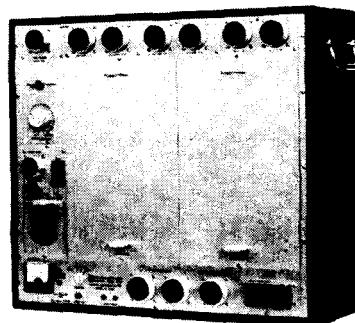
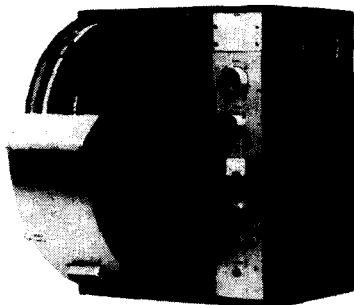


GEO SPACE FM-300 Transistorized FM Magnetic Recording System



ESPECIFICACIONES CONDENSADAS

Número de Canales: 24 para Información Geofísica y 4 Auxiliares.

Dimensiones de la Cinta: 4" por 45 $\frac{1}{4}$ " (FM Standard).

Velocidad de la Cinta: 7 $\frac{1}{2}$ pulgadas por segundo.

Frecuencia Central: 4 KC (FM standard).

Entrada para Máximo Nivel de Registro: 150 milivolts a través 100 K.

Nivel Máximo de Salida: Nivel Alto: 2 volts
@ aprox. 500 ohms.

Nivel Bajo: 300 μ volts
@ aprox. 200 ohms.

Respuesta de Frecuencia: 1.8 cps hasta 450 cps.

Relación Señal - Ruido: 60 db rms a rms (con cancelación de ruido) banda ancha.

60 db rms a rms (sin cancelación de ruido) en banda de 20 a 200 cps.

Distorsión Armónica: Menos de 1%.

Potencia Requerida: 12 V DC @ 12 amps.

Dimensiones de Transporte: 14 $\frac{1}{4}$ " ancho, 17 $\frac{1}{2}$ " alto,
10" largo.

Dimensiones de Caja Electrónica: 19" ancho, 17 $\frac{1}{2}$ " alto,
7 $\frac{3}{4}$ " largo.

¿Requieren sus planes presentes o futuros el empleo de las técnicas de mejoramiento de la información analógica o digital? Si es así, usted necesitará un registrador de campo de la mayor fidelidad y confianza.

El nuevo FM-300 será de su preferencia porque éste recoge los datos de una manera más simple y más económica. El sistema revolucionario del movimiento de tambor multi-contacto se emplea para proporcionar una velocidad de rotación extremadamente suave sin ajustes críticos — de esta manera reduciendo el ruido de fluctuaciones hasta un grado bajo no logrado antes. Este método simple y directo para disminuir el ruido le garantiza a usted una actuación en el campo superior y continua. El banco de cabezas magnéticas está articulado de manera que las cabezas que están suspendidas individualmente son fácilmente accesibles para inspección y aseo. El FM-300 es completamente transistorizado y está auto-contenido en dos cajas que incluyen todas las funciones auxiliares.

GEO SPACE CORPORATION

5803 GLENMONT DRIVE • HOUSTON, TEXAS 77036

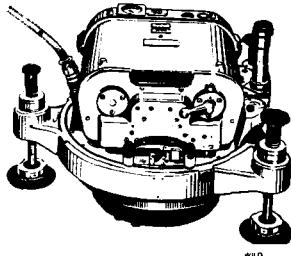
TELEPHONE: AREA CODE 713-MO 6-1611 CABLE ADDRESS: GEOSPA TELEX: 077-374

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

Agents in TOKYO, KARACHI, NEW DELHI, MEXICO CITY, BUENOS AIRES, LA PAZ.

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 Aviôgrafos WILD B-8
- 3 Aparatos de Restitución KELSH
- 1 Múltiplex 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

Talleres de Aviación y Hangares
Lindero Sur, Aeropuerto Central
Tels.: 22-22-58 y 22-29-64

Méjico 12, D. F.

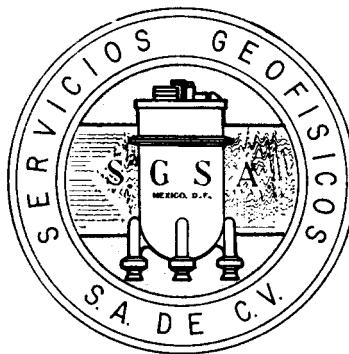
SCHLUMBERGER SURENCO, S. A.

AGENCIA EN MEXICO

Av. Morelos 98, Desp. 306

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

MEXICO 6, D. F.



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, 19º 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, 53-55 Bis, Madrid 16, Spain

FABRIMEX, S. A. DE C.V.



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

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.



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.

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



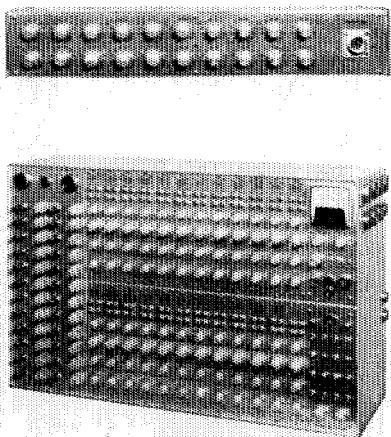
FABRICACION NACIONAL DE EQUIPO PARA LA INDUSTRIA PETROLERA

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.

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



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

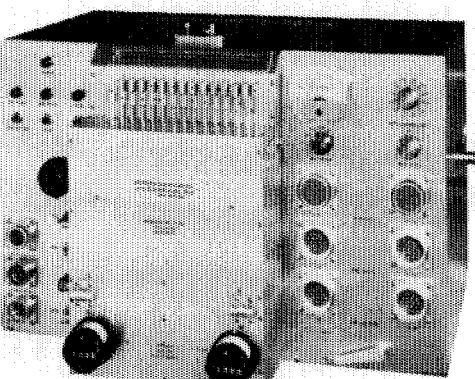
BAJO COSTO — El modelo T-1 es el amplificador transistorizado más barato en el mercado.

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 voltas de corriente directa.

GEOFISICO



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 cada traza la corrección dinámica adecuada.

ESPECIFICACIONES DEL MODELO DC-2B.

Transportador de la cinta. Mediante tambor, cuyo diámetro es de 7.5". Número de canales. 24 sismicos, 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. 3.58" /segundo.

Tiempo útil de grabación. 6 seg. (el tambor de una vuelta completa en 6.6 seg.).

Corrección dinámica máxima. 150 miliseg. Característica del motor. De histéresis de 400 ciclos.

Acoplado al tambor. Corrección máxima. 700 miliseg/segundo.

Rango de corrección estática. ± 50 miliseg.

Polarización (bias). 8 miliamperes a 11 Kilociclos.

Respuesta. De 5 a 200 cps.

Relación de señal a ruido. 50 db RMS a RMS.

Distorsión armónica total (a 100% el nivel de grabación). 2.5%.

Alimentación cruzada (cross feed). 28 a 10 cps.

Grado de exactitud del sistema de tiempo. ± 1 miliseg.

Necesidades de entrada (a 100% el nivel de grabación). 50 milivolt a través de 40 ohms.*

Salida (a 100% el nivel de grabación). 100 microvolts a 50 ohms.

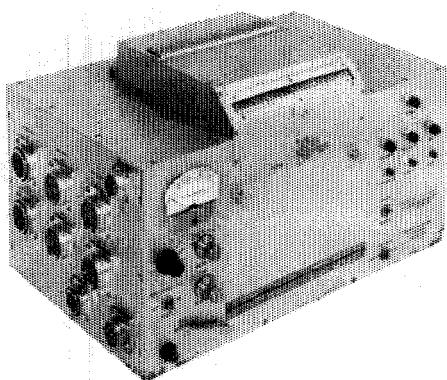
Potencia requerida. 0.5 amper en vacío y 14 amperes con carga.

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 sismicos. 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 instantáneamente de explosión, tiempo vertical y escala de tiempo. Tiene conexiones exteriores para diversos circuitos, tales como la acción de la suspensión 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 interconectadores.

ESPECIFICACIONES DEL MODELO SR-5.

Transporte de la cinta. Mediante tambor, cuyo diámetro es de 7.5".

Número de canales. 24 sismicos y 2 ó 4 auxiliares.

Tamaño de la cinta. 6 1/2 ó 7" de ancho por

24 1/2" de largo. 3.59" /segundo.

Velocidad de la cinta. 3.59" /segundo.

Tiempo útil de grabación. 6 seg. (el tambor de una vuelta completa en 6.6 seg.)

Características del motor. De histeresis de 400 ciclos. Acoplado al tambor.

Polarización (bias). 8 miliamperes a 8 kilociclos.

Respuesta. De 5 a 200 cps.

Correcciones estáticas (opcional). ± 100 miliseg.

Relación de señal a ruido. 50 db RMS a RMS.

Distorsión armónica total. (A 100% el nivel de grabación). 2.5%

Alimentación cruzada. (Cross feed). Con entrada de

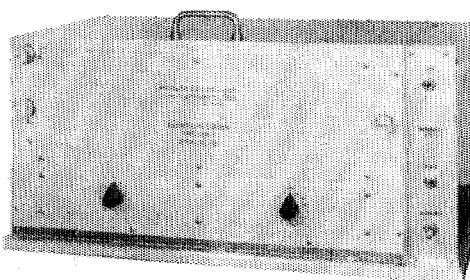
100%, -36 db a 10 cps.

Nivel de grabación. 50 milivoltios a través de 40 ohms.

Potencia requerida. 0.5 amper en vacío y 6.5 amperes con carga.

Medida del transportador de la cinta. 11 X 18 1/2 X 11 1/4".

Peso. 50 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.

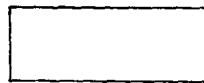
Si se desean combinar los resultados de diferentes pozos de tiro, para puntos de reflexión común (common depth point), es posible agregarle al equipo conexiones programadas y amplificadores de transcripción.

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.
2505 SOUTH BOULEVARD, HOUSTON, TEXAS

Representante en Europa:
Techmation
113 Rue Lamarck, París, 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

KODAK MEXICANA, LTD. • LONDRES 16 • MEXICO 6, D. F.

GEOFISICOS CONSULTORES PARA
PETROLEOS MEXICANOS



*Seismograph Service Corporation
of Mexico*

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

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

ESPECIALIZADOS EN :

**SERVICIO DE
GEOFISICA**

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

**SERVICIO DE
REGISTRO DE POZOS**

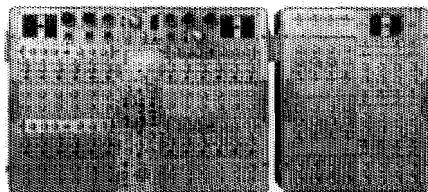
- Registros para Evaluación de Formaciones
- Registros de Pozos de Producción
- Servicio de Terminación Permanente
- Registro Continuo de Velocidad

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:

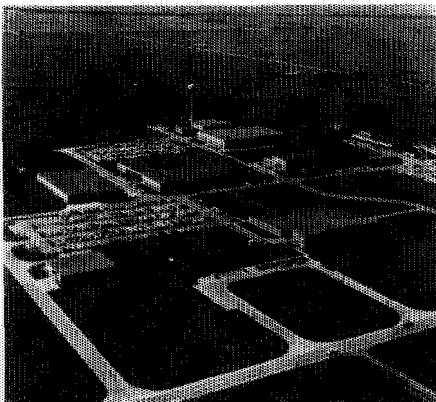
1. El sistema P-11, completamente portátil, integrable e independiente.
2. MR-4—el primer sistema de registro magnético FM (frecuencia modulada) aceptado por la industria.
3. PMR-6—el primer sistema portátil del registro magnético.
4. MS-12—el primer sistema para reducir datos sísmicos y procesar las 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 geofisicos consideran los instrumentos sísmicos de SIE "el standard de la industria." La producción corriente de SIE incluye una linea completa de registradores y analizadores sísmicos, capaz de ocupar los mas vastos requisitos de exploración geofísica.

Investigaciones y desarrollo. En total, SIE ha invertido en investigaciones y desarrollo de instrumentos geofisicos 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 inmediatamente 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

“La Transformada de Fourier y su Aplicación en el Estudio de Equipos Sismológicos”. Por los Ings. *Antonio García Rojas y Daniel Gutiérrez G.*

Comparación entre Trabajos Sismológicos Antiguos y Recientes en el Distrito Noreste. Afinamiento de las Interpretaciones por el Uso de Técnicas más Perfeccionadas y la Coordinación de Datos Sismológicos y Geológicos. Por los Ings. *José Coffin Otero y Miguel Salmón H.*

Actividades de la Sociedad.

