Esta es una condición muy importante para las consideraciones que se formularán posteriormente.

Ahora bien, si analógicamente a la Función Característica $F_x(\mu)$ de las igualdades (12) y (13) se les identifica con la función de autocorrelación $\phi_{11}(\tau)$, y a la Función de Distribución de Densidad $w(x)$, con el espectro de densidad de potencia $\Phi_{11}(\omega)$, se llega a la conclusión de que la función de autocorrelación equivale a una función de probabilidad, por lo que, de acuerdo con el Teorema de la Integral de Fourier, se puede escribir:

$$\phi_{11}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{jw\tau} dw \int_{-\infty}^{\infty} f_{11}(\mu) e^{-jw\mu} d\mu \dots ; 16$$

en el entendido de que:

$$F_{11}(\mu) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f_{11}(\mu) e^{-jw\mu} dw \dots\dots\dots ; 17$$

y, por consiguiente:

$$\phi_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} F_{11}(w) e^{jw\tau} dw \dots\dots\dots ; 18$$

En estas condiciones se puede proseguir el análisis del problema de la correlación estadística aplicada a la sismología, como sigue:

Si las variables independientes x e y representan a las funciones de señal y ruido respectivamente, la información recogida puede ser considerada como una función de ambas, misma que puede expresarse por: $f(x, y)$, cuyas transformadas de Fourier con respecto a x e y , son:

$$\bar{f}(\xi, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{j\xi x} dx \dots\dots\dots; 19$$

y,

$$F(\mu, \eta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{f}(\xi, y) e^{j\xi y} dy \dots\dots\dots; 20$$

y combinando a ambas ecuaciones, resulta:

$$F(\xi, \eta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j(\xi x + \eta y)} dx dy \dots\dots\dots 21$$

Pero:

$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{f}(\xi, y) e^{-j\xi x} d\xi \dots\dots\dots; 22$$

y, en forma análoga:

$$\bar{f}(\xi, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(\xi, \eta) e^{-j\eta y} d\eta \dots\dots\dots 23$$

por lo que, de estas dos últimas ecuaciones, resulta:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(\xi, \eta) e^{-j(\xi x + \eta y)} d\xi d\eta \dots 24$$

Ahora bien, para el caso de que tentativamente se pueda escribir:

$$r = (x^2 + y^2)^{1/2} \dots\dots\dots 25^a$$

resulta:

$$F(\xi, \eta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\sqrt{x^2 + y^2}) e^{j(\xi x + \eta y)} dx dy \dots\dots\dots 25^b$$

Si en esta integral se hacen las siguientes substituciones:

$$\begin{array}{cccc} \text{a} & \text{b} & \text{c} & \text{d} \\ x = r \cos \theta; & y = r \sin \theta; & \xi = \rho \cos \Phi; & \eta = \rho \sin \Phi; \dots 26 \end{array}$$

entonces, puesto que:

$$dx dy = r dr d\theta \dots\dots\dots 27$$

y,

$$\xi x + \eta y = r \rho \cos(\theta - \Phi) \dots\dots\dots 28$$

resulta que la integral se transforma en:

$$\begin{aligned}
 F(\xi, \eta) &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty r f(r) dr \int_0^{2\pi} e^{j\rho r \cos(\theta - \phi)} d\theta = \\
 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty r f(r) dr \int_0^{2\pi} e^{j\rho r \cos \theta} d\theta \quad 29
 \end{aligned}$$

y, puesto que:

$$\int_0^{2\pi} e^{j\rho r \cos \theta} d\theta = 2\pi J_0(\rho r) \dots\dots\dots ; 30$$

se puede escribir:

$$F(P) = \int_0^\infty r f(r) J_0(\rho r) dr \dots\dots\dots ; 31$$

o bien:

$$f(r) = \int_0^\infty \rho F(\rho) J_0(\rho r) d\rho \dots\dots\dots ; 32$$

cuya transformada de Hankel viene expresada por:

$$F(P) = \frac{a}{r} J_1(ar) \dots\dots\dots \text{para } 0 < r < a \dots ; 33$$

en donde:

r = Valor límite absoluto del doble del espectro

$$\text{complejo} = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2}$$

y,

$F(P) =$ Función de correlación correspondiente.

Por otra parte, la distribución de la probabilidad equivale a la transformada de un espectro de potencia, según se demostrará a continuación:

La función característica de la densidad de la probabilidad $P_{\xi}(x)$, viene expresada por:

$$P_{\xi}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} P_{\xi}(x) e^{j t x} d x \dots\dots\dots 34$$

es decir, la función característica es igual a la transformada de Fourier de la función de densidad de la probabilidad; en la inteligencia de que se trata de una transformada especial debido a que la función bajo transformación es real, no negativa, con una integral sobre $-\infty, +\infty$, e igual a 1.

Por otra parte la función de la densidad normal viene expresada por:

$$P_{\xi}(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \pi} \sigma} e^{- (x - m)^2 / 2 \sigma^2} \dots\dots\dots 35$$

Ahora bien, se puede escribir:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2 \pi} \sigma} e^{- (x - m)^2 / 2 \sigma^2} d x = 1 = \int_{-\infty}^{\infty} A e^{- x^2 / 2 \sigma^2} d x$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} A e^{- x^2 / 2 \sigma^2} d y = 1 \dots\dots\dots 36$$

cuando:

$$A = 1/ \sqrt{2 \pi \sigma} \dots\dots\dots ; 37$$

de esta manera, cambiando a coordenadas polares:

$$\begin{aligned} A^2 \int_0^{2\pi} \int_0^\infty e^{-r^2/2\sigma^2} r dr d\theta &= 1 \\ &= (1/2 \pi \sigma) \int_0^\infty r dr \int_0^{2\pi} e^{-r^2/2\sigma^2} d\theta \dots\dots\dots ; 38 \end{aligned}$$

cuando:

$$r^2 = x^2 + y^2 \dots\dots\dots ; 39$$

lo que significa, simplemente que la función de la densidad normal representa el caso límite en el que:

$$\begin{array}{cc} \text{(a)} & \text{(b)} \\ \xi = j x & ; \quad \eta = j y \dots\dots\dots ; 40 \end{array}$$

por lo que:

$$\begin{aligned} j (\xi x + \eta y) &= j (jxx + jyy) \\ &= - (x^2 + y^2) = -r^2 \dots\dots\dots ; 41 \end{aligned}$$

condición que ocurre, cuando:

$$\theta \longrightarrow \phi \dots\dots\dots ; 42$$

es decir, cuando la autocorrelación es máxima. condición que solamente puede ocurrir en los espectros de potencia de los reflejos.

IV.—CONCLUSIONES

A guisa de conclusiones, de lo anteriormente expuesto se puede postular el siguiente método para la correlación estadística aplicada a la sismología:

1ro.—Determinar las curvas de la DISTRIBUCION NORMAL DE LA DENSIDAD para cada una de las trazas del sismograma, que se hayan seleccionado, para lo cual, previamente se habrán determinado:

a).—El valor medio de m , de la variable fortuita ξ aplicando la ecuación:

$$\bar{\xi} = \frac{1}{n} (\bar{\xi}_1 + \bar{\xi}_2 + \dots + \bar{\xi}_i + \bar{\xi}_n) = f(\bar{t}) = m. \dots 43$$

b).—La variancia σ^2 , de la misma mediante el empleo de las siguientes relaciones:

$$\sigma_{\xi}^2 = \bar{\xi_j^2} - \bar{\xi_j}^2 = \bar{\xi_j^2} - m^2 \dots \dots \dots ; 44$$

cuando:

$$\bar{\xi_j} = (1/n) (z_1^{(1)} + z_1^{(2)} + \dots + z_1^{(n)} + \dots + z_n^{(1)} + \dots + z_n^{(n)}) \dots ; 45$$

en el entendido de que:

$$z_{ij} = x_{ij} y_{ij} \dots \dots \dots ; 46$$

y, por consiguiente, para cualesquier traza se puede escribir:

$$\begin{aligned}
 z^{(i)} &= (1/n) (x_1^{(i)} y_1^{(i)} + x_2^{(i)} y_2^{(i)} + \dots + x_n^{(i)} y_n^{(i)}) = \\
 &= (1/n) (z_1^{(i)} + z_2^{(i)} + \dots + z_n^{(i)}) \dots\dots\dots 47
 \end{aligned}$$

2do.—Calculados los valores m y σ^2 , procede la aplicación de la ecuación 35 a fin de obtener la curva de densidad normal, sustituyendo en dicha ecuación en lugar de x , los valores calculados de $z^{(i)}$, para cada traza, obteniéndose, de esta manera, tantos conjuntos de valores de probabilidad como trazas se hayan seleccionado.

3ro.—Los valores así obtenidos que corresponden a los de r , en la ecuación 33, deberán substituirse en la misma normalizándolos a un determinado valor de a , calculándose de esta manera los valores de correlación.

Como estos últimos están expresados en términos de una Función de Bessel, de orden 1, al ser desarrollados vienen a representar una secuencia de procesos oscilatorios que sensiblemente corresponden a los transitorios de la propagación sísmológica y, por consiguiente, su alineamiento probable resulta invariante al de los reflejos respectivos.

4o.—Tomando en consideración que por la naturaleza misma del problema que implica el cálculo de conjuntos los sistemas adecuados en problemas rutinarios de correlación estadística es preferible sean resueltos con el auxilio de computadoras electrónicas.

La realización de este trabajo fue posible debido al apoyo decidido y consejo del señor Ing. Antonio García Rojas, Gerente de Exploración de Petróleos Mexicanos y a las atinadas sugerencias, comprensión y estímulo de los señores Ings. Alfonso Cornejo Toledo y Armando Eguía Huerta, Jefes de la Oficina de Reinterpretación y de la Sección respectiva de la Zona Norte, dependiente de la Gerencia de Exploración; para ellos el más profundo agradecimiento del autor.

BIBLIOGRAFIA

Statistical Theory of Communication.—Y. W. Lee.—John Wiley and Sons, Inc. 1960.

Extraction of Signals from Noise.—L. A. Wainstein y V. D. Zubakov. Traducida del Ruso por R. A. Silverman. Prentice Hall, Inc. 1962.

An Introduction to Statistical Communication Theory.—David Middleton.—Mc Graw-Hill Book Co. Inc. 1960.