Indice General.

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 suscripción 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, suscripciones, 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.

LA TRANSFORMADA DE FOURIER Y SU APLICACION EN EL ESTUDIO DE EQUIPOS SISMOLOGICOS

Por los Ings. ANTONIO GARCIA ROJAS Y
DANIEL GUTIERREZ G.*

R E S U M E N

El empleo de la transformada de Fourier es una herramienta de gran utilidad en el estudio de señales transitorias como las que ocurren en sismología. Como su aplicación es poco conocida por los ingenieros, se decidió preparar este trabajo con la idea de que podría servir de introducción para el estudio más detallado de este problema y de la teoría estadística de las comunicaciones, que está tomando una importancia básica en las técnicas modernas de sismología aplicada.

Se muestra que una señal transitoria, como la de una onda sísmica reflejada, puede descomponerse en una suma de ondas senoidales con frecuencias que varían desde cero a infinito, lo que se define como espectro de frecuencias de la señal.

Como por razones prácticas (interferencias de señales no deseadas, que se clasifican con el nombre genérico de ruidos) no es posible el empleo de una banda ancha en los aparatos sismológicos, se discute el efecto que se obtiene al emplear solamente una parte del espectro de frecuencias de la señal, lo que da origen a que la señal registrada difiera de la señal que llega al detector sismológico, teniéndose siempre una mayor duración en la señal registrada que en la señal producida por la onda reflejada que da origen al movi-

* Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.

miento del detector, lo que se debe a que la respuesta de los detectores y amplificadores difieren de las características ideales.

1.—SERIES DE FOURIER

En muchos problemas de ingeniería, especialmente cuando se trata de vibraciones y transmisión de señales eléctricas, se presentan problemas en los cuales la señal se reproduce periódicamente con el tiempo, denominándose frecuencia de la señal a la recíproca del tiempo que tarda en reproducirse una onda completa.

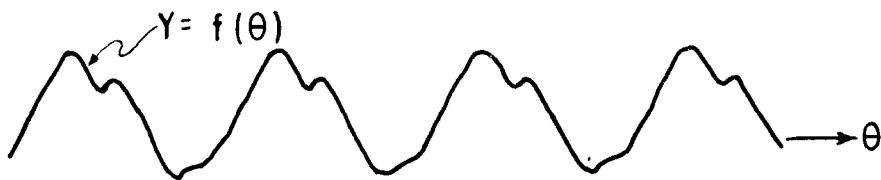


Fig. 1.- Onda periódica producida en un aparato sismológico por el movimiento de un motor.

Las señales periódicas tienen una gran semejanza con las funciones seno y coseno cuyos valores se reproducen con un período de $2\pi = 360^\circ$; y por lo tanto, desde el siglo pasado, J. Fourier desarrolló fórmulas que demuestran que cualquier función periódica puede descomponerse en una suma de ondas senoidales de las cuales la de más baja frecuencia es igual a $f = 1/T$ y las demás son múltiples de la anterior, siendo frecuente el caso de que además haya una componente de valor constante, que equivale a una componente de frecuencia cero.

La determinación de las componentes de una señal periódica se denomina análisis de Fourier y se trata en muchos libros de matemáticas y en la mayoría de los textos de electricidad y radio. En estas notas sólo se dan las fórmulas fundamentales para hacer el análisis de Fourier.

Así por ejemplo, una señal cualquiera se podría poner en la forma:

$$\begin{aligned} y = f(\Theta) &= \frac{1}{2} a_0 + a_1 \cos \Theta + a_2 \cos 2\Theta + \dots + a_n \cos n\Theta + \dots \\ &\quad + b_1 \sin \Theta + b_2 \sin 2\Theta + \dots + b_n \sin n\Theta + \dots \\ &= \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\Theta + b_n \sin n\Theta) \end{aligned} \quad (1)$$

Esta fórmula se puede escribir también en la forma:

$$y = f(\Theta) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} S_n \cos(n\Theta - \phi_n) \quad (2)$$

Los coeficientes de las series anteriores se pueden calcular por medio de las fórmulas que se indican a continuación:

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{0}^{2\pi} f(\Theta) d\Theta \quad (3)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{0}^{2\pi} f(\Theta) \cos n\Theta d\Theta \quad (4)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{0}^{2\pi} f(\Theta) \sin n\Theta d\Theta \quad (5)$$

$$S_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (6)$$

$$\phi_n = \tan^{-1} b_n/a_n \quad (7)$$

Las integrales anteriores pueden resolverse analíticamente para las funciones integrables, pero para las funciones determinadas experimentalmente se recurre a métodos numéricos de integración, existiendo también formas especiales para el cálculo de los coeficientes hasta la doceava armónica.

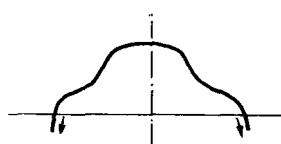
Las observaciones de funciones físicas periódicas se repiten con un período T y en este caso las ecuaciones (4) y (5) pueden escribirse como sigue:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \cos \frac{2\pi nt}{T} dt \quad (8)$$

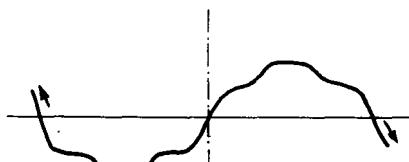
$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \operatorname{sen} \frac{2\pi nt}{T} dt \quad (9)$$

en donde n puede tener cualquier valor entero, desde cero a infinito.

En algunas ocasiones el cálculo de los coeficientes de los términos de la serie puede simplificarse considerablemente cuando las ondas por analizar son simétricas o antisimétricas, según se indica en la Figura No. 2, en donde además todas las componentes quedan en fase al tiempo $t = 0$ (o sea $\phi_n = 0$).



a) Onda simétrica (Puede desarrollarse en una serie en función de cosenos únicamente.)



b) Onda antisimétrica (Puede desarrollarse en una serie en función de senos únicamente.)

Figura. 2 - Ilustración de las series simétricas y antisimétricas

Si una serie simétrica o antisimétrica se desarrolla a partir de un eje que no sea el principal, es necesario el cálculo de todos los coeficientes y de

los ángulos de fase correspondientes, lo cual aumenta considerablemente el trabajo.

Los detalles para el cálculo de los coeficientes se pueden ver en tratados sobre matemáticas o electricidad (Bibliografía 2 y 5).

2.—INTEGRAL Y TRANSFORMADA DE FOURIER

En muchas ramas de la física, y particularmente en ingeniería de radio, las características de sistemas o equipos para señales periódicas, se estudian fácilmente y los resultados son bien conocidos; pero el estudio de las características transitorias es más difícil. En estas notas se presentará una herramienta muy poderosa, la integral de Fourier, que permite describir el comportamiento de los sistemas lineales para señales transitorias en términos de sus características a señales periódicas.

El problema anterior tiene una aplicación importante en sismología, puesto que las señales de las ondas reflejadas son de carácter transitorio y la amplitud de sus componentes es la base para definir cuáles son las frecuencias de corte adecuadas de los filtros que se empleen durante el proceso de registro y en el de reproducción de las cintas magnéticas.

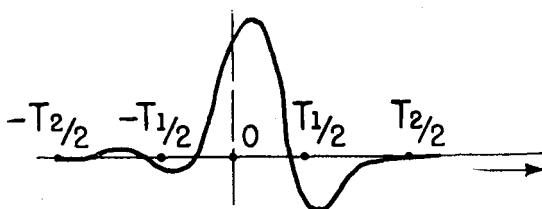


Fig. 3.—Ejemplo de una señal transitoria.

Según se indica adelante, el transitorio puede considerarse como la suma algebraica de un gran número de componentes periódicas, introduciendo así la integral de Fourier.

Recordaremos primero que se demuestra en la teoría de las series de Fourier que en el intervalo de $-\frac{T}{2} \text{ a } +\frac{T}{2}$ toda función que representa un fenómeno físico periódico puede ser reproducida sumando la componente fundamental y las armónicas del período T . Consecuentemente, en el intervalo de $-\frac{T_1}{2} \text{ a } +\frac{T_1}{2}$, la señal de la figura 2 puede ser expresada como la suma de componentes de las frecuencias $\frac{1}{T_1}$ y de las armónicas $\frac{2}{T_1}, \frac{3}{T_1}$, etc.

Si la longitud del intervalo del desarrollo se aumenta sucesivamente a T_2, T_3, T_4 y finalmente se hace infinitamente largo, las distribuciones respectivas de amplitud de las armónicas serán entonces semejantes a las que se indican en la figura 4b para T_2 y en la figura 4c para $T = \infty$.

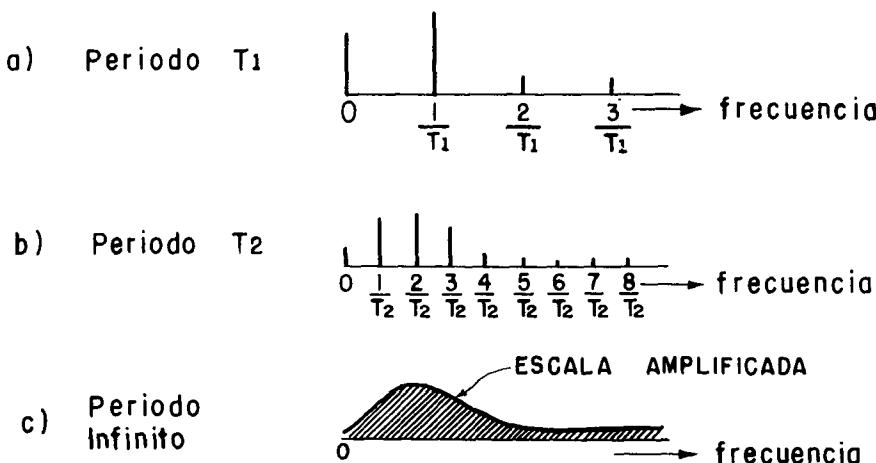


Fig. 4.—Análisis de Fourier de la señal de la Fig. 2, basada en períodos fundamentales de diferentes duraciones.

Este caso corresponde al de una señal transitoria, la cual se puede suponer que se repite en un tiempo infinitamente largo. (De hecho puede con-

siderarse como transitoria a una señal que se repite con un período del orden de 10 veces su duración).

Debe notarse que a medida que crece T , el espaciamiento de frecuencia entre las armónicas tiende a cero, y se aproxima a la condición de una distribución continua de componentes de frecuencias que varían entre cero e infinito. A esta distribución de frecuencias para un período infinitamente largo, se le designa con el nombre de espectro continuo de frecuencias.

En la gráfica de la figura 4c se representa el espectro de frecuencias de la señal de la figura 3, lo que constituye el análisis de la misma. Inversamente, la señal puede reproducirse mediante la suma de una serie infinita de ondas periódicas de forma senoidal (sus componentes de frecuencia), con amplitudes y diferencias de fase determinadas.

En la práctica, el método anterior sería imposible de aplicar, pero como la suma de las ondas periódicas senoidales tiende a un límite, que se indica adelante en la fórmula 17, el proceso se presta a la determinación analítica.

Aplicando las fórmulas (4), (5) y (7) a un intervalo infinitamente largo, los coeficientes del desarrollo de Fourier se calculan por medio de las fórmulas:

$$a(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cos \omega t \, dt \quad (10)$$

$$b(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \sin \omega t \, dt \quad (11)$$

$$\tan \phi(\omega) = \frac{b(\omega)}{a(\omega)} \quad (12)$$

$$S(\omega) = \sqrt{[a(\omega)]^2 + [b(\omega)]^2} \quad (12-a)$$

en donde ω puede tomar cualquier valor, entero o fraccionario, entre cero e infinito, tomando las fórmulas (1) y (2) la forma:

$$\begin{aligned}
 f(t) &= \sum_{\omega=0}^{\omega=\infty} [a(\omega) \cos \omega t + b(\omega) \sin \omega t] \\
 &= \sum_{\omega=0}^{\omega=\infty} S(\omega) \cos [\omega t - \phi(\omega)] \quad (13)
 \end{aligned}$$

La única condición para que las ecuaciones (10) y (11) sean integrables es que:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt$$

tenga un valor finito, lo cual se satisface en la práctica puesto que los valores observables de un transitorio se presentan entre los tiempos t y $(t + T)$, en donde T es la duración del transitorio.

Las integrales (10) y (11) pueden resolverse numéricamente haciendo la integración entre los límites t y $(t + T)$, pudiendo escribirse entonces:

$$a(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_t^{t+T} f(t) \cos \omega t dt \cong \frac{1}{\pi} \sum_t^{t+T} f(t) \cos \omega t \cdot \Delta t \quad (14)$$

$$b(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_t^{t+T} f(t) \sin \omega t dt \cong \frac{1}{\pi} \sum_t^{t+T} f(t) \sin \omega t \cdot \Delta t \quad (15)$$

Cuando la onda por analizar es simétrica o antisimétrica (véase figura No. 2), y se toma como origen de referencia el eje central, el valor de $S(\omega)$ es igual á $a(\omega)$ ó $a b(\omega)$, y además $\phi(\omega)$ se reduce a 0 ó a $-\frac{\pi}{2}$, pudiendo reducirse entonces considerablemente el trabajo de cálculo.

De acuerdo con la fórmula (13) se puede escribir:

$$\begin{aligned}
 f(t) &= \sum_{\omega=0}^{\omega=\infty} \left\{ \left[\sum_t^{t+T} f(t) \cos \omega t \Delta t \right] \cos \omega t + \left[\sum_t^{t+T} f(t) \sin \omega t \Delta t \right] \sin \omega t \right\} \\
 &= \sum_{\omega=0}^{\omega=\infty} S(\omega) \cos [\omega t - \phi(\omega)] \quad (16)
 \end{aligned}$$

Puede demostrarse que la suma anterior tiene como límite la integral

$$f(t) = \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} S(\omega) \cos [\omega t - \phi(\omega)] d\omega \quad (17 \cdot a)$$

Cuando es necesario recurrir a la integración aproximada, la última expresión se puede escribir de la siguiente manera:

$$f(t) = \sum_{\omega=0}^{\infty} [S(\omega) \Delta \omega] \cdot \cos [\omega t - \phi(\omega)] \quad (17 \cdot b)$$

Las fórmulas anteriores se han escrito en su forma trigonométrica, puesto que en esta forma se prestan a la manipulación numérica. Sin embargo, en la mayor parte de los libros y artículos técnicos, las mismas fórmulas suelen expresarse en notación compleja porque su escritura es más compacta y es más fácil la solución de las integrales, con la ventaja de que simultáneamente se opera con las componentes senoidales y cosenoidales.

Teniendo en cuenta que:

$$\operatorname{sen} x = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j} \quad (18)$$

$$\cos x = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2} \quad (19)$$

y después de ejecutar operaciones algebraicas convenientes (Bibliografía 2), las ecuaciones (10) y (11) quedan resumidas en la siguiente:

$$C(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (20)$$

en donde $C(\omega)$ es una expresión compleja que puede convertirse en los valores reales expresados en las fórmulas (10), (11) y (12), y la ecuación (13) se transforma en:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} C(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (21)$$

Las ecuaciones números (20) y (21) se conocen como la transformación de Fourier. En principio, la primera ecuación define y permite determinar el espectro de frecuencias $C(\omega)$ de una función $f(t)$ ya sea ésta analítica o experimental, y la segunda permite calcular a $f(t)$ a partir del espectro de frecuencias $C(\omega)$.

El cálculo de los espectros de frecuencia y de las funciones que de ellos se derivan, es laborioso y generalmente se hace únicamente para llegar a resultados de carácter general que se aplican a problemas prácticos, especialmente para determinar la anchura adecuada de las bandas de paso en los filtros eléctricos. Sin embargo, en los trabajos sísmicos marinos es indispensable hacer el análisis de frecuencia de las señales para poder aplicar a los registros grabados en cinta magnética el filtro compensador de las reverberaciones, y en ese caso es necesario disponer rápidamente del análisis de Fourier, pudiéndose hacer éste mediante aparatos eléctricos o mecánicos (Bibliografía 1).

En la práctica, muchas de las funciones que deben ser estudiadas no se prestan a integración directa por ser el resultado de mediciones experimentales; pero por aplicación de las fórmulas (16) y (17), pueden lograrse resultados numéricos aplicables a diferentes problemas, con lo que se puede redu-

cir considerablemente el trabajo experimental, a veces difícil de duplicar, que tendría que hacerse para llegar a los mismos resultados.

III.—EJEMPLOS DE LA APLICACION DE LA INTEGRAL Y TRANSFORMADA DE FOURIER

En general, la integral de Fourier es empleada frecuentemente por los físicos y poco por los ingenieros. Por lo tanto, en este trabajo, se presentan algunos ejemplos del manejo de esas fórmulas, tanto para expresiones que se prestan a una integración analítica como para funciones obtenidas experimentalmente.

Se discute con mayor detalle el caso de un impulso rectangular, puesto que tiene la ventaja de presentar con gran claridad los efectos que se tienen al utilizar solamente una parte del espectro de frecuencias en la reproducción de la señal, lo cual equivale al empleo de un filtro, según se discute en la parte IV de este trabajo.

Se define como impulso rectangular a aquel transitorio que tiene un valor nulo hasta un tiempo de referencia, a partir del cual crece instantáneamente hasta llegar a una amplitud A , la que se mantiene constante por un tiempo T , y luego decrece nuevamente a un valor cero que se extiende hasta el infinito.

Aplicando las fórmulas (14) y (15) se obtiene:

$$a(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^T A \cos \omega t \, dt = \frac{A}{\pi \omega} \sin \omega T$$

$$b(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^T A \sin \omega t \, dt = \frac{A}{\pi \omega} (1 - \cos \omega T)$$

Substituyendo en las fórmulas (12) y (13) resulta:

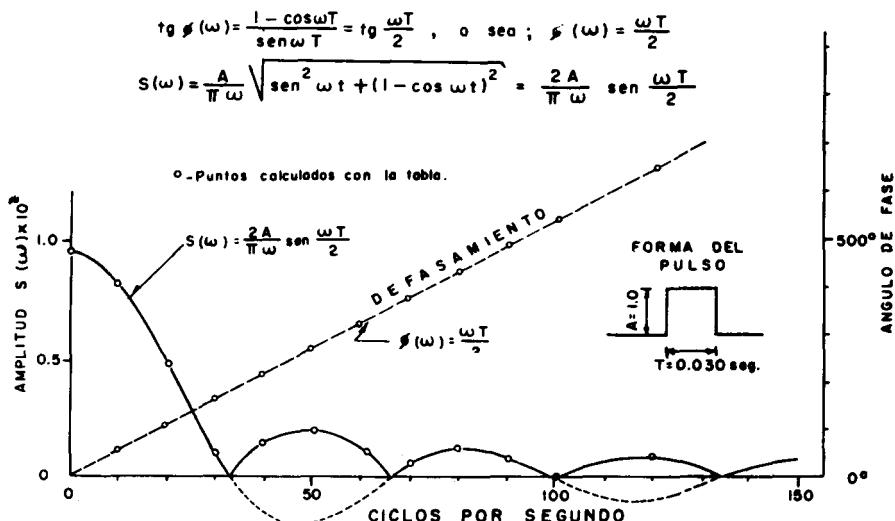


Fig. 5.—Impulso rectangular de amplitud $A = 1.0$ y su espectro de frecuencias.

Este mismo ejemplo se calculó con unas tablas preparadas especialmente para la determinación de espectros de frecuencias de pulsos con una duración semejante a la de los reflejos sísmicos, obteniéndose los resultados que se indican con puntos en la figura 5, (véanse tablas 1-a y 1-b).

Las tablas mencionadas pueden emplearse para otros tiempos y frecuencias, siempre que el producto $f \cdot t$ sea igual al de la columna correspondiente, modificando el valor del intervalo que aparece en la columna No. 1 en forma proporcional al cambio de t .

El problema que presenta mayor importancia desde el punto de vista del registro de una señal eléctrica, como la que se obtiene de un detector sismológico, es definir cuál es la modificación de la señal cuando el sistema electromecánico sólo permite el paso de las ondas correspondientes a una parte del espectro de frecuencias.

CÁLCULO DEL ESPECTRO DE FRECUENCIAS

Este cuadro sirve para calcular el espectro de frecuencias de una señal periódica.

Frecuencia fundamental en Hz	Número de armónicos que se consideran	Cálculo del espectro de frecuencias	
		Amplitud en Hz	Amplitud en dB
1	1	100	20
2	2	100	20
3	3	100	20
4	4	100	20
5	5	100	20
6	6	100	20
7	7	100	20
8	8	100	20
9	9	100	20
10	10	100	20
11	11	100	20
12	12	100	20
13	13	100	20
14	14	100	20
15	15	100	20
16	16	100	20
17	17	100	20
18	18	100	20
19	19	100	20
20	20	100	20
21	21	100	20
22	22	100	20
23	23	100	20
24	24	100	20
25	25	100	20
26	26	100	20
27	27	100	20
28	28	100	20
29	29	100	20
30	30	100	20
31	31	100	20
32	32	100	20
33	33	100	20
34	34	100	20
35	35	100	20
36	36	100	20
37	37	100	20
38	38	100	20
39	39	100	20
40	40	100	20
41	41	100	20
42	42	100	20
43	43	100	20
44	44	100	20
45	45	100	20
46	46	100	20
47	47	100	20
48	48	100	20
49	49	100	20
50	50	100	20
51	51	100	20
52	52	100	20
53	53	100	20
54	54	100	20
55	55	100	20
56	56	100	20
57	57	100	20
58	58	100	20
59	59	100	20
60	60	100	20
61	61	100	20
62	62	100	20
63	63	100	20
64	64	100	20
65	65	100	20
66	66	100	20
67	67	100	20
68	68	100	20
69	69	100	20
70	70	100	20
71	71	100	20
72	72	100	20
73	73	100	20
74	74	100	20
75	75	100	20
76	76	100	20
77	77	100	20
78	78	100	20
79	79	100	20
80	80	100	20
81	81	100	20
82	82	100	20
83	83	100	20
84	84	100	20
85	85	100	20
86	86	100	20
87	87	100	20
88	88	100	20
89	89	100	20
90	90	100	20
91	91	100	20
92	92	100	20
93	93	100	20
94	94	100	20
95	95	100	20
96	96	100	20
97	97	100	20
98	98	100	20
99	99	100	20
100	100	100	20

Nota: Los resultados que se obtienen en los cuadros 1, 2 y 3 corresponden a la señal fundamental, sus armónicos y su suma vectorial respectivamente. Para el cálculo de la amplitud de los armónicos véase la sección de cálculo de las amplitudes.

CÁLCULO DEL ESPECTRO DE FRECUENCIAS

Este cuadro sirve para calcular el espectro de frecuencias de una señal periódica.