Frequency Analysis Modulation and Noise.—Stanford Goldman. Mc Graw-Hill Book Co. Inc. 1948.

Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series.—Norbert Wiener.—John Wiley and Sons. 1960.

Transient Circuit Analysis.—Y. H. Ku.—D. Van Nostrand Co. Inc. 1961.

CORRELACION ESTADISTICA (Aplicada a la Interpretación Sismológica)

A P E N D I C E "A"

CORRELACION DE FUNCIONES PERIODICAS

Para el caso de la correlación entre funciones periódicas, se puede escribir:

$$\frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} f_1(t) f_2(t + \tau) dt \dots \dots \dots ; 1$$

en donde $f_1(t)$ y $f_2(t)$ tienen la misma frecuencia angular fundamental w_1 y τ , representa un desplazamiento continuo de tiempo registrado entre los límites $(-\infty, \infty)$ independientemente de t .

La integral 1 involucra las siguientes operaciones importantes:

1a.—El desplazamiento en un tiempo τ , de la función periódica $f_2(t)$.

2a.—El producto o multiplicación de esta función desplazada por la otra función periódica $f_1(t)$, de la misma frecuencia.

3a.—La integración dentro de los límites de un período del producto instantáneo obtenido por la operación anterior.

4a.—La repetición de los tres pasos precedentes para cada valor de τ , en el intervalo de $(-\infty, \infty)$, con lo que genera una función de τ .

Por otra parte, la Transformada de Fourier de la expresión 1, es igual a:

$$\overline{F_1}(n) F_2(n) \dots \dots \dots ; 2$$

cuando: $F_1(n) =$ Espectro complejo de $f_1(t)$;
 $\dots \dots \dots ; 3$

y. $F_2(n) =$ Idem $f_2(t)$

y, por consiguiente:

$$\overline{F(n)} F(n) = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} e^{-j n \omega_1 \tau} d\tau \frac{1}{T_1}$$

$$\int_{-T_1/2}^{T_1/2} f_1(t) f_2(t + \tau) dt \dots \dots \dots ; 4$$

Ahora bien, son casos concretos de la correlación periódica: la autocorrelación y la correlación cruzada, mismos que se examinarán a continuación:

A).—AUTOCORRELACION

Cuando en la expresión 1 se tiene la condición especial de que $f_1(t) = f_2(t)$, ocurre el caso de la autocorrelación; lo que equivale a la correlación de una función respecto a sí misma cuando se le desplaza en valores sucesivos de τ , ubicados dentro de los límites de menos y más el infinito.

En estas condiciones, si en la igualdad 4 se escribe:

$$\phi_{11} = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} f_1(t) f_1(t + \tau) dt \dots \dots \dots ; 5$$

y,

$$\Phi_{11}(n) = \overline{F(n)} F(n) \dots \dots \dots ; 6$$

entonces, se puede escribir:

$$\phi_{11}(n) = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} \phi_{11}(\tau) e^{-j n \omega_1 \tau} d\tau \dots \dots \dots ; 7$$

con lo que se viene a establecer un par de relaciones recíprocas que expresan una forma particular del Teorema de Correlación llamada Teorema de Auto-correlación de Funciones Periódicas.

Por otra parte, se tiene:

$$E_1(n) = (1/2) (a_n - jb_n) \dots \dots \dots ; 8a$$

$$y, \quad \bar{F}_1(n) = (1/2) (a_n + jb_n) \dots \dots \dots ; 8a$$

por lo que:

$$\bar{F}_1(n) F_1(n) = (1/4) (a_{1n}^2 + b_{1n}^2) = \dots \dots \dots ; 9$$

$$\text{para } n = 0 ; \pm 1 ; \dots \dots$$

y, por consiguiente:

$$\begin{aligned} \phi_{11}(\tau) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Phi(n) e^{jn w_1 \tau} = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2} (a_{1n}^2 + b_{1n}^2) \cos n w_1 \tau \dots \dots \dots ; 10 \end{aligned}$$

de donde resulta que, la función de autocorrelación de las funciones periódicas equivale, como lo afirma Lee (1), a una SERIE COSINUSOIDAL CON AN-
GULOS DE FASE IGUALES A 0, PARA TODAS LAS HARMONICAS
PRESENTES EN LA FUNCION DADA Y, CUYOS COEFICIENTES SON
IGUALES A LOS VALORES CUADRADOS MEDIOS DE LAS CORRES-
PONDIENTES HARMONICAS DE DICHA FUNCION; en la inteligencia de
que su término constante, en forma análoga, ES IGUAL AL CUADRADO
MEDIO de la mencionada constante.

(1) Statistical Theory of Communication.—Y. W. Lee.—Wiley.—1960.

En las figuras 1 y 2, se consignan dos ejemplos de funciones de autocorrelación. El primero se refiere a la autocorrelación de una senoide para un desplazamiento angular igual a θ . En el segundo se obtiene la ecuación analítica de la función de autocorrelación de una onda periódica de pulsos triangulares.

AUTOCORRELACION DE UNA ONDA SINUSOIDAL PERIODICA

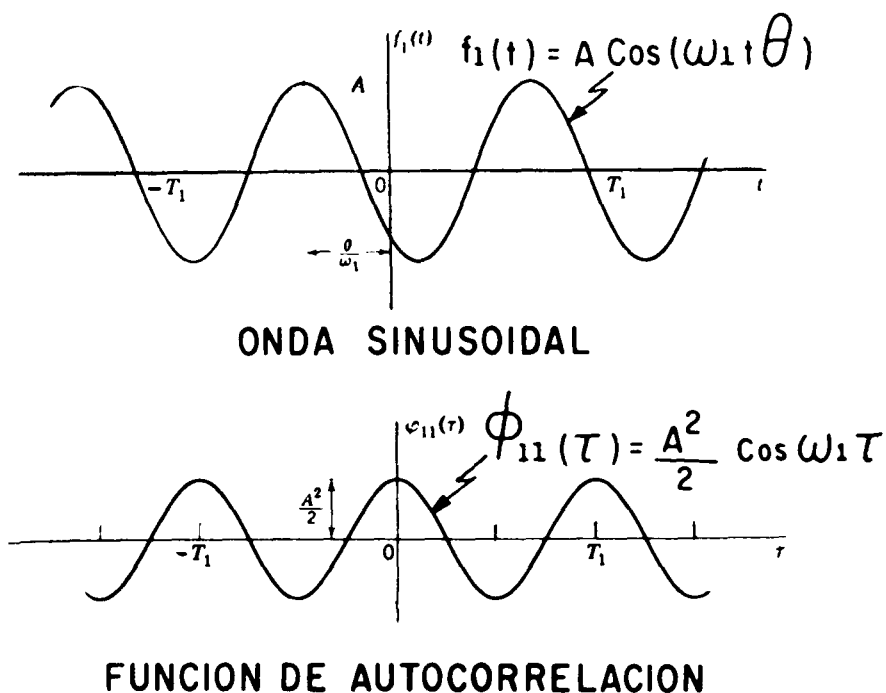
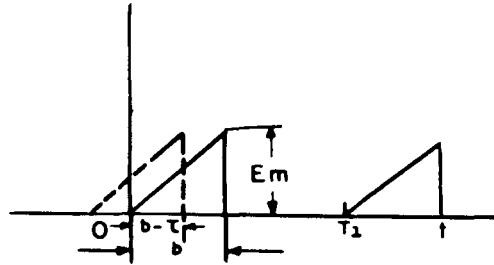


FIG. 1

AUTOCORRELACION DE UNA ONDA PERIODICA

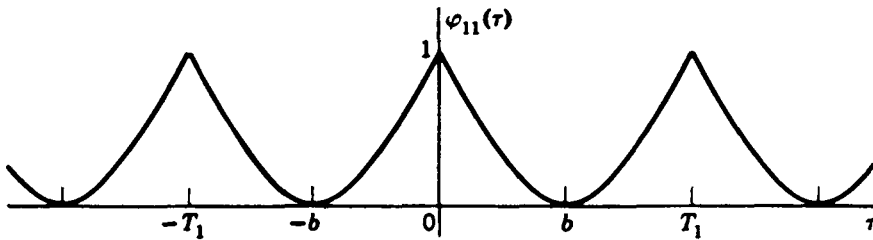


ONDA PERIODICA DE PULSOS TRIANGULARES

$$\varphi_{11}(\tau) = \frac{1}{T_1} \int_0^{b-\tau} \frac{E_m^2}{b^2} t(t+\tau) dt$$

$$= \frac{E_m^2}{6b^2T_1} [2(b-\tau)^3 + 3\tau(b-\tau)^2]$$

$$= \frac{E_m^2}{6b^2T_1} (\tau^3 - 3b^2\tau + 2b^3) \quad \text{for } 0 \leq \tau \leq b$$



FUNCION DE AUTOCORRELACION

FIG. 2

B).—CORRELACION CRUZADA DE ONDAS PERIODICAS

Para el caso de la correlación cruzada, se puede escribir:

$$\phi_{12}(\tau) = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} f_1(t) f_2(t + \tau) dt \dots\dots ; 11$$

y, para el espectro cruzado de potencia, se tiene:

$$\phi_{12}(n) = \overline{F_1}(n) F_2(n) \dots\dots\dots ; 12$$

por lo que, intercambiando, resulta:

$$\phi_{21}(\tau) = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} f_2(t) f_1(t + \tau) dt \dots\dots ; 13$$

$$\text{y,} \quad \Phi_{21}(\tau) = \overline{F_2}(n) F_1(n) \dots\dots\dots ; 14$$

en el entendido de que para $-\tau$, o bien para $x = t - \tau$, se tiene:

$$\phi_{12}(-\tau) = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} f_1(t) f_2(t - \tau) dt \dots\dots ; 15$$

o bien:

$$\phi_{12}(-\tau) = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} f_2(x) f_1(x + \tau) dx \dots\dots ; 16$$