Frecuencia fundamental en Hz	Número de armónicos que se consideran	Cálculo del espectro de frecuencias	
		Amplitud en Hz	Amplitud en dB
1	1	100	20
2	2	100	20
3	3	100	20
4	4	100	20
5	5	100	20
6	6	100	20
7	7	100	20
8	8	100	20
9	9	100	20
10	10	100	20
11	11	100	20
12	12	100	20
13	13	100	20
14	14	100	20
15	15	100	20
16	16	100	20
17	17	100	20
18	18	100	20
19	19	100	20
20	20	100	20
21	21	100	20
22	22	100	20
23	23	100	20
24	24	100	20
25	25	100	20
26	26	100	20
27	27	100	20
28	28	100	20
29	29	100	20
30	30	100	20
31	31	100	20
32	32	100	20
33	33	100	20
34	34	100	20
35	35	100	20
36	36	100	20
37	37	100	20
38	38	100	20
39	39	100	20
40	40	100	20
41	41	100	20
42	42	100	20
43	43	100	20
44	44	100	20
45	45	100	20
46	46	100	20
47	47	100	20
48	48	100	20
49	49	100	20
50	50	100	20
51	51	100	20
52	52	100	20
53	53	100	20
54	54	100	20
55	55	100	20
56	56	100	20
57	57	100	20
58	58	100	20
59	59	100	20
60	60	100	20
61	61	100	20
62	62	100	20
63	63	100	20
64	64	100	20
65	65	100	20
66	66	100	20
67	67	100	20
68	68	100	20
69	69	100	20
70	70	100	20
71	71	100	20
72	72	100	20
73	73	100	20
74	74	100	20
75	75	100	20
76	76	100	20
77	77	100	20
78	78	100	20
79	79	100	20
80	80	100	20
81	81	100	20
82	82	100	20
83	83	100	20
84	84	100	20
85	85	100	20
86	86	100	20
87	87	100	20
88	88	100	20
89	89	100	20
90	90	100	20
91	91	100	20
92	92	100	20
93	93	100	20
94	94	100	20
95	95	100	20
96	96	100	20
97	97	100	20
98	98	100	20
99	99	100	20
100	100	100	20

TABLA 1.B.—CALCULO DEL ESPECTRO DE FRECUENCIAS DE UNA ONDA RECTANGULAR CON AMPLITUD UNITARIA Y DURACION TREINTA MILISEGUNDOS

(DATOS DE LA TABLA 1.A)

<i>f</i>	<i>a</i> (ω) $\times 10^{-2}$	<i>b</i> (ω) $\times 10^{-2}$	<i>S</i> (ω)	$\tan \varphi$	φ	Cuadrante	Angulo
c.p.s.							
0	0.922	0.000	0.00920	0.0000	0°	1°	0°
5	0.819	0.418	0.00919	0.5097	27°	1°	27°
10	0.481	0.662	0.00818	1.3765	54°	1°	54°
15	0.104	0.656	0.00664	6.3123	81°	1°	81°
20	-0.148	0.455	0.00478	-3.0784	-72°	2°	108°
25	-0.200	0.200	0.00283	-1.0000	-45°2'	2°	135°
30	-0.097	0.032	0.00102	-0.3266	-18°5'	3°	162°
35	0.044	0.007	0.00045	0.1652	9°23'	3°	189°
40	0.117	0.085	0.00145	0.7276	36°2'	3°	216°
45	0.087	0.172	0.00193	1.9346	63°1'	3°	243°
50	0.000	0.193	0.00193	∞	90°	3°	270°
55	-0.072	0.138	0.00156	-1.9601	-63°	4°	297°
60	-0.075	0.048	0.00089	-0.6428	-32°44'	4°	328°
70	0.039	0.013	0.00043	0.3267	18°6'	5°	378°
80	0.033	0.100	0.00105	3.0661	72°	5°	432°
90	-0.045	0.062	0.00077	-1.3775	-54°	6°	486°
100	0.000	0.000	0.00000	Indeterm.	—	—	—
110	0.034	0.046	0.00057	1.3826	53°30'	7°	593°
120	-0.018	0.056	0.00059	-3.0813	-72°	8°	648°

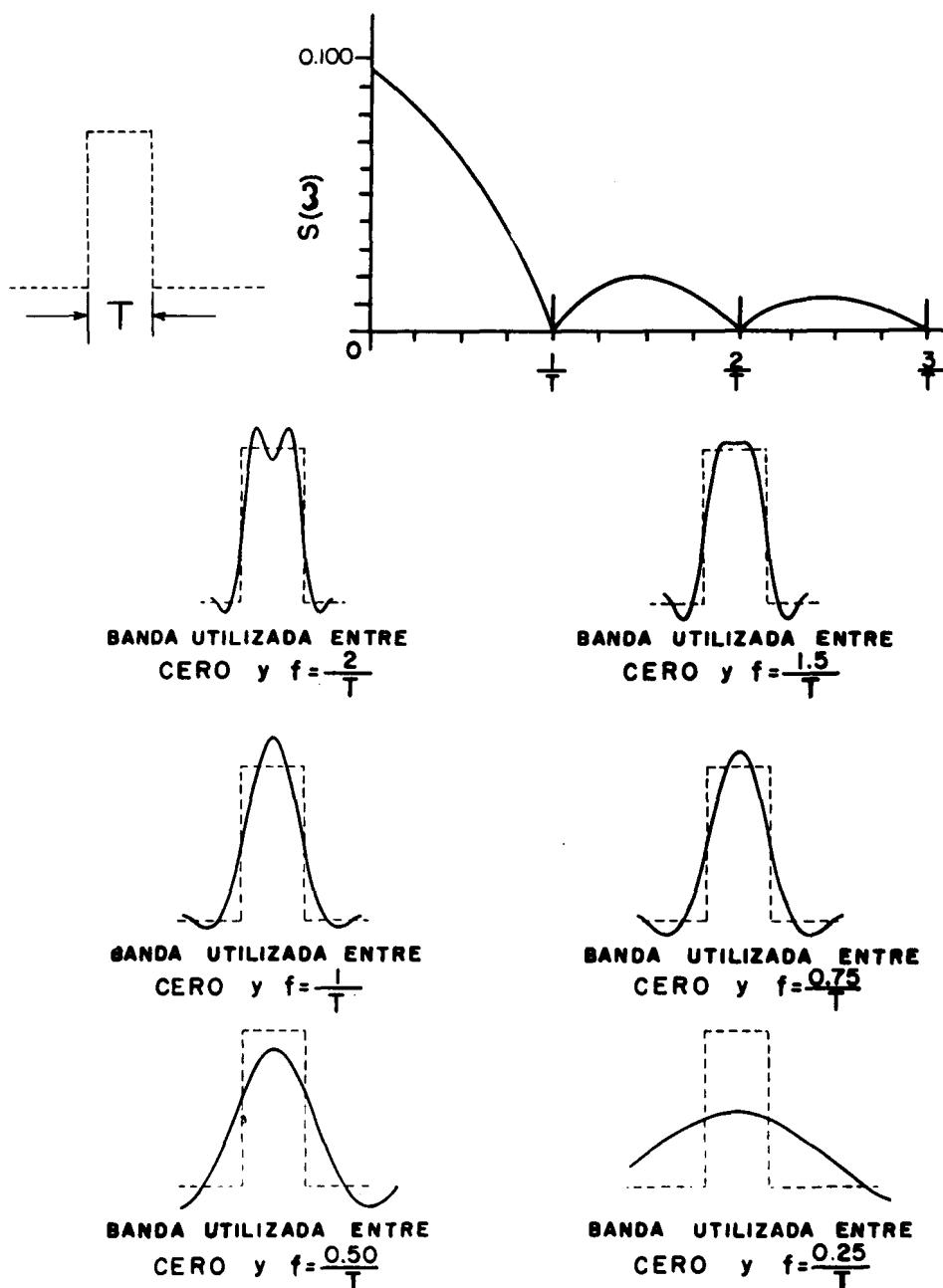


Fig. 6.—Ilustración de la deformación de la señal cuando en su reproducción se emplea solamente una parte del espectro de frecuencias.

Este problema ha sido analizado con detalle por los ingenieros de radio para el impulso rectangular (por su importancia en la transmisión y recepción de las señales de radar y de televisión) y se indica claramente en la figura número 6, en la cual se ve que la onda de salida toma una forma arredondada en sus bordes, que se va aproximando a la onda senoidal cuando se va reduciendo la faja del espectro utilizada en la reproducción.

La condición anterior hace necesario que los osciloscopios tengan amplificadores verticales de banda muy ancha para reproducir fielmente cualquier tipo de señal, según se indica en la figura número 7, en donde se ve que los osciloscopios de banda angosta deforman y arredondean considerablemente la señal, puesto que no transmiten con suficiente fidelidad las altas frecuencias.

En el desarrollo de este trabajo se hicieron varios ensayos sobre la precisión que se tenía al reproducir una señal mediante la aplicación de la ecuación número (17) y se compararon los resultados de la figura número (6), obteniéndose diferencias que no se notan a la escala del dibujo.

El procedimiento que se siguió, apoyándose en la ecuación (17) y en el espectro de frecuencias de un pulso rectangular con una duración de 0.030 segundos, fue dividir en fajas la gráfica del espectro de frecuencias, calculando para cada una de ellas el valor de $S(\omega)$. $\Delta\omega$ y se multiplicaron los resultados por los valores de $\cos \omega t$ para la frecuencia central de cada faja, según se indica en la figura número 8 y en la Tabla número 2.

Los resultados prácticos a que se llegó con los trabajos de gabinete, son de que para obtener suficiente precisión en un tramo que se extienda por un espacio que cubra más de 5 veces el valor de T es necesario emplear no menos de 6 fajas. (Debe notarse que el método aproximado que se siguió, en el cual se toman 6 valores centrales de ω , da como resultado una onda que se repite periódicamente con una frecuencia que es igual a la del mínimo divisor de las frecuencias consideradas. Esta repetición, debida a la aproximación numérica, se puede alejar si se emplean mayor número de divisiones, y se evitaría totalmente tomando un número infinito de términos).



Fig. 7.—Fotografía de la misma señal pasada por osciloscopios con diferentes anchos de banda. (Tomado de J. Mulvey).

La distribución regular de los intervalos de frecuencia empleados para reproducir la señal, resultó ser la solución que daba mejor aproximación en los cálculos y el menor nivel de variaciones en el tramo en el que el valor de la señal original es igual a cero.

Un caso de interés particular del impulso rectangular, ocurre cuando su duración tiende a cero (lo que se designa con el nombre de impulso instantáneo), por la semejanza que se tiene con la deformación de las capas cercanas al pozo de tiro inmediatamente después de la explosión, según se ilustra en la figura número 9.

En el caso de que la duración del impulso tienda a cero, la ecuación del espectro de frecuencias del pulso rectangular, se transforma en

$$S(\omega) = \frac{AT}{\pi}$$

lo que muestra que el impulso tiene un espectro de frecuencias que varían de cero a infinito, y en el que todas las componentes tienen la misma amplitud y se encuentran en fase para $t = 0$.

Como la duración de la explosión es del orden de un milésimo de segundo y su forma no es exactamente rectangular, la forma del espectro de frecuencias es la que se indica esquemáticamente en la figura 11, en la cual se muestran también el espectro de frecuencias aproximado de la deformación de las rocas, producido por las ondas reflejadas, de acuerdo con los trabajos teóricos y experimentales de Norman Ricker.

ASOCIACION DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

		$S(w) \cdot \Delta w$ cos 2πft t = f=30ps	$S(w) \cdot \Delta w$ cos2πft f=30ps	$S(w) \cdot \Delta w$ cos2πft f=150ps	$S(w) \cdot \Delta w$ cos2πft f=210ps	$S(w) \cdot \Delta w$ cos2πft f=270ps	$S(w) \cdot \Delta w$ cos2πft f=330ps	Intervalo Valor Medio o P s de $S(w) \cdot \Delta w$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	+1.000	+.3506	+1.000	+.3110	+.2413	+1.000	+.1659	+1.000
.010	+.982	+.3443	+.844	+.2625	+.588	+.1419	+.249	+.0413
.020	+.930	+.3261	+.426	+.1325	-.309	-.0746	-.876	-.1433
.030	+.884	+.2959	-.125	-.0389	-.951	-.2295	-.685	-.1136
.040	+.729	+.2556	-.637	-.1981	-.809	-.1952	+.536	+.0859
.050	+.588	+.2062	-.951	-.2958	0	0	+.951	+.1578
.060	+.426	+.1494	-.969	-.3014	+.809	+.1952	-.063	-.0105
.070	+.249	+.0873	-.685	-.2130	+.951	+.2295	-.982	-.1629
.080	+.063	+.0221	-.187	-.0582	+.309	+.0746	-.026	-.0707
.090	-1.125	-0.0438	+.368	+.1144	-.588	-.1419	+.771	+.1279
.100	-309	-1.1033	+.809	+.2516	-1.000	-2413	+.809	+.1342
.110	-482	-1.1690	+.998	+.3104	-.588	-.1419	-.168	-.0611
.120	-537	-2.2333	+.876	+.2724	+.309	+.0746	-.592	-.1546
.130	-771	-2.2703	+.482	+.1499	+.951	+.2295	-.125	-.0207
.140	-876	-3.071	-0.63	-0.196	+.809	+.1952	+.930	+.1543
.150	-951	-3.334	-588	-.1829	0	0	+.588	+.0795
.160	-992	-3.418	-930	-.2892	-.809	-.1952	-.637	-.1957
.170	-998	-3.499	-932	-.3054	-.931	-.2295	-.905	-.1501
.180	-969	-3.397	-729	-.2267	-.309	-.0746	+.187	+.0310
.190	-905	-3.173	-249	-.0774	+.588	+.1419	+.998	+.1956
.200	-809	-2.836	+.309	+.3961	+1.000	+.2613	+.303	+.0513
.210	-685	-2.402	+.771	+.2398	+.588	+.1419	-.844	-.1400
.220	-536	-1.879	+.992	+.3085	-.309	-.0746	-.729	-.1209
.230	-368	-1.120	+.905	+.2815	-.921	-.2295	+.482	+.0860
.240	-187	-0.656	+.536	+.1667	-.809	-.1952	+.969	+.1608
.250	0	0	0	0	0	0	0	0

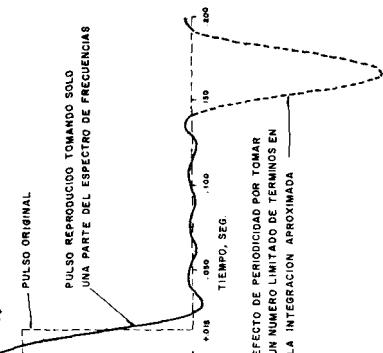


TABLE 2.- EN TIEMPO CDT. MUESTRA LA FORMA DE CÁNDAR UN PULSO DE SPECTRO DE FRECUENCIAS. (NOTAR QUE EN ESTE CASO PARTICULAR NO EXISTE ALGUNO DE DESPLAZAMIENTO).

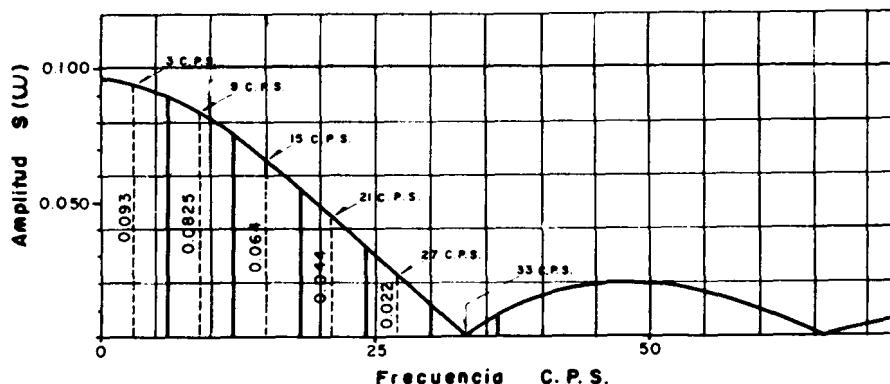


Fig. 8.—División del espectro de frecuencias en fajas a fin de hacer el cálculo de la integral de la Fórmula No. 17.

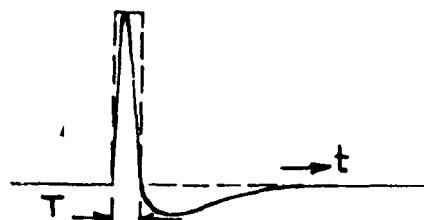


Fig. 9.—Desplazamiento de las formaciones cerca de un pozo de tiro y su aproximación por medio de un pulso de muy corta duración.

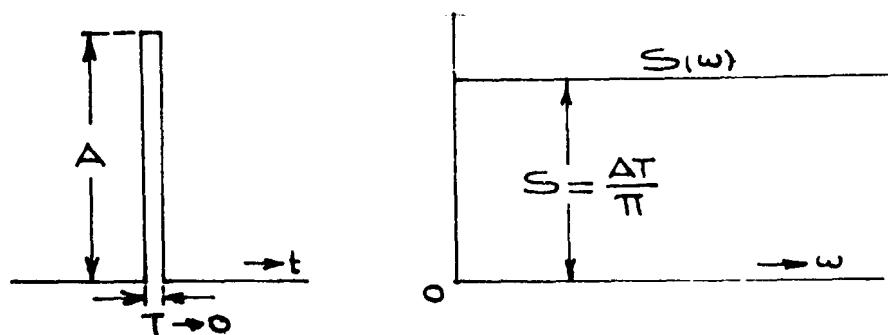


Fig. 10.—Impulso instantáneo y su espectro de frecuencias.

En la figura 11 se observa que difieren considerablemente los espectros de frecuencias de las ondas generadas por la explosión y el de la onda reflejada, lo que se debe a la atenuación que sufren en el terreno las ondas elásticas de alta frecuencia y al hecho de que las rocas que se deforman de acuerdo con la Ley de Hooke, no tienen una deformación permanente, lo que correspondería a frecuencia cero.

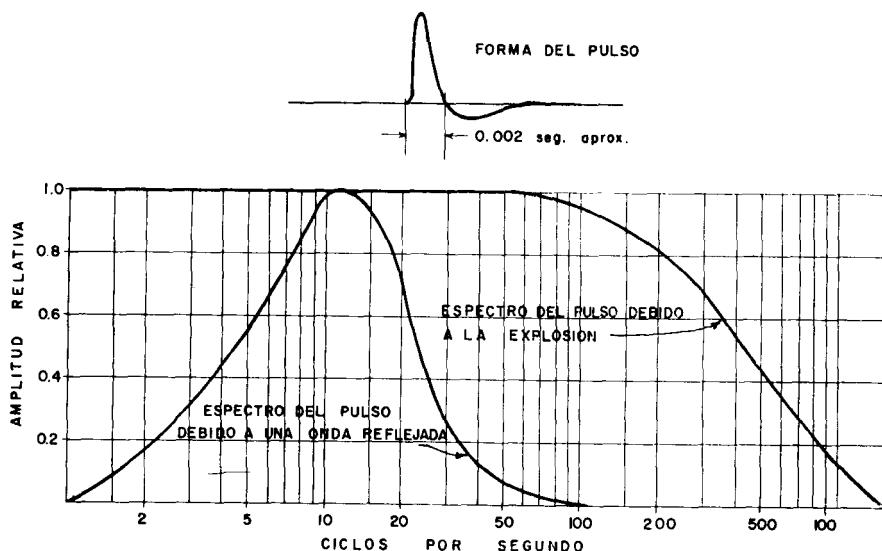


Fig. 11.—Diagrama esquemático del espectro de frecuencias de la deformación de las rocas en la proximidad de un pozo de tiro y espectro de frecuencias de la deformación producida por una onda reflejada de profundidad considerable (3,000 a 4,000 metros).

Los ejemplos de la figura 6 muestran que al reducir la banda del espectro de frecuencias para reproducir la señal, se tiene una tendencia a que la duración de la señal registrada sea mayor que la de la señal original, lo que se debe a que las componentes que no se emplean se distinguen claramente en la parte en la cual la función original tiene el valor cero, dando origen a la deformación de la onda reproducida con relación a la forma de la onda original.

El empleo de un filtro eléctrico que no permita el paso de la totalidad del espectro, da el mismo resultado final y en este caso, la onda, a la salida del filtro, puede diferir considerablemente de la señal que se le aplicó en las terminales de entrada.

En la Tabla 3 se presentan los espectros de algunas funciones que tienen semejanza con las ondas que se observan en los registros sismológicos y se presenta también el espectro del pulso de Ricker, que corresponde a la velocidad de deformación de las capas para puntos lejanos del disturbio, la cual tiene especial importancia, según se trata en forma somera en la Parte IV.

1
La frecuencia aparente de la onda de Ricker se define como $\frac{1}{T}$

o sea la inversa de la diferencia de tiempos que separa a los dos máximos. (Esta es muy cercana a la frecuencia aparente de las ondas reflejadas que se obtienen en los registros sismológicos que se toman con una banda ancha, del orden de 20 a 90 ciclos por segundo).

La frecuencia de mayor amplitud en el pulso de Ricker es igual a $\frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot f_a$, siendo f_a la frecuencia aparente.

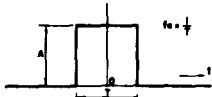
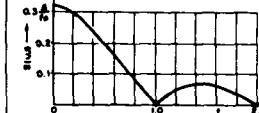
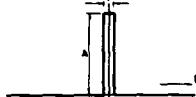
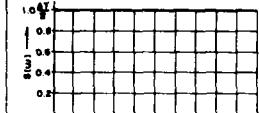
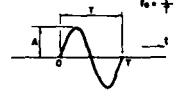
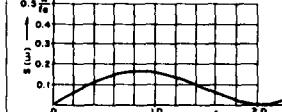
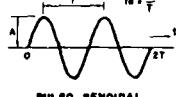
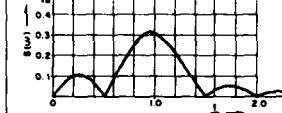
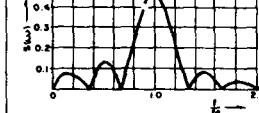
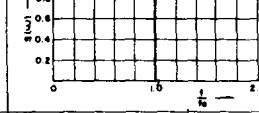
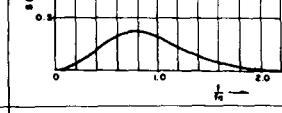
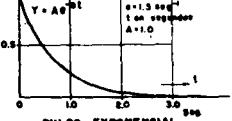
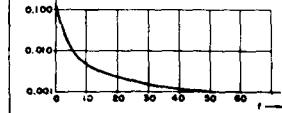
Como en los amplificadores sismológicos, a fin de tener una amplitud aproximadamente uniforme en el registro, se hace variar la sensibilidad en forma aproximadamente exponencial (siendo la sensibilidad menor al iniciarse el registro), se ha incluido también una gráfica del espectro de una función exponencial.

Esta función muestra en forma aproximada el voltaje que el control automático de volumen (o el programador de ganancia) introducen en la rejilla de los tubos de control.

En la Tabla número 3, donde se muestran diferentes pulsos y sus espectros, se observa la notable particularidad de que un pulso de duración corta tiene un espectro en el que es ancha la banda de frecuencias que tiene una amplitud considerable, mientras que un pulso de larga duración produce un espectro en el que la amplitud de las componentes es importante solamente en una gama de frecuencia relativamente corta, siendo los casos extremos el pulso instantáneo, cuyo espectro tiene todas sus componentes con la misma amplitud para frecuencias desde cero hasta infinito, y el pulso periódico senoidal, cuyo espectro se reduce a una sola frecuencia.

Lo anterior hace ver claramente que al emplear solamente una parte del espectro de frecuencias en la reproducción de una señal, la onda reproducida tiene una duración mayor que la onda original, y su forma general-

ESPECTROS DE FRECUENCIAS PARA DIVERSOS PULSOS

P U L S O	E S P E C T R O	F O R M U L A
 <p>PULSO RECTANGULAR Y=A entre 0 y T</p>		$S(\omega) = \frac{A}{\pi f_0} \frac{\sin \pi f_0}{\pi f_0}$ $\phi(\omega) = 0^\circ$ (En el centro del pulso)
 <p>Cuando T=0 PULSO INSTANTANEO Y=A para t>0</p>		$S(\omega) = \frac{AT}{\pi}$ $\phi(\omega) = 0^\circ$ (En el centro del pulso)
 <p>PULSO SENOIDAL Y=Sen 2πf0t, entre 0 y T</p>		$S(\omega) = \frac{A}{2\pi^2 f_0} \left[\frac{\sin(\pi f_0)}{1 + \frac{f}{f_0}} - \frac{\sin(\pi f_0)}{1 - \frac{f}{f_0}} \right]$
 <p>PULSO SENOIDAL Y=Sen 2πf0t, entre 0 y 2T</p>		$S(\omega) = \frac{A}{2\pi^2 f_0} \left[\frac{\sin 2\pi f_0}{1 - \frac{f}{f_0}} - \frac{\sin 2\pi f_0}{1 + \frac{f}{f_0}} \right]$
 <p>PULSO SENOIDAL Y=Sen 2πf0t, entre 0 y 3T</p>		$S(\omega) = \frac{A}{2\pi^2 f_0} \left[\frac{\sin 3\pi f_0}{1 - \frac{f}{f_0}} - \frac{\sin 3\pi f_0}{1 + \frac{f}{f_0}} \right]$
 <p>ONDA PERIODICA Y=Sen 2πf0t</p>		$S(\omega) = A$ para $\frac{f}{f_0} = 1$
 <p>PULSO DE VELOCIDAD DE RICKER</p>		$S(\omega) = \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 e^{-\left(\frac{f}{f_0} \right)^2}$ $\phi(\omega) = \pi = 180^\circ$ (En el centro del pulso)
 <p>PULSO EXPONENCIAL</p>		$S(\omega) = \frac{A}{\pi f} \frac{1}{\sqrt{1 + 4\pi^2 f^2}}$

T A B L A N o . 3

mente tiende a ser más redondeada. El efecto es tanto más marcado cuanto más se reduce la parte del espectro empleada.

En el caso de que los filtros eliminan parte de las señales se tiene el mismo efecto, y por lo tanto es imposible hacer un filtro sismológico sin oscilaciones, ya que se hace necesario suprimir parte del espectro para evitar la interferencia de los ruidos.