Asimismo, las relaciones recíprocas de las ecuaciones 11 a 14 inclusive, son las siguientes:

$$\phi_{12}(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Phi_{12}(n) e^{jn\omega_1\tau} \dots\dots\dots; 17$$

y,

$$\phi_{12}(n) = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} \Phi_{12}(\tau) e^{-jn\omega_1\tau} d\tau \dots\dots; 18$$

y, en forma análoga:

$$\phi_{21}(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Phi_{21}(n) e^{jn\omega_1\tau} \dots\dots\dots 19$$

$$\Phi_{21}(n) = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} \phi_{21}(\tau) e^{-jn\omega_1\tau} d\tau \dots\dots; 20$$

en donde:

$$F_1(n) = (a_{1n} - jb_{1n})/2 \dots\dots\dots; 21$$

y,

$$F_2(n) = (1/2)(a_{1n} - jb_{2n}) \dots\dots; \text{para } n = 0; \pm 1; \dots\dots 22$$

y para cualesquiera de las funciones $f_1(t)$ y $f_2(t)$, se puede escribir:

$$e_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} \dots\dots\dots; 23$$

y,

$$\theta = \tan^{-1}(-b_n/a_n) \dots\dots\dots; 24$$

por lo que:

$$F(n) = (e_n/2) e^{j\theta n} \dots\dots\dots ; 25$$

Ahora, combinando las ecuaciones 17, 18 y 19, se tiene:

$$\phi_{12}(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{C_1 n C_2 n}{4} e^{j(n w_1 \tau + \theta_2 n - \theta_1 n)} \dots\dots ; 26a$$

o, bien:

$$\phi_{12}(\tau) = \frac{a_{10} a_{20}}{4} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} C_1 n C_2 n \cos(n w_1 \tau + \theta_1 \tau - \theta_2 n) \dots\dots ; 26b$$

y, de manera semejante:

$$\phi_{21}(\tau) = \frac{a_{20} a_{10}}{4} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} C_2 n C_1 n \cos(n w_1 \tau + \theta_1 n - \theta_2 n) \dots\dots ; 27$$

así como:

$$\phi_{12}(\tau) = \sum C_1 n C_2 n \cos(n w_1 \tau + \theta_2 n - \theta_1 n) \dots\dots ; 28$$

y,

$$\phi_{21}(\tau) = \sum C_2 n C_1 n \cos(n w_1 \tau + \theta_1 n - \theta_2 n) \dots\dots ; 29$$

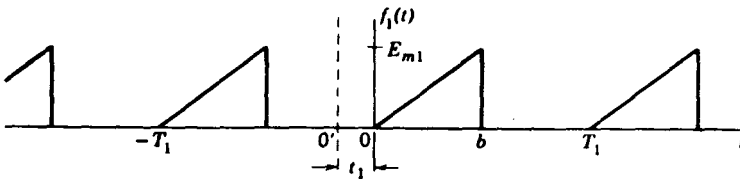
en donde:

$$(a) \quad C_1 n = \frac{C_1 n}{\sqrt{2}} \quad ; \quad Y \quad (b) \quad C_2 n = \frac{C_2 n}{\sqrt{2}} \quad \dots\dots ; 30$$

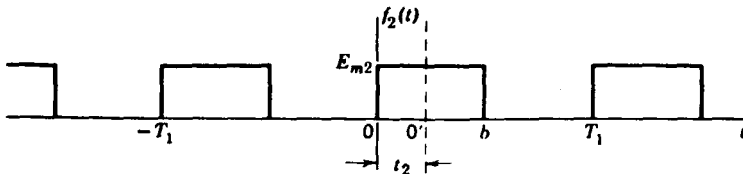
lo que significa que si $C_1 n$ y $C_2 n$ representan amplitudes máximas de las armónicas n , de las funciones $f_1(t)$ y $f_2(t)$, respectivamente, en tanto de C_{1n} y C_{2n} equivalen a los valores reales (*rms*) correspondientes a las armónicas respectivas y, por consiguiente, las ecuaciones 28 y 29 expresan el hecho QUE LOS COEFICIENTES DE LAS HARMONICAS EN UNA FUNCION DE CORRELACION CRUZADA DE DOS FUNCIONES PERIODICAS DE LA MISMA FRECUENCIA FUNDAMENTAL, ES IGUAL AL PRODUCTO DE LOS VALORES EFECTIVOS (*rms*) DE LAS HARMONICAS CORRESPONDIENTES EN AMBAS FUNCIONES.

Las figuras 3 y 4 representan ejemplos de una correlación entre dos ondas periódicas de pulsos triangulares y rectangulares, respectivamente.

CORRELACION DE DOS ONDAS PERIODICAS (CRUZADAS)



ONDA PERIODICA DE PULSOS TRIANGULARES



ONDA PERIODICA DE PULSOS RECTANGULARES

FIG. 3

Tomada de "Statistical Theory of Communication", por Y. W. LEE.

CORRELACION CRUZADA DE DOS ONDAS PERIODICAS (PULSOS TRIANGULARES Y RECTANGULARES)

$$\begin{aligned}\phi_{12}(\tau) &= \frac{1}{T_1} \int_0^{b-\tau} \frac{E_{m1}E_{m2}}{b} t \, dt \\ &= \frac{E_{m1}E_{m2}}{4b^2} (b - \tau)^2 \quad \text{for } 0 \leq \tau \leq b\end{aligned}$$

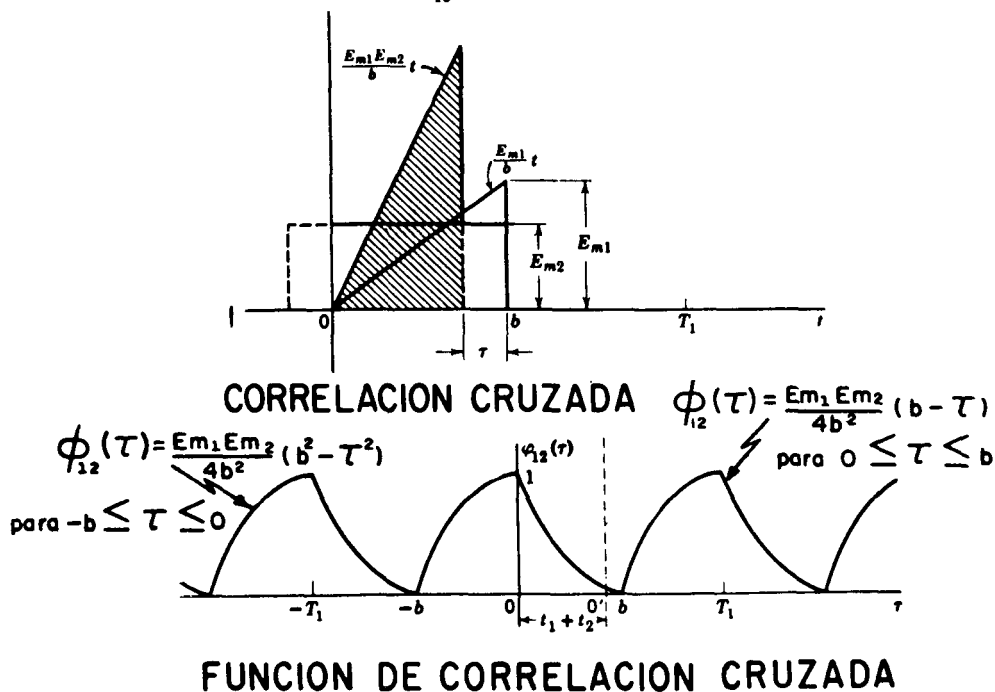


FIG. 4

APENDICE "B"

CORRELACION DE FUNCIONES APERIODICAS O TRANSITORIAS

Cuando se combinan las ecuaciones:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(n) e^{j n w_1 t} \dots\dots\dots ; 1$$

y,

$$F(n) = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} f(t) e^{-j n w_1 t} dt \dots\dots\dots ; 2$$

se puede escribir:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{j n w_1 t} \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/2}^{T_1/2} f(\sigma) e^{-j n w_1 \sigma} d\sigma \dots\dots ; 3$$

y, puesto que:

$$\frac{1}{T_1} = \frac{w_1}{2\pi}$$

resulta:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{j n w_1 t} w_1 \int_{-T_1/2}^{T_1/2} f(\sigma) e^{j n w_1 \sigma} d\sigma \dots\dots ; 4$$

y para $(-\infty, \infty)$, se tiene:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega t} d\omega \int f(\sigma) e^{-j\omega t} d\sigma \dots ; 5$$

la que se puede descomponer en:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega \dots \dots \dots ; 6$$

y,

$$F(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \dots \dots \dots ; 7$$

en donde: $F(\omega)$ = Espectro Continuo Complejo de la Función Aperiódica $f(t)$;

en la inteligencia de que:

$$F(\omega) = P(\omega) + jQ(\omega) \dots \dots \dots ; 8$$

y,

$$F(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)} \dots \dots \dots ; 9$$

en donde $F(\omega)$, equivale al Espectro de Densidad de Amplitud de $f(t)$.

Ahora, escribiendo la relación de correlación, somo sigue:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) f_2(t + \tau) dt = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) dt$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} F_2(w) e^{jw(t + \tau)} dw = \int_{-\infty}^{\infty} F(w) e^{jw\tau} dw$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) e^{jw t} dt \dots\dots\dots ; 10$$

= Función de Correlación para funciones Aperiódicas.

Por otra parte:

$$\bar{F}(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) e^{jw t} dt \dots\dots\dots ; 11$$

por lo que sustituyendo en 10, se tiene:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) f_2(t + \tau) dt = \int_{-\infty}^{\infty} 2\pi \bar{F}_1(w) F_2(w) e^{jw\tau} dw \dots\dots\dots ; 12$$

de donde resulta que:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) f_2(t + \tau) dt \quad \text{(a)} \quad \text{y} \quad 2\pi \bar{F}_1(w) F_2(w) \dots\dots\dots ; 13 \quad \text{(b)}$$

forman un Par Transformado de Fourier.

Ahora bien, la correlación de las funciones aperiódicas como la de las periódicas comprende los casos de autocorrelación y correlación cruzada, que se examinan a continuación:

a).—AUTOCORRELACION DE ONDAS APERIODICAS

Si

$$\phi_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) f_1(t + \tau) dt \dots\dots\dots ; 14$$

en donde $\phi_{11}(\tau)$, equivale a la Función de Autocorrelación de la Función Aperiódica $f(t)$; y,

$$\Phi_{11}(w) = 2\pi / F_1(w) \dots\dots\dots ; 15$$

en donde $\Phi_{11}(w)$, representa el Espectro de Densidad de Energía de la función $f_1(t)$; en la inteligencia de que estas relaciones forman el Par Transformado de Fourier, como sigue:

$$\phi_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{11}(w) e^{jw\tau} dw \dots\dots\dots ; 16$$

y,

$$\Phi_{11}(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{11}(\tau) e^{-jw\tau} d\tau \dots\dots\dots ; 17$$

en el que se establece, en términos del Teorema de Autocorrelación LA RELACION RECIPROCA EXISTENTE ENTRE LA FUNCION DE AUTOCORRELACION DE UNA FUNCION APERIODICA Y EL ESPECTRO DE LA CITADA FUNCION DE AUTOCORRELACION.

En las figuras 5 y 6, se consignan ejemplos de la autocorrelación de un Pulso rectangular y del espectro de densidad de energía correspondiente.

b).—CORRELACION CRUZADA DE ONDAS APERIODICAS

Cuando $f_1(t)$ y $f_2(t)$ son dos funciones aperiódicas diferentes, la función de correlación cruzada viene expresada por:

$$\phi_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) f_2(t + \tau) dt \dots\dots\dots ; 18$$

y el espectro de densidad de energía cruzada, por:

$$\Phi_{12}(w) = 2\pi \overline{F_1}(w) F_2(w) \dots\dots\dots ; 19$$

en el entendido que, como en el caso precedente:

$$\phi_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{12}(w) e^{jw\tau} dw \dots\dots\dots ; 20$$

y,

$$\phi_{12}(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{12}(\tau) e^{-jw\tau} d\tau \dots\dots\dots ; 21$$

así como:

$$\phi_{21}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f_2(t) f_1(t + \tau) dt \dots\dots\dots ; 22$$

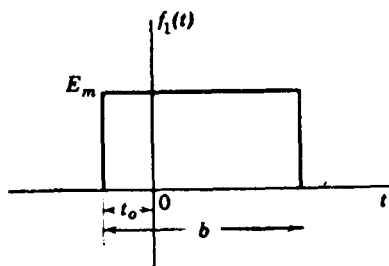
o bien:

$$\Phi_{12}(w) = \overline{\Phi_{21}}(w) \dots\dots\dots ; 23$$

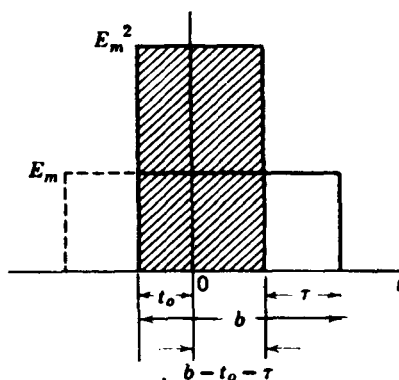
Es conveniente aclarar que la función de correlación cruzada, a diferencia de la de autocorrelación, no es necesariamente una función par.

AUTOCORRELACION DE UN PULSO RECTANGULAR

$$\phi_{11}(\tau) = \begin{cases} E_m^2 (b - |\tau|) \\ 0 \end{cases}$$



PULSO RECTANGULAR



AUTOCORRELACION

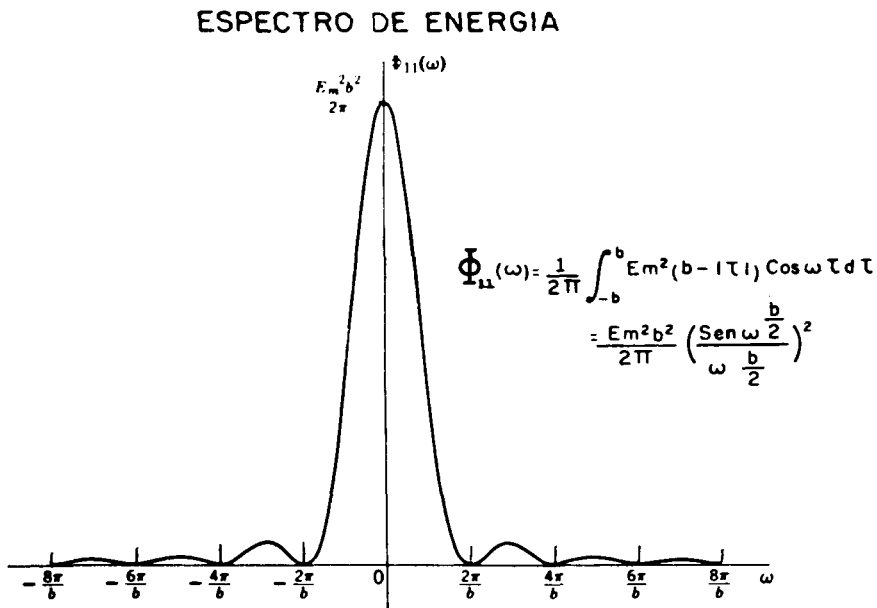
FIG. 5

APENDICE "C"

EJEMPLOS DE AUTOCORRELACION DE FUNCIONES FORTUITAS

En virtud de que en la parte principal de este trabajo se hizo el examen teórico de las Ondas Fortuitas, principalmente, aunque en forma implícita, el presente Apéndice solo comprenderá la descripción somera de algunos ejemplos relativos. Esta descripción se basará en las figuras anexas, como sigue:

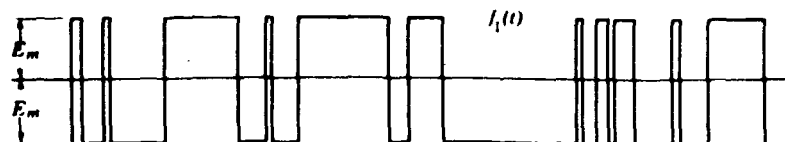
Figura Núm. 7.—Esta figura muestra una onda fortuita caracterizada por dos valores E_m y $-E_m$, que se alternan entre sí a intervalos fortuitos de



ESPECTRO DE ENERGIA DE UN PULSO RECTANGULAR

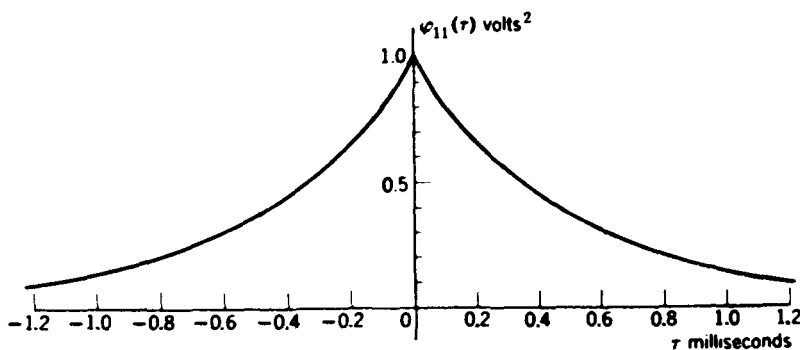
FIG. 6

AUTOCORRELACION DE ONDAS FORTUITAS



ONDA FORTUITA DE DOS VALORES
POSIBLE $+E_m$ y $-E_m$

$$\varphi_{11}(\tau) = E_m^2 e^{-2k|\tau|} \equiv \text{FUNCION DE AUTOCORRELACION}$$



GRAFICA DE LA FUNCION DE AUTOCORRELACION
 $K = 1000$ por segundo
 $E_m = 1$ Volt

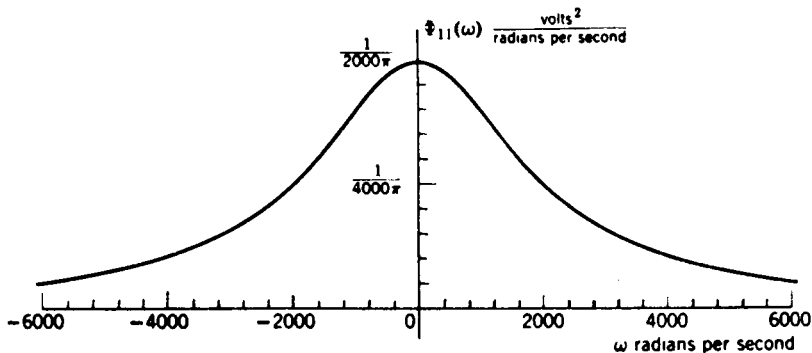
FIG. 7

tiempo y, a su función de autocorrelación respectiva, la que ha sido calculada sobre el supuesto de que los cruces a O de la onda, siguen una distribución de la probabilidad de acuerdo con la relación de Poisson.

Figura Núm. 8.—Esta figura muestra el espectro de densidad de potencia de la onda fortuita de la figura 7, espectro que se obtuvo mediante la integración de la función de autocorrelación, mostrada en la mencionada figura 7.

AUTOCORRELACION DE ONDAS FORTUITAS

$$\begin{aligned}\Phi_{11}(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E_m^2 e^{-2k|\tau|} \cos \omega\tau d\tau \\ &= \frac{E_m^2}{\pi} \frac{2k}{(2k)^2 + \omega^2} \equiv \text{FUNCION ESPECTRAL DE POTENCIA}\end{aligned}$$



ESPECTRO DE DENSIDAD DE POTENCIA DE UNA ONDA FORTUITA

$K = 1000$ por segundos

$E_m = 1$ Volt

FIG. 8

Figura Núm. 9.—En esta figura se muestran dos espectros, a saber:

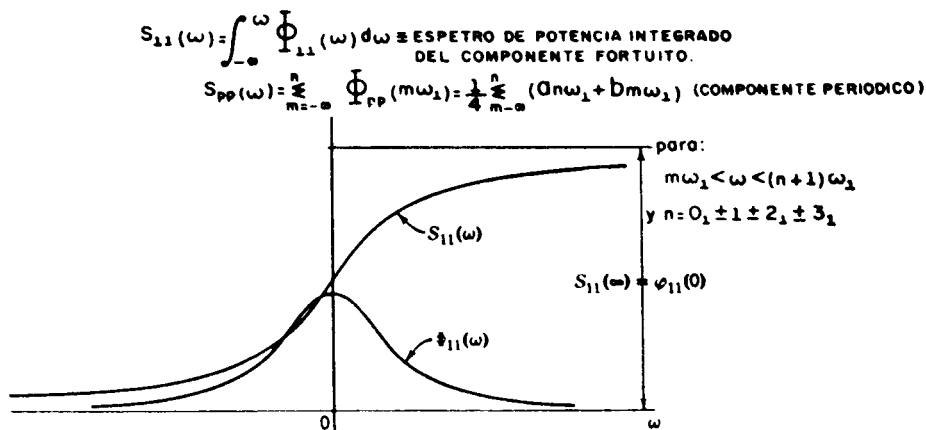
a).—El espectro de densidad de potencia; y,

b).—El espectro integrado de potencia;

ambos correspondientes a una onda fortuita.