IV.—APLICACIONES DE LA INTEGRAL DE FOURIER

Las ecuaciones de la transformación de Fourier se prestan especialmente para el estudio del efecto que un sistema con una respuesta determinada de amplitud Vs. frecuencia (tal como un amplificador sismológico) tiene para transmitir las señales que se aplican, considerando que el sistema opera sin sobrecargas que produzcan distorsión.

El método de solución puede dividirse en los siguientes pasos:

a).—Determinar el espectro de frecuencia $S(\omega)$ y el ángulo de fase de las diferentes componentes de la señal que se desea pasar por el sistema.

b).—Definir, de la respuesta amplitud-frecuencia del sistema, en qué forma se modifican la amplitud y la fase de cada una de las componentes de la señal impresa.

c).—De los resultados que se obtienen en el paso anterior, definir la forma de la señal de salida del sistema, mediante la aplicación de la fórmula número 13.

La determinación del espectro de frecuencias y del ángulo de fase de las diferentes componentes de un pulso transitorio, ha sido tratada con suficiente detalle en la Parte II de este trabajo y la forma de manipular los datos, se ilustra en los ejemplos numéricos de la Parte III.

Los trabajos teóricos y experimentales muestran que al tratar de reproducir una señal a través de un sistema electromecánico (tal como los detectores sismológicos, amplificadores y galvanómetros) se modifica la forma de la misma. Este problema se complica cuando además de la señal que se desea reproducir existen otras señales no deseadas, a las que se designa con el nombre genérico de ruidos.

El estudio de los problemas que se presentan en la reproducción de las señales se trata en muchos libros modernos sobre la teoría de las señales. En el tratamiento que se sigue adelante se utilizan los principios más elementales de esas investigaciones.

Los elementos fundamentales de un aparato sismológico son tres: Detectores, amplificadores y sistema registrador, los cuales se tratan adelante.

DETECTORES

En la teoría de los detectores electrodinámicos (Bibliografía 3), se indicó que la señal de salida de un detector sismológico del tipo de bobina móvil, que es el empleado más frecuentemente en los trabajos exploratorios, es proporcional a la velocidad de movimiento del terreno y que depende de las características propias del aparato (frecuencia natural, amortiguamiento y sensibilidad).

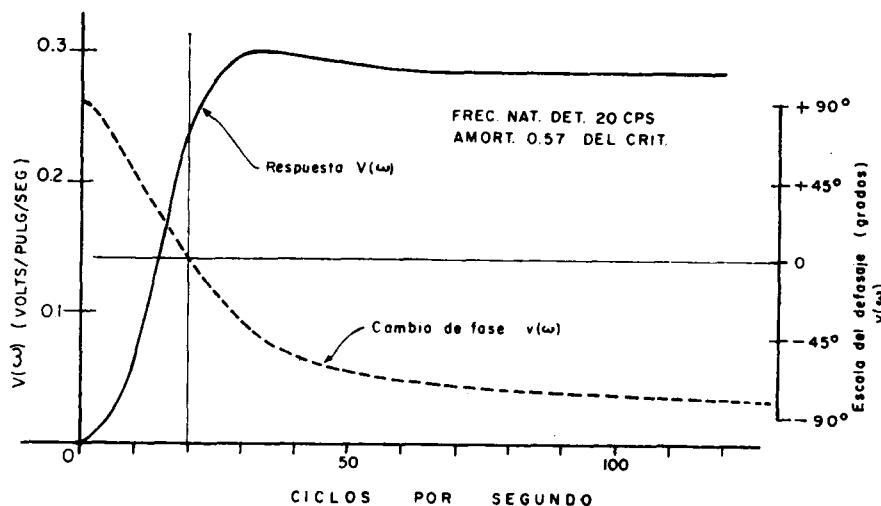


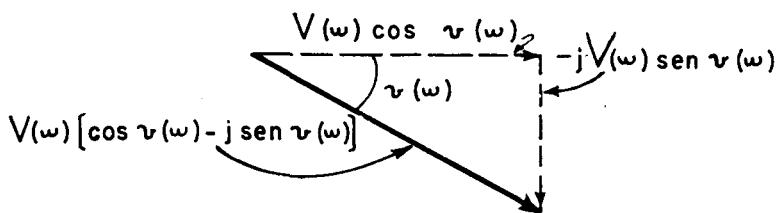
Fig. 12.—Respuesta típica de un detector a diferentes frecuencias.

Haciendo un resumen de los resultados mencionados en el trabajo de referencia, se demuestra que el voltaje de las terminales del detector es pro-

porcional a la velocidad de movimiento de la caja del mismo, y para una excitación de velocidad constante, varía con la frecuencia en la forma que se indica en la figura número 12. Ese voltaje tiene un defasamiento ϕ con relación al movimiento del terreno, que varía con la relación de la frecuencia del movimiento a la frecuencia natural del detector.

Los resultados que se han expresado anteriormente, pueden representarse fácilmente en forma matemática diciendo que:

$$\begin{aligned} V(\omega) \angle \omega &= V(\omega) [\cos v(\omega) - j \operatorname{sen} v(\omega)] \\ &= V(\omega) e^{-jv(\omega)} \end{aligned} \quad (22)$$



en donde $V(\omega)$ es la respuesta del detector a la frecuencia ω , $v(\omega)$ es el ángulo de defasamiento entre la señal impresa al detector y el voltaje que se mide en sus bornes. El valor de $V(\omega)$ generalmente se expresa en (volts/pulg./seg.) y $v(\omega)$ en radianes o en grados.

Es conveniente recordar que, apoyándose en la teoría de la elasticidad, y en gran cantidad de mediciones experimentales, Norman Ricker ha demostrado que la forma del pulso transitorio que representa la velocidad de movimientos del terreno para ondas reflejadas, tiene la forma que se indica en la figura número 13, en donde el tiempo que transcurre entre los dos máximos de este pulso varía generalmente de 0.015 a 0.050 segundos (lo que en los registros sismológicos da origen a frecuencias aparentes de 66 a 20 ciclos por segundo), siendo de más corta duración los pulsos correspondientes a los reflejos de poca profundidad.

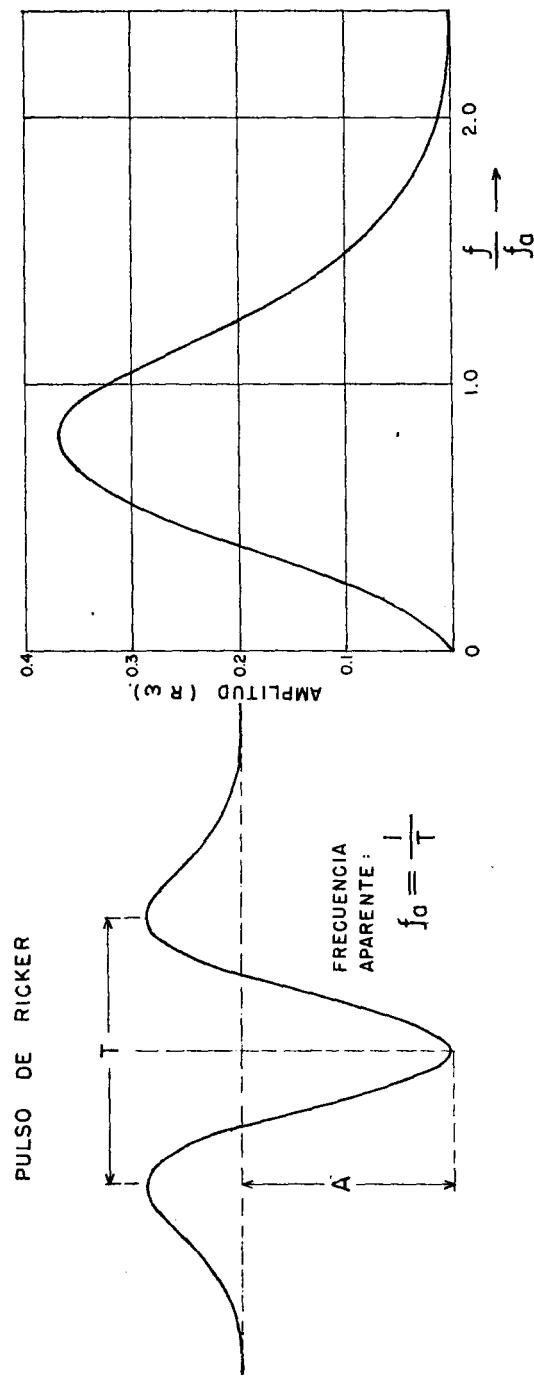


Fig. 13.- Pulso de Ricker y Espectro de frecuencias del mismo.

Si se designa como $R(\omega)$ a la componente de frecuencia angular ω del espectro del pulso de Ricker y por $\phi(\omega)$ a su ángulo de fase, el voltaje que resulta en los bornes del detector a esa componente será:

$$\begin{aligned} e(\omega) &= R(\omega) \cos [(\omega t - \phi(\omega))] \cdot V(\omega) [\cos v(\omega) - j \sin v(\omega)] \\ &= R(\omega) V(\omega) \cos [(\omega t - \phi(\omega)) + v(\omega)] \end{aligned} \quad (23)$$

La forma de la señal de salida del detector es la suma de todas las ondas senoidales $e(\omega)$ y por lo tanto, puede substituirse en la ecuación (17), quedando:

$$\begin{aligned} e(t) &= \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} R(\omega) V(\omega) \cos \{[\omega t - \phi(\omega)] - v(\omega)\} d\omega \\ &= \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} R(\omega) V(\omega) \cos [(\omega t - v(\omega)) - \phi(\omega)] d\omega. \end{aligned} \quad (24)$$

La fórmula 24 muestra que el voltaje de salida del detector no es de la misma forma que el pulso de Ricker, debido a que las amplitudes de sus componentes se ha modificado en forma diferente para cada frecuencia y que el detector produce un desfasamiento que también varía con la frecuencia.

Según puede verse en la figura 14, en la que se han marcado conjuntamente la respuesta de un detector y la forma del espectro del pulso de Ricker, para una frecuencia aparente de 30 ciclos por segundo (véase la Parte III), la modificación en amplitud es importante en las frecuencias del espectro que son menores que la frecuencia natural del detector, sufriendo una modi-

ficación pequeña para las frecuencias mayores que la frecuencia natural del detector.

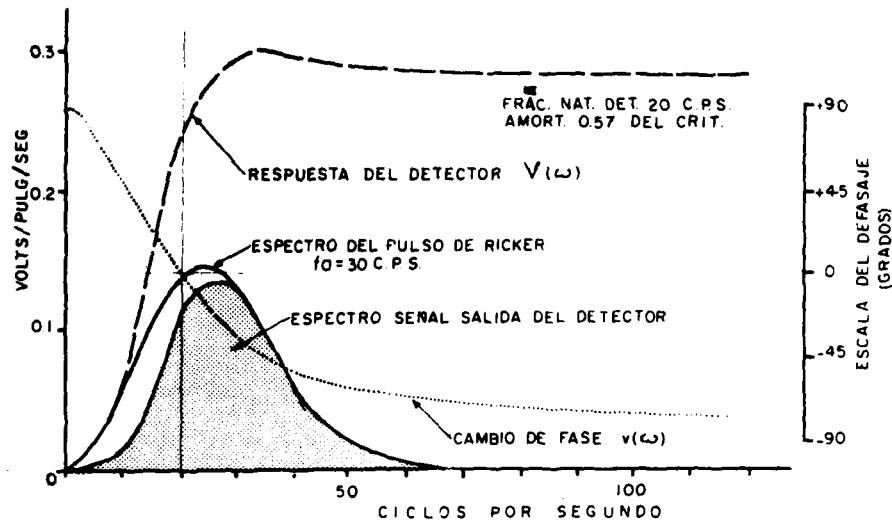


Fig. 14.—Modificación de la amplitud en el espectro del pulso de Ricker para un detector de frecuencia natural de 20 cps. con amortiguamiento del 57% y espectro de frecuencias de un pulso de Ricker con frecuencia aparente de 30 ciclos por segundo.

Como resultado de la supresión parcial de las componentes de baja frecuencia, en lugar de la onda casi simétrica del pulso de Ricker, la señal de salida tiene la forma indicada en forma esquemática en la figura 15.

En la figura se observa que a pesar de la diferencia tan grande en el cambio de fases, el pulso de Ricker se reproduce con bastante fidelidad en la salida del detector. Esto es un fenómeno natural fácilmente explicable, según se indica a continuación al tratar el caso de cuáles son las condiciones necesarias para una reproducción sin distorsión.