Este es el caso de que la onda fortuita contenga un componente periódico y otro fortuito, propiamente dicho, tal como ocurre en los espectros sísmológicos en los que aparecen involucrados: la señal, como función relativamente periódica y, el ruido, en muchos casos, como función estrictamente fortuita.

ONDAS FORTUITAS



ESPECTROS INTEGRADO Y DE DENSIDAD DE POTENCIA DE
 UNA ONDA FORTUITA

FIG. 9

En tales circunstancias, los espectros de ambos procesos son diferentes según se muestra en la figura de manera que, a partir de ciertos límites, pueden ser discriminados en atención a su distinta estructura.

Figura Núm. 10.—En esta figura se presenta un caso análogo al anterior de la figura 9, con la diferencia de que se refiere a valores positivos de w .

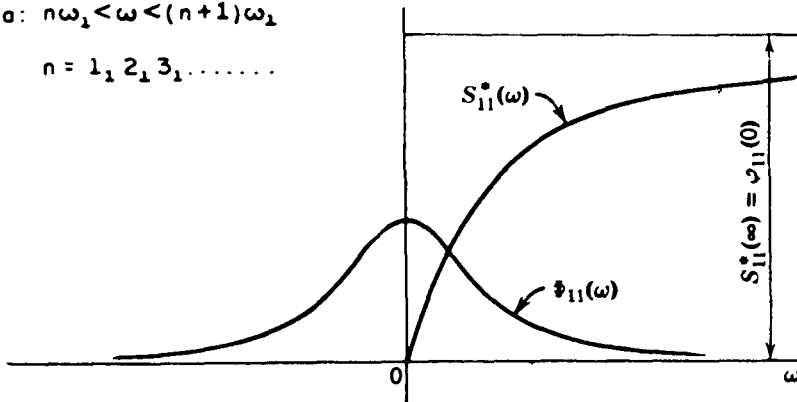
ESPECTROS DE POTENCIA

$$S_{11}(\omega) = 2 \int_0^\omega \Phi_{11}(\omega) d\omega \equiv \text{ESPECTRO DE POTENCIA INTEGRADO DEL COMPONENTE FORTUITO.}$$

$$S_{pp}^*(\omega) = \Phi_{pp}^*(0) + \sum_{m=1}^n \Phi_{pp}^*(m\omega_1) = \frac{a_0^2}{4} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^n (a_m^2 \omega_1 + b_m^2 \omega_1) \quad (\text{COMPONENTE PERIODICO})$$

para: $n\omega_1 < \omega < (n+1)\omega_1$

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



ESPECTROS INTEGRADO Y DE DENSIDAD DE POTENCIA
PARA VALORES POSITIVOS DE ω .

FIG. 10

Figura Núm. 11.—En esta figura se presenta un ejemplo de determinación gráfica de una curva de autocorrelación. La evaluación de esta función, comprende:

1o.—El trazo de dos curvas iguales $f_T(t)$ y $f_T(t + \tau)$, desplazadas por un tiempo τ ;

2o.—La multiplicación entre sí de las ordenadas de ambas curvas para cada valor de t , con cuyos productos se trazará la tercera curva mostrada en la figura;

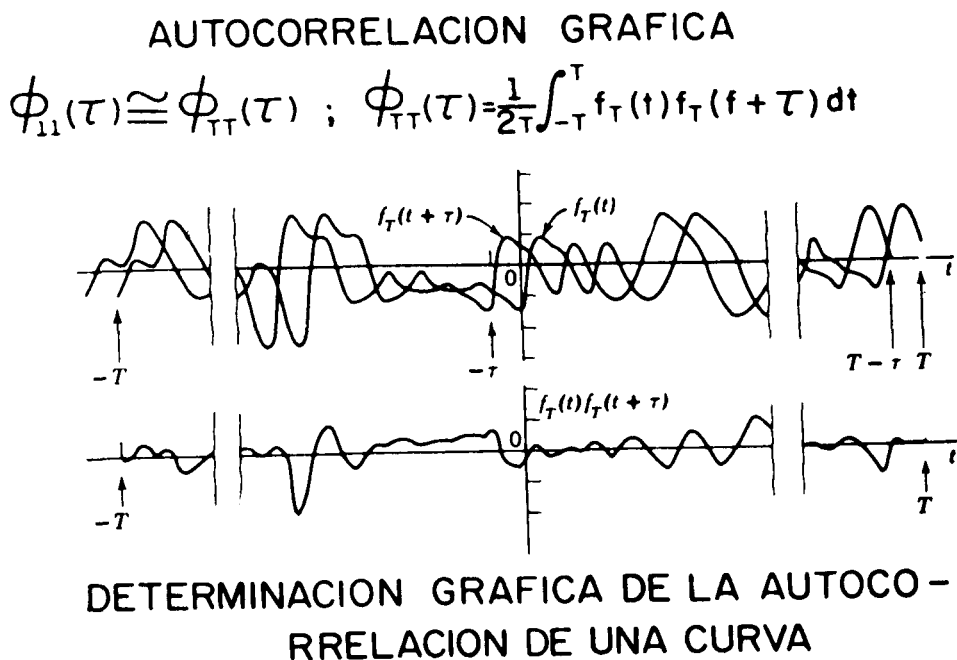


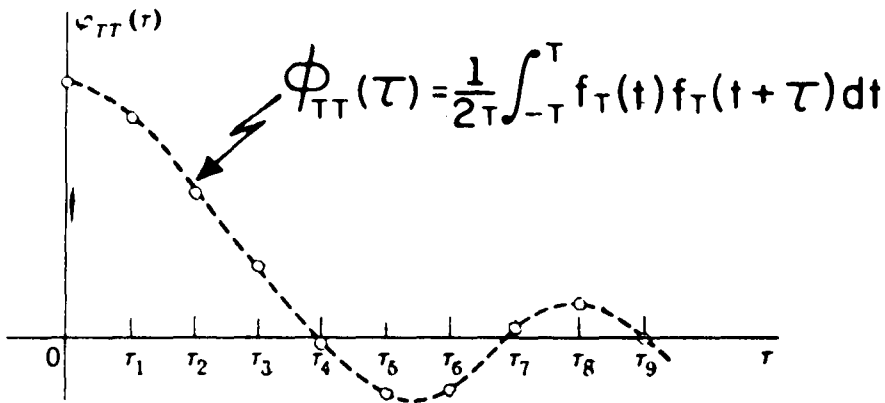
FIG. 11

3o.—La aplicación de la integral $\phi_{TT}(\tau)$, indicada en la propia figura para obtener el respectivo valor de la función $\phi_{TT}(\tau)$; y,

4o.—La repetición del procedimiento para cada valor asignado de τ , con lo que se obtiene una secuencia de valores para $\phi_{TT}(\tau)$.

Figura Núm. 12.—En esta figura se muestra la gráfica de los valores obtenidos según el procedimiento señalado en el caso de la figura anterior.

AUTOCORRELACION GRAFICA

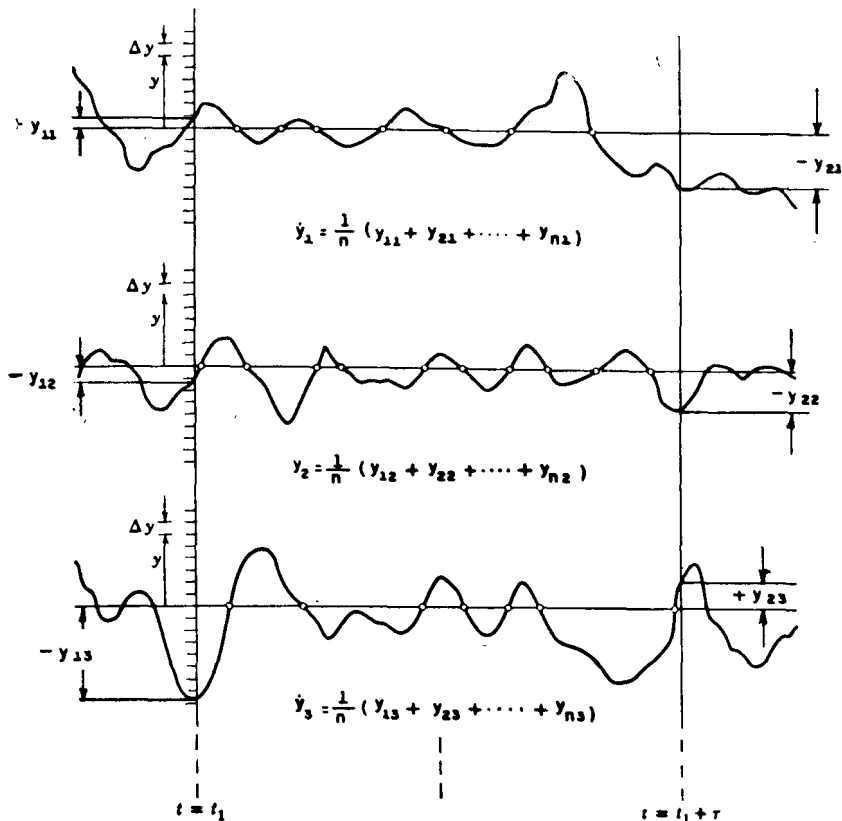


CURVA DE AUTOCORRELACION OBTENIDA POR EL METODO GRAFICO

FIG. 12

EVENTOS DE PROBABILIDAD (MUESTREO)

LA RELACION EXISTENTE ENTRE EL NUMERO DE FUNCIONES CON CRUCES A 0 EN EL INTERVALO τ Y EL NUMERO DE ENSAYOS QUE REPRESENTA LA RELACION DE FRECUENCIA TENDERA A NORMALIZARSE AL AUMENTAR LOS ENSAYOS.



$$\bar{\zeta} = \frac{1}{n} (\zeta_1 + \zeta_2 + \dots + \zeta_n) = \bar{f}(t)$$

$\zeta_n \equiv$ AMPLITUD DE LOS CONJUNTOS.

$$\sigma_{\zeta}^2 = \bar{\zeta}^2 - \bar{\zeta}^2; \quad \sigma_{\zeta} \equiv \text{VARIANCIA}$$

CONJUNTOS

FIG.13

Tomada de "Statistical Theory of Communication", por Y. W. LEE.

Figura Núm. 13.—En esta figura se consigna el muestreo de eventos de la probabilidad de tres curvas para un intervalo de la función de tiempo t , igual a τ ; en la inteligencia de que dicho muestreo puede ampliarse hasta n curvas y n intervalos iguales a τ , tal como se explica en la parte principal del presente trabajo.

Figura Núm. "A".—En esta figura se presenta el muestreo de un trazo de sismograma correspondiente al Prospecto Santo Domingo, B. C., para 6 trazas e intervalos para τ de 0.100 segs. En dicho sismograma se tomaron valores relativos de amplitud los que, afectados de su signo respectivo, se consignan en el mismo. Estos valores, agrupados en conjuntos, fueron empleados para el cálculo de la distribución estadística normal correspondiente, la que transformada por la Integral de Hankel, permitió el cálculo de los valores consignados en la figura B.

Figura Núm. "B".—Con los datos obtenidos del cálculo de los valores de la figura A, se trazaron las curvas de la figura B, siguiendo, para el efecto, el procedimiento señalado en las Conclusiones contenidas en la parte principal de este mismo trabajo.

Figuras Núms. "C" y "D".—Estas figuras corresponden a un segundo ejemplo, análogo al anterior, realizado con otro sismograma del mismo Prospecto de Santo Domingo, B. C., con el propósito de comprobar el método en un caso en el que en el sismograma muestreado existen reflejos bien definidos, mismos que debían de aparecer y aparecieron en la autocorrelación.

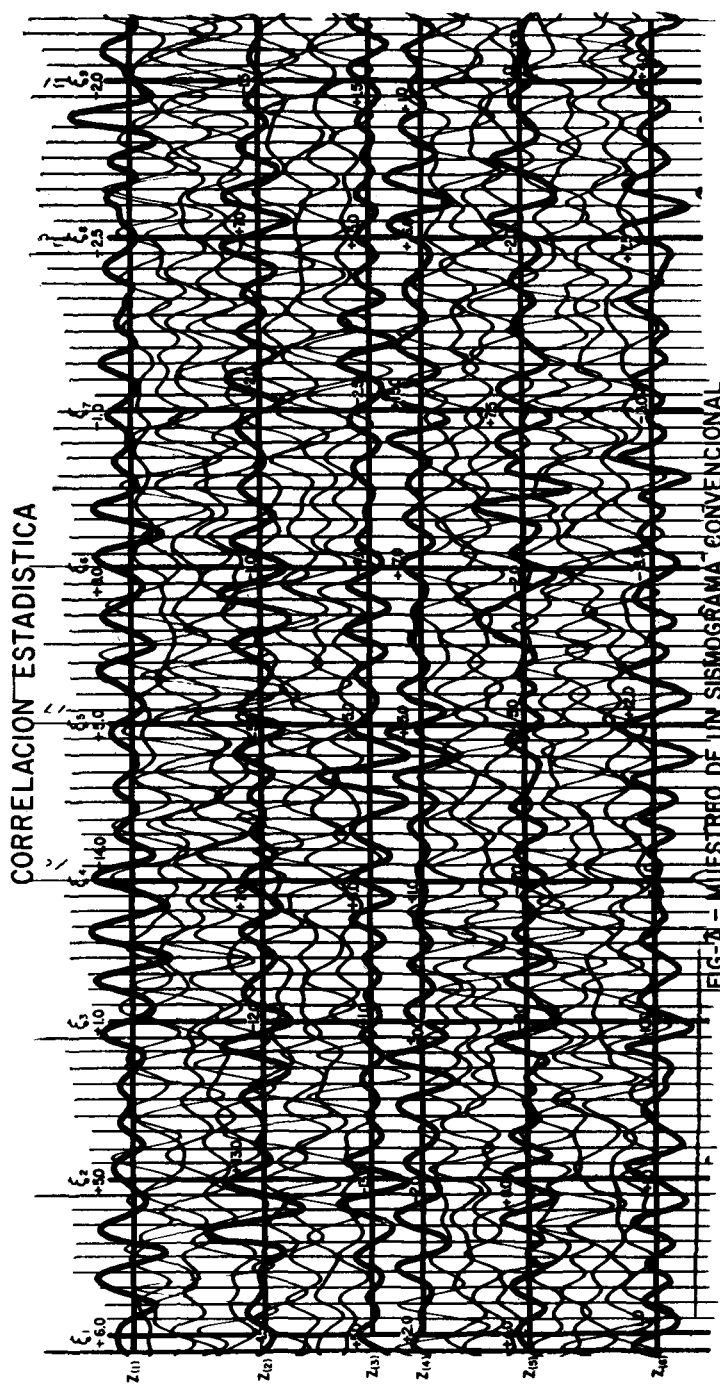
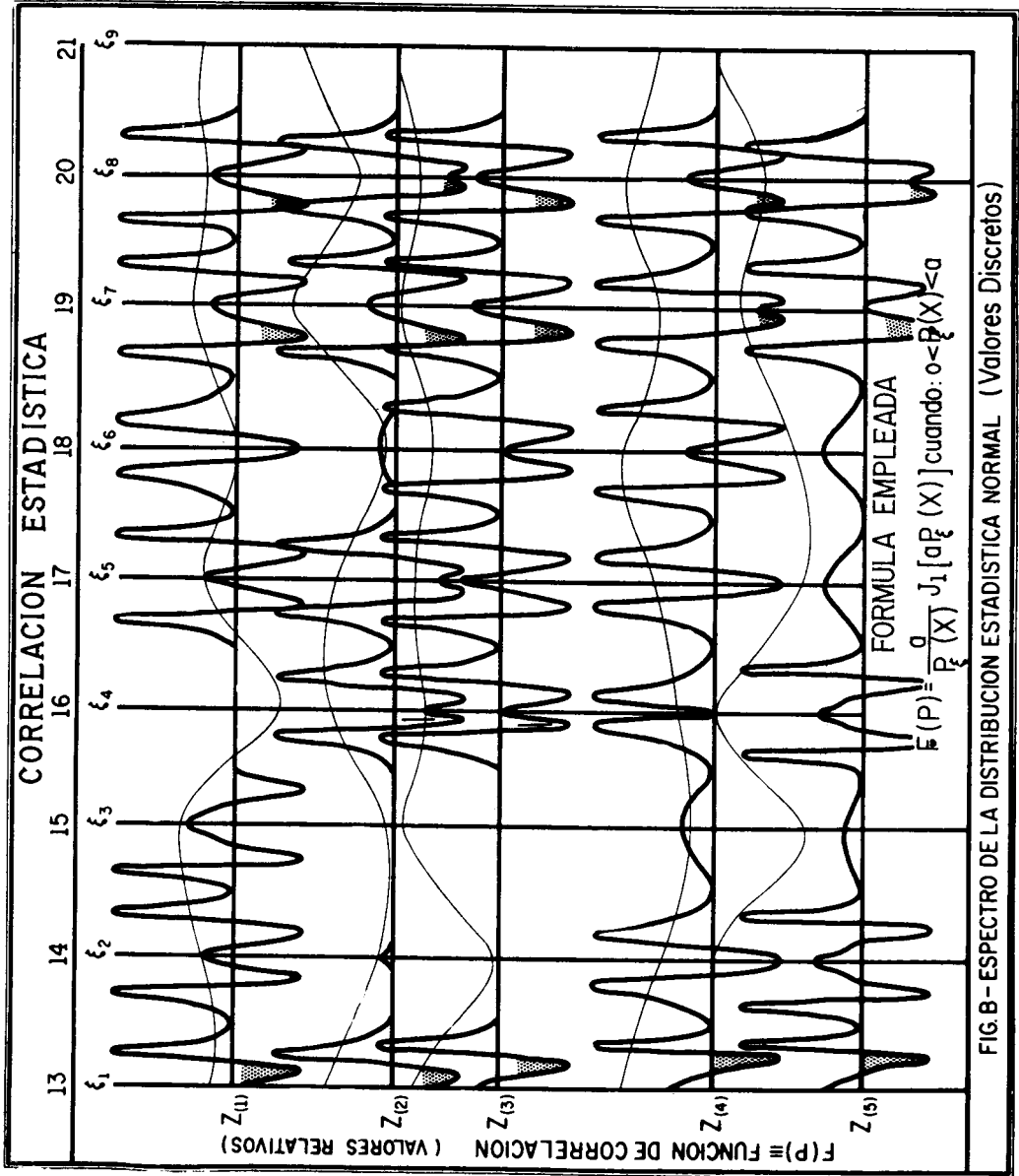