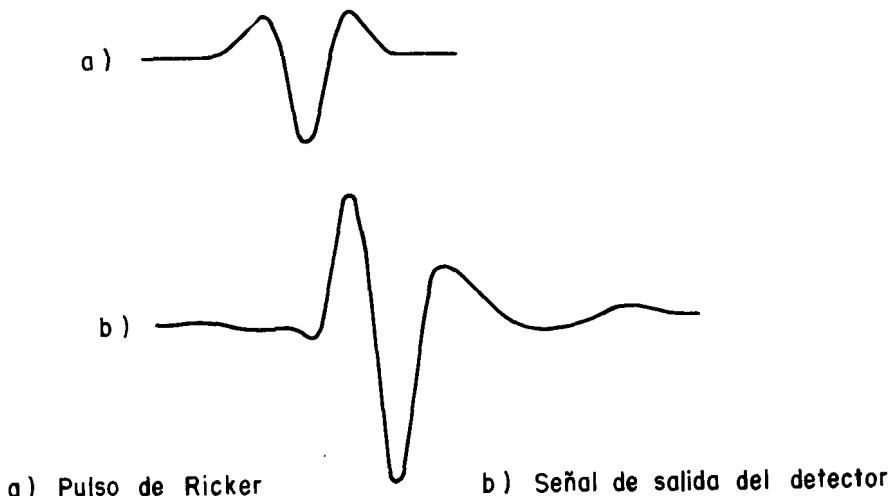


Fig. 15.—Movimiento impreso al detector por una onda reflejada y señal de salida del detector.

La condición ideal de operación sería aquella en la cual la señal de la onda reflejada, se reprodujera en el registro sismológico sin cambiar de forma, siendo aceptable que pudiera estar defasada un tiempo cualquiera Δt con relación a la señal original. Esto significa que en la fórmula (24) se tuviera:

$$e(t) = \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} R(\omega) V(\omega) \cos [(\omega t - v(\omega)) - \phi(\omega)] d\omega \quad (25)$$

Para lograr lo anterior, sería necesario que se cumplieran dos requisitos: El primero sería que no se modificara la amplitud relativa de las componentes del espectro de frecuencias, y el segundo sería que todas las componentes quedaran defasadas el mismo tiempo.

La primera condición podría llenarse fácilmente haciendo que $V(\omega)$ fuera igual en todo el rango de frecuencias en el que tienen una magnitud observable las diferentes componentes del espectro de frecuencias de la señal.

Esto sería posible haciendo detectores de muy baja frecuencia natural, lo cual es perfectamente factible y se ha hecho para el desarrollo de trabajos experimentales pero requiere detectores muy pesados y de alto costo.

La segunda condición, se satisface si el término del coseno de la fórmula (25), llena la siguiente condición:

$$\omega t - v(\omega) = C$$

siendo C una constante cualquiera. (En la ecuación anterior no se ha tomado en cuenta el término $\phi(\omega)$, puesto que éste es el defasamiento entre las componentes de la señal original, el cual debe mantenerse para lograr la reproducción de la onda).

De la ecuación anterior, puede ponerse:

$$v(\omega) = -C + \omega t$$

lo que indica que la condición necesaria, es que la onda quede atrasada para las frecuencias más bajas y que el defasamiento vaya disminuyendo con la frecuencia.

La condición anterior se satisface aproximadamente en los detectores sismológicos con un amortiguamiento mayor de 0.5 del crítico.

Desde el punto de vista instrumental (sin tener en cuenta las señales de ruido coherente que se generan en el punto de tiro), sería ideal que la parte del espectro del pulso de Ricker, que tiene componentes con una amplitud del orden de 15% o mayores, quedara dentro de la faja de frecuencias en que es plana la respuesta del detector. Sin embargo, como los ruidos coherentes tienen componentes de baja frecuencia, y es necesario evitar su interferencia, frecuentemente se hace conveniente escoger detectores con una frecuencia de 20 ciclos por segundo o mayor, a pesar de que por tal motivo resulte eliminada parte del espectro de frecuencia del pulso de Ricker.

AMPLIFICADORES

Gran parte de las señales que interfieren con la identificación de las ondas reflejadas, se generan también por la explosión y corresponden a ondas de baja frecuencia (dentro del espectro sísmico) con amplitudes considerables, entre 2 y 20 ciclos por segundo. Asimismo, el movimiento del terreno producido por el viento genera en el detector señales del orden de 100 ciclos o mayores. Lo anterior ha hecho que a los amplificadores de aparatos sismológicos empleados en trabajos para exploración por el método de reflexión, se les dote de amplificadores con un paso de banda (que generalmente es ajustable dentro de ciertos límites) a fin de eliminar las señales de ruido que oscurecen los reflejos.

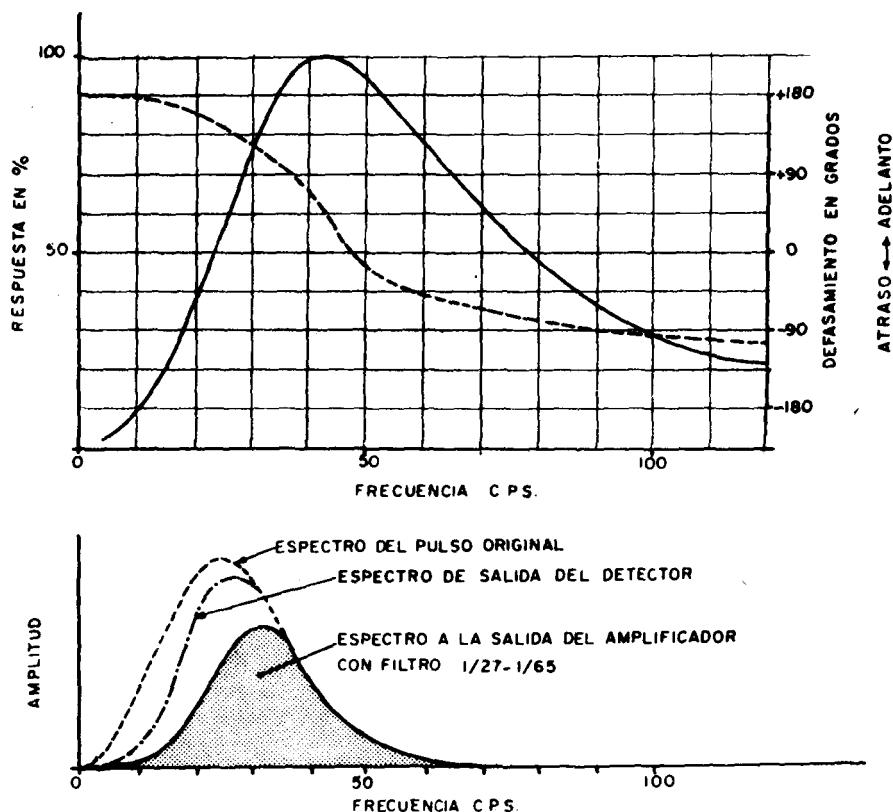


Fig. 16.—Respuesta de un amplificador sismológico típico con frecuencias de corte de 27 y 65 ciclos por segundo (parte superior) y molificación al espectro del pulso de Ricker (parte inferior).

En los aparatos sismológicos, las frecuencias de corte (para las frecuencias más bajas del espectro sísmico) varían por pasos fijos entre unos 20 y 35 ciclos por segundo y las frecuencias de corte para las frecuencias altas varía entre unos 60 y 100 ciclos por segundo. En la figura 16 se muestra la respuesta relativa de un amplificador sismológico típico, y se indica también la forma en que varía el ángulo de defasamiento entre las señales de entrada y de salida del amplificador.

Las ecuaciones 22 a 25, que se discutieron en el caso de los detectores, son aplicables directamente a los amplificadores, debiendo notarse que la gráfica de cambio de fases de los amplificadores, sigue la misma forma que la de los detectores, pero que en la parte que queda hacia el lado de bajas frecuencias de la frecuencia central del filtro, la curva difiere en forma considerable de la línea recta, lo que introduce cambios importantes de fase en las componentes de diferentes frecuencias.

Cuando una señal $R(\omega)$, pasa primeramente por el detector y luego por el amplificador, se tiene:

$$\begin{aligned} e(t) &= \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} [R(\omega) \cos(\omega t - \phi(\omega)) V(\omega) [\cos v(\omega) - j \sin v(\omega)] \\ &\quad A(\omega) [\cos a(\omega) - j \sin a(\omega)] d\omega \\ &= \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} R(\omega) V(\omega) A(\omega) \cdot \cos [\omega t - \phi(\omega) - \Theta(\omega)] d\omega \quad (26) \end{aligned}$$

sumando los ángulos de defasamiento, o sea haciendo:

$$a(\omega) + v(\omega) = \Theta(\omega) \quad (27)$$

y en el caso del pulso de Ricker, refiriendo la información al centro del pulso, para lo cual se tiene $\phi(\omega) = \pi = 180^\circ$

$$e(t) = - \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} V(\omega) A(\omega) R(\omega) \cos [\omega t - \Theta(\omega)] d\omega \quad (28)$$

y reemplazando la suma dentro del término del coseno por el producto de las funciones seno y coseno, se tiene:

$$e(t) = - \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} V(\omega) A(\omega) R(\omega) [\cos \omega t \cdot \cos \Theta(\omega) - \sin \omega t \cdot \sin \Theta(\omega)] d\omega$$

$$\begin{aligned} Haciendo \quad & P_c = V(\omega) A(\omega) R(\omega) \cos \Theta(\omega) \\ & Ps = V(\omega) A(\omega) \cdot R(\omega) \sin \Theta(\omega) \end{aligned} \quad (29)$$

Se puede escribir:

$$e(t) \cong - \Delta \omega \sum_{\omega=\omega_1}^{\omega=\omega_2} (P_c \cos \omega t + Ps \sin \omega t) \quad (30)$$

que es una fórmula que se presta para el cálculo numérico de manera relativamente fácil, semejante a la de la ecuación (17), aunque es necesario emplear tablas bastante más largas que la número 2 y toman más tiempo de cálculo. (Debe notarse que la onda deja de ser simétrica debido a que en los aparatos los cambios de fase no son lineales, según se indicó en las figuras 14 y 16.

En la figura 17 se muestran los resultados que se obtuvieron al aplicar las ecuaciones (29) y (30) para el caso del pulso y el sistema detector-amplificador considerado en las figuras 14 y 16.

Puede observarse que la forma calculada para la señal a la salida del sistema es semejante a la de las señales correspondientes a las ondas reflejadas que se observan en registros sismológicos de buena calidad.

Es conveniente hacer notar que si solamente existiera distorsión por cambio de amplitud de las componentes (con un cambio de fase lineal, que es caso ideal) el pulso de Ricker seguiría siendo simétrico con relación a su línea central. Por otro lado, si sólo existiera distorsión debido a los cambios de fase (con un sistema en el cual no se modificara la amplitud de las componentes) la distorsión haría que esa forma de la señal de salida fuera asímética.

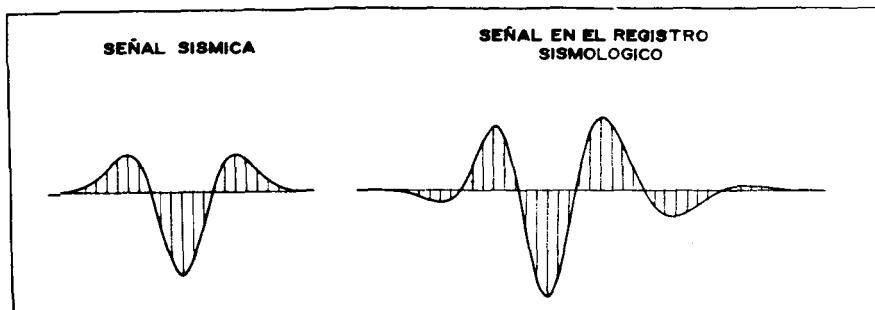


Fig. 17.—Señal a la salida del sistema Detector-Amplificador indicado en las figuras 14 y 16 cuando la señal excitadora es un pulso de Ricker.

El empleo de filtros con una banda de paso muy angosta no es recomendable porque se cortan componentes de alta y baja frecuencia y por lo tanto la señal de salida muestra una cola muy larga (ver figura 18) puesto que la porción útil del espectro tiende a parecerse a la de una onda senoidal de varios ciclos, según se mostró en la Tabla número 3, pudiéndose llegar, en aparatos mal diseñados, al caso extremo en que la forma del transitorio tenga un contraste tan pequeño sobre el nivel de ruido y sea de una frecuencia tan parecida, que se haga extremadamente difícil su identificación. (Esto presenta problemas muy agudos en el caso de reflejos cercanos, o niveles de ruido elevados).