FIG. 2 - MUESTRO DE UN SISMOGRAMA CONVENCIONAL



CORRELACION ESTADISTICA

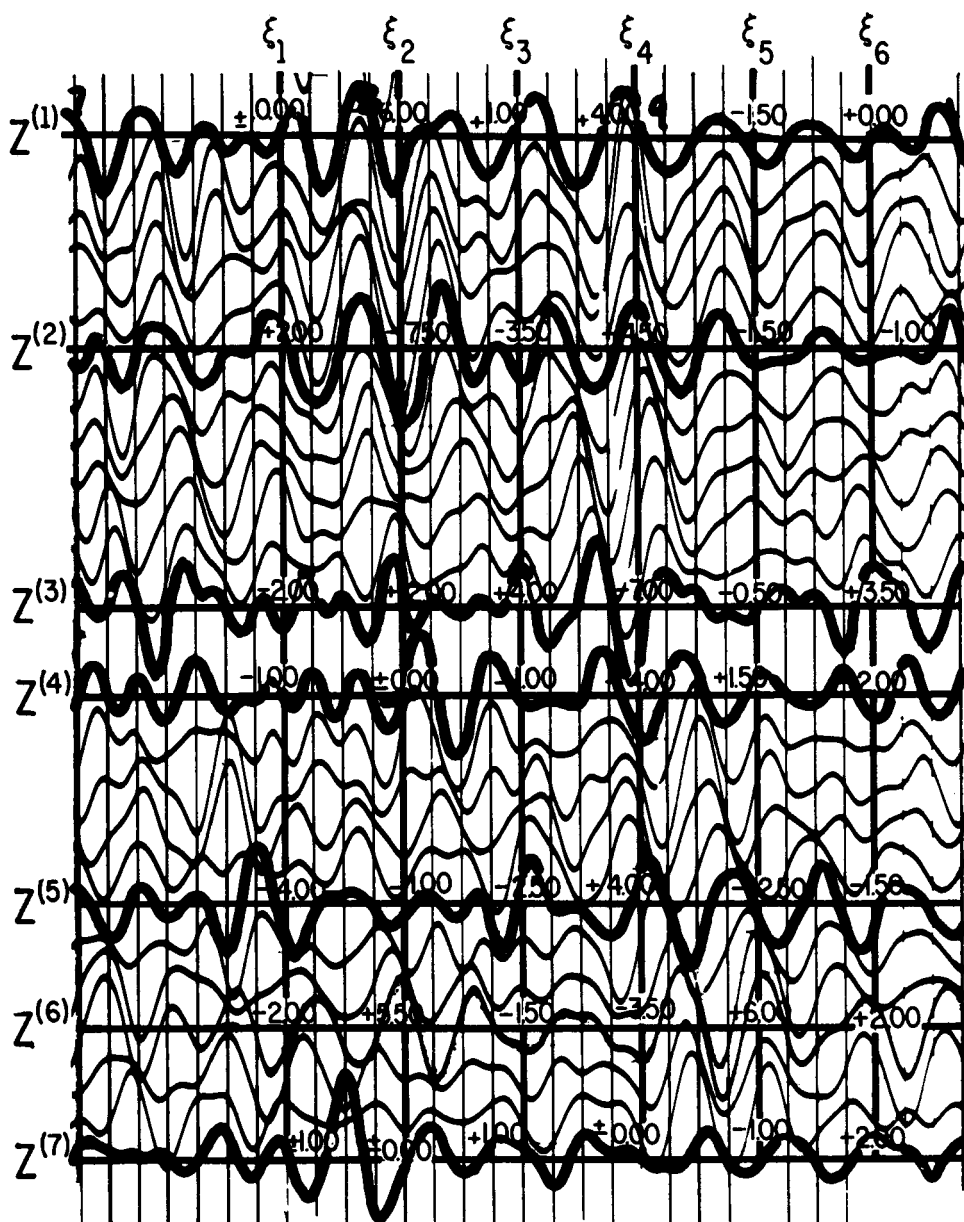


FIG. C - MUESTREO DE UN SISMOGRAMA CONVENCIONAL
7 TRAZAS; 6 PUNTOS DE CONTROL POR TRAZA INTERVALO 40 M/Seg

CORRELACION ESTADISTICA

DE LA FIG. C.

Formula empleada: $F(P) = \frac{a}{P(X)} J_0 \left[a P(X) \right]$ Cuando: $0 < P(X) \leq a$

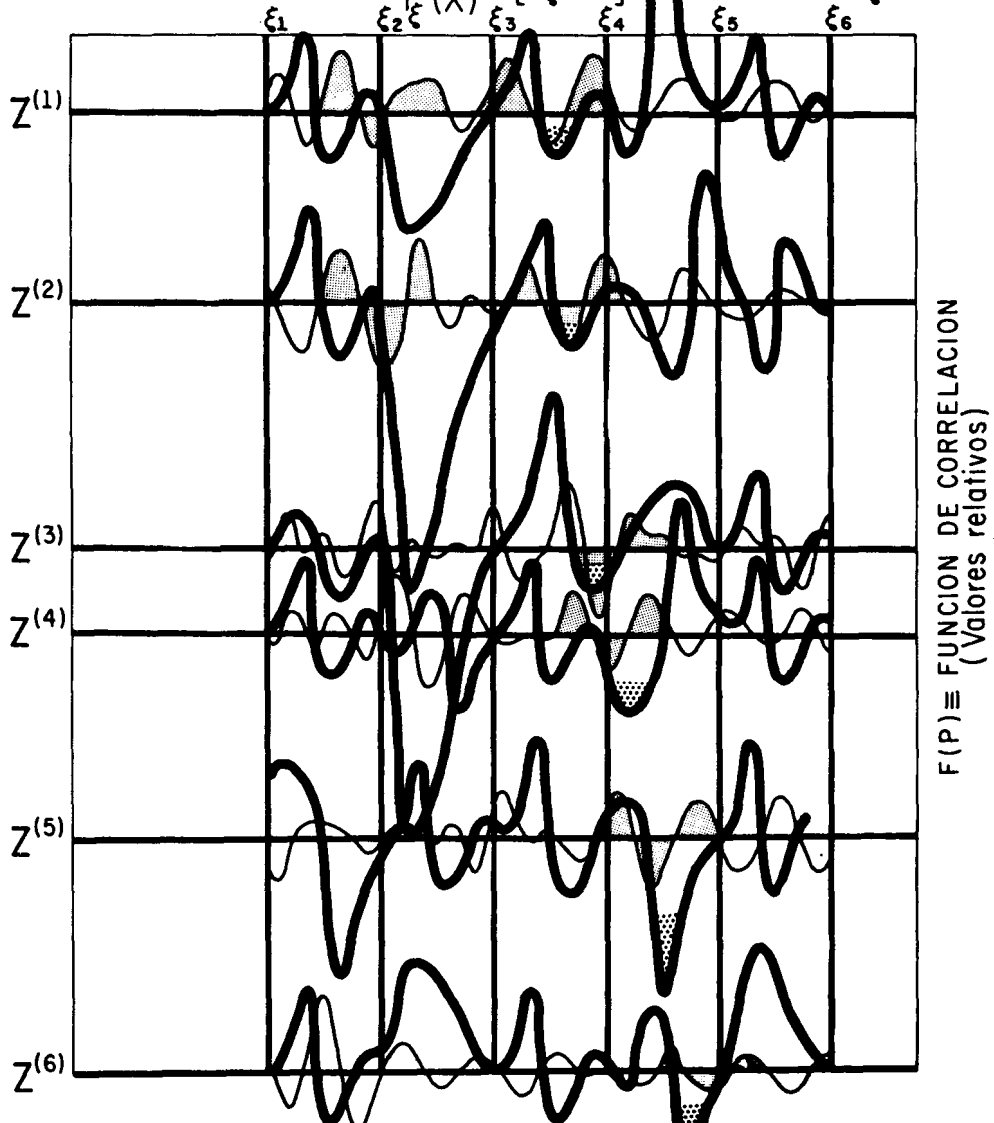


FIG. D-ESPECTRO DE LA FUNCION ESTADISTICA NORMAL

LEYENDA — Trazas — Correlacion (Valores discretos)

“FORO ABIERTO”

DETERMINACION DE LA CUBIERTA OPTIMA DE SISMODETECTORES MULTIPLES

Por el Ing. *Mariano Hernández Moedano* *

RESUMEN

En la práctica puede considerarse a una cubierta como óptima cuando llena las 2 condiciones siguientes:

- 1.—Cubre totalmente la banda de atenuación de ruidos coherentes.
- 2.—Permite una banda de paso del 70% para las ondas reflejadas.

DESARROLLO

En el presente desarrollo algebraico se hace uso de los símbolos ya conocidos y que son los siguientes:

M = Número de sismodetectores múltiples.

ΔX = Separación entre detectores (Metros).

* Servicios Geofísicos, S. A.

L = Longitud de la cubierta (Metros).

$F_{mín.}$ = Frecuencia mínima de corte de los filtros eléctricos (c.p.s.)

$F_{máx.}$ = Frecuencia máxima de corte de los filtros eléctricos (c.p.s.)

$V_{ar\ mín.}$ = Velocidad aparente mínima de ruido coherente (m/s.)

$V_{ar\ máx.}$ = Velocidad aparente máxima de ruido coherente (m/s.)

V_{AR} = Velocidad aparente de ondas reflejadas.

La banda de atenuación queda totalmente cubierta cuando se satisfacen las ecuaciones Números 1 y 2 y se obtiene un 70% para la banda de paso cuando se verifica la ecuación número 3.

$$\frac{M}{M-1} = \frac{\frac{V_{ar\ máx.}}{F_{mín.}}}{L} = \text{Límite Superior} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{M}{(M-1)^2} = \frac{\frac{V_{ar\ mín.}}{F_{máx.}}}{L} = \text{Límite Inferior} \dots \dots \dots (2)$$

$$2.5 = \frac{\frac{V_{AR}}{F_{máx.}}}{L} = 70\% \dots \dots \dots (3)$$

En estas ecuaciones los primeros miembros representan los valores teóricos o ideales y los segundos miembros son los valores obtenidos. En la práctica siempre existen ligeras diferencias entre valores teóricos y los obtenidos debido a que los filtros que intervienen en el cálculo algunas veces no coinciden exactamente con los filtros instrumentales.

De las ecuaciones anteriores se pueden plantear las 3 ecuaciones siguientes que son básicas para el desarrollo.

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

$$\frac{F_{\text{máx.}}}{F_{\text{mín.}}} = \frac{M - 1}{K} \quad (2A)$$

$$F_{\text{máx.}} = \frac{V_{AR}}{2.5 L} \quad (3A)$$

En donde

$$K = \frac{V_{ar \text{ máx.}}}{V_{ar \text{ mín.}}}$$

Combinando las 3 últimas ecuaciones y teniendo en cuenta que:

$$L = (M - 1) \Delta X$$

Se obtiene la siguiente expresión:

$$M = \frac{V_{AR} M}{2.5 (M - 1) V_{ar \text{ mín.}}} + 1 \quad (4)$$

La ecuación número 4 se transforma en la siguiente ecuación típica de segundo grado.

$$M^2 - \left(2 + \frac{V_{AR}}{2.5 V_{ar \text{ mín.}}} \right) M + 1 = 0 \quad (5)$$

La solución de esta ecuación es:

$$M = \frac{\left(2 + \frac{V_{AR}}{2.5 V_{ar \text{ mín.}}} \right) \pm \sqrt{\left(2 + \frac{V_{AR}}{2.5 V_{ar \text{ mín.}}} \right)^2 - 1}}{2} \quad (6)$$

Esta ecuación se puede reducir a la siguiente expresión:

$$M = \left(1 + \frac{V_{AR}}{5 V_{ar \text{ mín.}}} \right) \pm \sqrt{\left(1 + \frac{V_{AR}}{5 V_{ar \text{ mín.}}} \right)^2 - 1} \quad (7)$$

Es evidente que el signo positivo (+) del radical es el que debe considerarse y además, la raíz cuadrada de los términos dentro del radical, es igual prácticamente al término encerrado en el paréntesis, por lo tanto puede establecerse que:

$$M = 2 \left(1 + \frac{V_{AR}}{5 V_{ar \text{ mín.}}} \right) = 2 + \frac{V_{AR}}{2.5 V_{ar \text{ mín.}}} \quad (8)$$

Como puede verse, el número M óptimo de sismodetectores depende de la velocidad aparente de las ondas reflejadas y de la velocidad aparente mínima de ruido coherente; la primera es función de la profundidad y echado de las formaciones, por lo que su influencia es más fuerte comparada con el de la velocidad mínima del ruido coherente que se considera constante para un perfil de ruido dado.

Una vez determinado el número M de sismodetectores se procede a calcular los demás parámetros de la cubierta usando las ecuaciones (1A) y (2A), lo cual puede efectuarse según convenga por cualquiera de los 3 métodos que a continuación se mencionan:

METODO A.

Con la ecuación (1A) se determina el espaciamiento ΔX , suponiendo una $F_{min.}$ igual al valor mínimo del filtro eléctrico. Enseguida con la ecuación (2A) se determinan la $F_{máx.}$

METODO B.

Con la ecuación (2A) se determina el $F_{min.}$, suponiendo una $F_{máx.}$, según el criterio del sismólogo y con la ecuación (1A) se determina el espaciamiento ΔX .

En los dos métodos anteriores, es probable que pudiera existir traslape sobre el terreno entre dos trazas consecutivas, sin embargo si quiere evitarse tal cosa, se podría suponer la ΔX deseada y determinar los filtros eléctricos.

METODO C.

Este método tiene la ventaja de suministrar en el mezclado una cubierta equivalente a un número doble ($2M$) de sismodetectores, evitando también el traslape sobre el terreno, para lo cual se supone una longitud tal que:

$$L = d - \Delta X$$

en donde " d " representa la distancia en metros entre dos trazas consecutivas, por lo tanto la separación entre detectores será:

$$X = \frac{d}{M}$$

aplicando este valor a la ecuación número (1A) se tiene

$$F_{min.} = \frac{Var\ máx.}{d}$$

y con la ecuación (2A) se determina $F_{máx.}$

A continuación se muestra un ejemplo tratando de ilustrar todo lo anteriormente expuesto.

EJEMPLO

Datos obtenidos del perfil de ruido observado en el Area de Cabo Rojo, Ver., por la brigada NS-14; (S. G.-302).

$$Var\ máx. = 550\text{ m/s.}$$

$$Var\ mín. = 225\text{ m/s.}$$

$$K = \frac{550}{225} = 2.44$$

$V_{AR} = 13,000\text{ m/s.}$ a una profundidad de 1,000 m. y con un echado probable de 1°

Aplicando la ecuación número 8 obtenemos el número óptimo de sis-modetectores múltiples

$$M = 2 + \frac{13,000}{2.5 \times 225} = 25\text{ detectores.}$$

Los parámetros restantes de la cubierta se obtienen por las fórmulas (1A) y (2A), según convenga alguna cubierta en especial. A continuación se da una tabla ilustrando los tres métodos mencionados así como también la separación o discrepancia entre valores teóricos y valores obtenidos para los límites de las bandas tanto de atenuación como de paso. Los valores obtenidos se han calculado usando los filtros instrumentales y haciendo uso de las ecuaciones (1), (2) y (3) como ya se mencionó.

	ΔX Metros	L Metros	$F_{\min.}$ c/s		$F_{\max.}$ c/s		BANDA DE ATENUACION		BANDA DE PASO
			Calculado	Instru.	Calculado	Instru.	Lim. Superior 1.042	Lim. Inferior 0.0434	
METODO A.— $F_{\min.} = 20$ cps.	1.10	26.40	—	20	196	165	1.042	0.0517	3.0
METODO B.— $F_{\max.} = 165$ cps.	1.31	31.40	16.8	20	—	165	0.878	0.0435	2.5
METODO C.— 30 $X = \dots = 1.20 m.$ M	1.20	28.80	18.4	20	180	165	0.910	0.0434	2.72

CONCLUSIONES

Como puede apreciarse en el método *B* o sea el de suponer el $F_{máx}$, es donde siempre coinciden tanto el límite inferior de la banda de atenuación como el 70% de la banda de paso, ya que ambos valores son función del $F_{máx}$, sin embargo en el método *C* la solución es bastante aceptable con la ventaja de que en el mezclado eléctrico se tiene una cubierta equivalente a 50 detectores por traza y además el traslape sobre el terreno siempre se evita.

NUEVOS SOCIOS

Mr. Billy Joe Green.
10201 Westheimer Road.
Houston 27, Texas.
U. S. A.

Mr. Omer Clark Smith.
10719 Burgoyne.
Houston, Texas.
U. S. A.

Ing. Sergio Salazar Mandujano.
Riva Palacio No. 64.
México 3, D. F.

Ing. Domingo Antonio Padilla Padilla.
Aguascalientes No. 182 Depto. 3.
México 7, D. F.

NUEVOS SOCIOS

Dr. Francis A. Van Melle.

Shell Development Co.

P. O. Box 481.

Houston, Texas, 77001.

U. S. A.

Mr. Charles Elmer Caldwell.

P. O. Box 2928.

Houston 1, Texas.

U. S. A.

Mr. Billie Alfred Toliver.

P. O. Box 2928.

Houston 1, Texas.

Mr. Ernest A. Pratt.

10201 Westheimer Road.

Houston 27, Texas.

U. S. A.

Carlos Alemán A.

EXPLORACION

y

PERFORACION

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

MEXICO 1, D. F.



SCHLUMBERGER SURENCO, S. A.

AGENCIA EN MEXICO

Av. Morelos 98, Desp. 306

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

MEXICO 6, D. F.

**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.

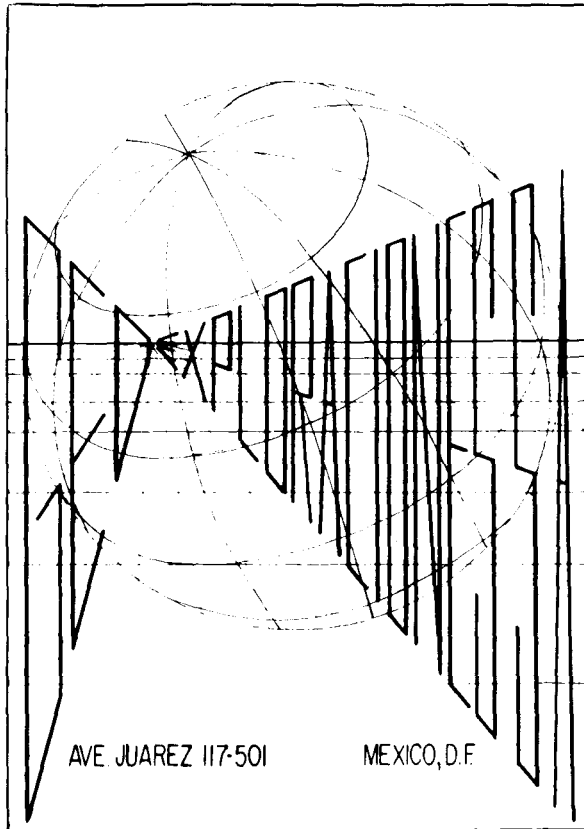
México 1, D. F.

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

EXPLORACIONES, S. A.

ITURBIDE No. 36 DESP. 201

TEL. 10 - 15 - 64

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.**

PERFORACIONES, S. A.

**CONTRATISTA DE PERFORACION
EXPLORATORIA DESDE 1950 PARA**

PETROLEOS MEXICANOS

SECRETARIA DE MARINA

CONSTRUCTORA MALTA, S. A.

NATIONAL SOIL SERVICES, CO.

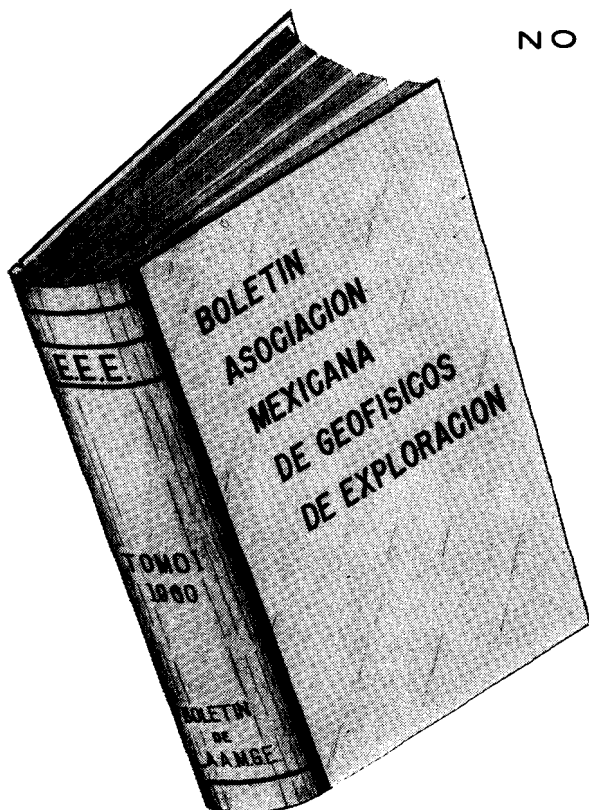
**CIA. FUNDIDORA DE FIERRO Y
ACERO DE MONTERREY, S. A.**

Y PARTICULARES

AVENIDA JUAREZ No. 119 - 5o. PISO

Teléfonos: 21-37-25 y 21-36-42

MEXICO 1, D. F.



SOCIOS
\$100.00
NO SOCIOS
\$150.00

ADQUIERA UD. LOS VOLUMENES NUMEROS I -
II - III Y IV CORRESPONDIENTES A LOS AÑOS DE
1960 - 1961 - 1962 Y 1963 EMPASTADOS EN KERATOL
CON SUS INICIALES GRABADAS EN ORO.

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