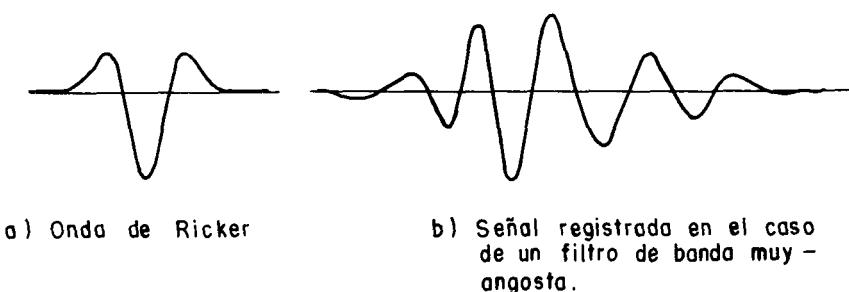


Fig. 18.—Efecto de un filtro de banda muy angosta.

Por las razones anteriores prácticamente todos los aparatos sismológicos tienen una pendiente moderada de filtros, que es del orden de 15 a 35 decibeles por octava (o sea que la respuesta en las bandas de atenuación se reduce entre un 15 y un 98% con un cambio de dos veces [o la mitad] de la frecuencia), a pesar de que es muy fácil hacer filtros con un corte más rápido.

La amplitud del paso de banda influye también en forma considerable en la discriminación de las señales reflejadas que lleguen al aparato con pequeñas diferencias de tiempo, lo cual se explica en la figura número 19, en la cual se ha recurrido nuevamente al empleo del pulso rectangular de la figura número 5, puesto que en este caso se ilustra con gran claridad la modificación en la forma de la señal cuando se va reduciendo paulatinamente el ancho de la banda de paso.

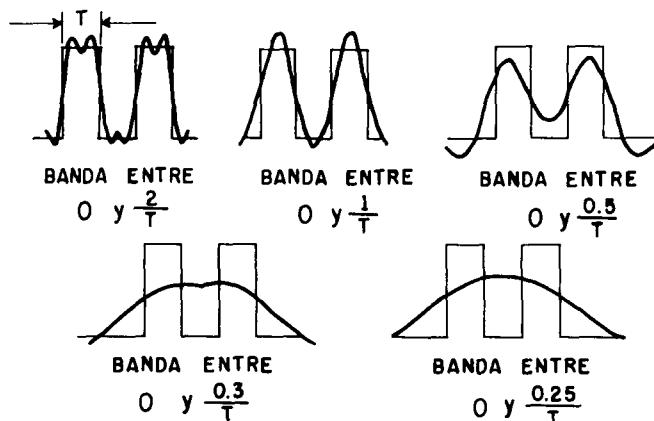


Fig. 19.—Ilustración de la reducción en la posibilidad de discriminación para señales adyacentes cuando se reduce el ancho del paso de banda
(Según S. Goldman, Bibliografía 2).

La figura anterior muestra que para discriminar dos señales muy cercanas entre sí, es conveniente que el ancho de la banda de paso sea del orden de $1/T$ o mayor (en donde T es la duración del pulso). Esto significa que las componentes de amplitud considerable de la señal deben quedar dentro de la banda de paso del filtro, según se muestra en la figura número 16.

GALVANOMETROS

La respuesta típica de los galvanómetros de un aparato sismológico se muestra en la figura número 20, en la cual se ve que su respuesta es prácticamente plana entre 0 y 120 ciclos por segundo, existiendo galvanómetros en los cuales la parte plana puede extenderse hasta unos 400 ciclos por segundo.

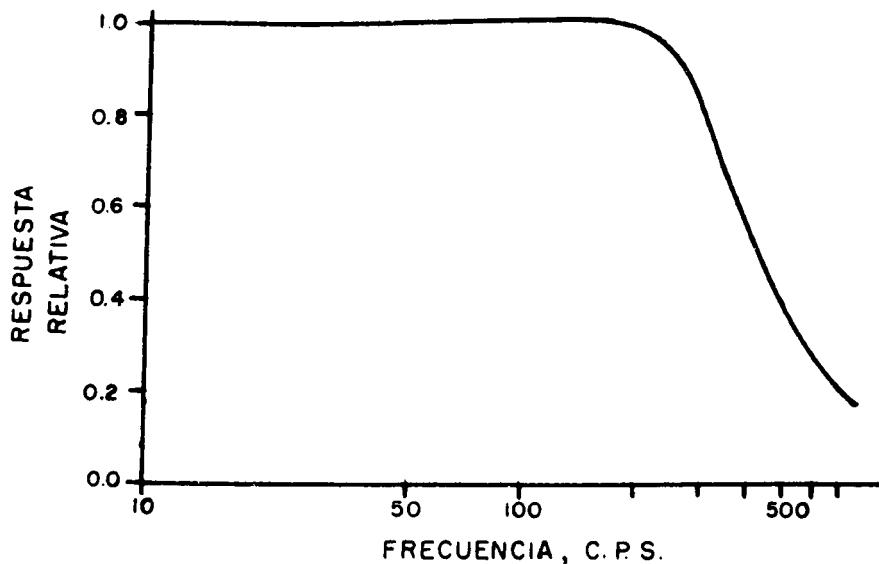


Fig. 20.—Respuesta típica de un galvanómetro empleado en aparatos sismológicos.

Como normalmente las señales que pasan por los detectores y el amplificador quedan restringidos a una banda entre 20 y 100 ciclos por segundo, se ve que el galvanómetro opera como un sistema lineal y no modifica la forma de las señales que recibe.

Haciendo un resumen de lo tratado anteriormente, y de las características típicas de los diferentes elementos de un equipo sismológico, puede decirse que los detectores y los galvanómetros son sistemas electro-mecánicos con parámetros fijos, prácticamente imposibles de modificar durante los períodos de tiempo entre registros consecutivos.

Por otro lado, la facilidad de cambiar las características del amplificador dentro de límites definidos entre registros de dos tiros consecutivos, mediante la operación de un interruptor, ha hecho que se estudien con detalle las posibilidades de mejorar la calidad de registro, cambiando las posiciones del filtro, en los casos en los cuales el espectro de las señales de ruido tiene componentes de amplitud y frecuencias diferentes a las de las señales producidas por las ondas reflejadas.



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

- 1 BORN, W. T. y KENDALL, J. M.—“Application of the Fourier Integral to Some Geophysical Instrument Problems”, Geophysics, Vol. VI, No. 2. Abril 1941.
- 2 GOLDMAN, S.—“Frecuency Analysis, Modulation and Noise”, Mc Graw Hill Book.
- 3 GARCIA ROJAS, A.—Teoría de los Sismo-detectores de Bobina Móvil, Boletín de la A. M. G. E., Vol. II, No. 3 (Julio de 1961).
- 4 HOWELL, B. F., ANDREWS, A. B. y HUBER, R. E.—“Photomechanical Method of Frecuency Analysis of Seismic Pulses”, Geophysics, Vol. XXIV, No. 4, Octubre 1959.
- 5 LIPKA, J.—“Graphical and Mechanical Computations”. John Wiley and Sons., 1917.
- 6 RICKER, N.—“The Form and Laws of Propagation of Seismic Wavelets”, Geophysics, Vol. XVIII, No. 1, (Enero 1953).
- 7 RICKER, N.—“The Computation of Output Disturbances of Amplifiers for Tune Wavelets Imputs”, Geophysics, Vol. X, No. 2 (Abril 1945).
- 8 WARREN, R. C. y MOODY, R. C.—“A Short Discussion on the Analysis of Seismograms by Correlation and Spectral Functions”, Techno Instrument Company.

COMPARACION ENTRE TRABAJOS SISMOLOGICOS ANTIGUOS Y
RECIENTES EN EL DISTRITO NORESTE. AFINAMIENTO DE LAS
INTERPRETACIONES POR EL USO DE TECNICAS MAS PERFECCIO-
NADAS Y LA COORDINACION DE DATOS SISMOLOGICOS
Y GEOLOGICOS *

Por los Ings. JOSE COFFIN OTERO Y
MIGUEL SALMON H. **

I N T R O D U C C I O N

El Distrito Noreste de la Gerencia de Exploración comprende los Estados de Tamaulipas (al norte del Río Soto la Marina), Nuevo León, Coahuila y Chihuahua. En todas estas entidades se han llevado a cabo con más o menos intensidad, exploraciones tanto geológicas como geofísicas desde 1942.

Con anterioridad a 1938 se efectuaron por parte de las Compañías Petroleras algunos trabajos de exploración, tanto geológica como geofísica y se perforaron unos cuantos pozos de prueba los cuales dieron origen al descubrimiento de tres pequeños campos de gas natural cuya producción no era suficiente para abastecer el consumo de la Ciudad de Monterrey que tenía que importar la mayor parte de ese combustible de los campos del Estado de Texas.

En los veinte años de actividad exploratoria por parte de Petróleos Mexicanos, los resultados obtenidos han permitido no solamente abastecer el

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

** Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.

mercado de esta parte del país sino que permiten la exportación de alrededor de 4.000,000 de m³ diarios a los Estados Unidos de Norteamérica.

No obstante esto, la creciente demanda de hidrocarburos en el norte del país, debida a la industrialización de esta zona, ejerce una fuerte presión sobre Petróleos Mexicanos para que se aumenten las reservas y pueda abastecerse debidamente el creciente consumo. Por esta razón se están haciendo esfuerzos cada vez mayores para descubrir nuevos yacimientos ya sea en áreas nuevas o en aquellas que ya han sido probadas y en las que se cree fundamentalmente que aún existen grandes volúmenes de hidrocarburos que no han sido descubiertos debido a las dificultades particulares con que se tropieza en esta zona.

Para la correcta solución de los problemas que se presentan en el área, es necesario efectuar trabajos cada vez más precisos para lo cual es necesario lo siguiente:

a).—Utilizar técnicas e instrumentos que permitan la obtención de datos de mejor calidad así como la medición de anomalías de pequeña magnitud.

b) Aprovechar la experiencia obtenida con los trabajos sismológicos de la etapa inicial de la exploración y,

c).—Incorporar a las interpretaciones en una forma básica tanto los datos de subsuelo obtenidos de los pozos perforados, como los conceptos geológicos que la práctica nos ha indicado son aplicables en cada caso.

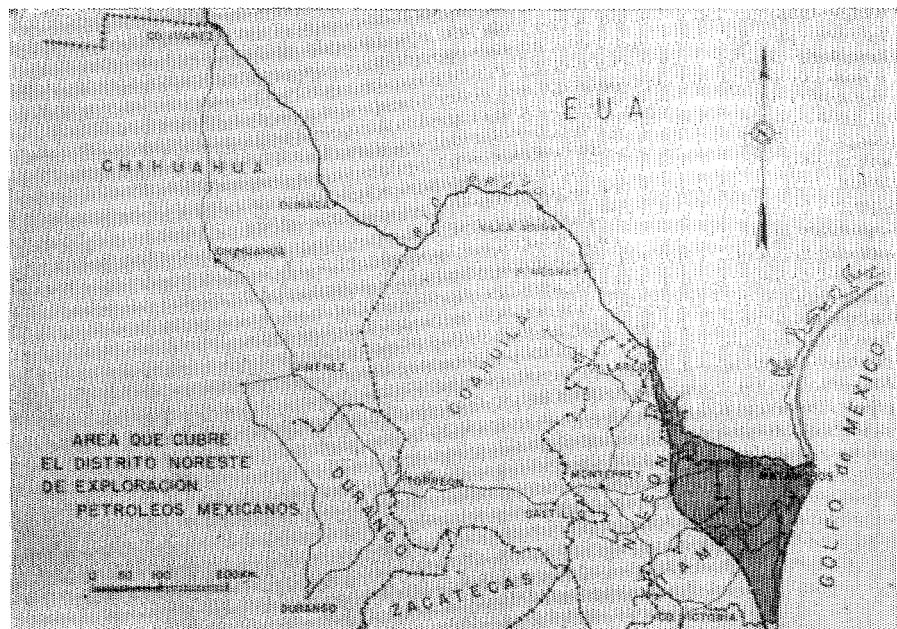
Es evidente que en algunas partes del distrito, la etapa del descubrimiento de las estructuras "fáciles" ha terminado ya y que para localizar nuevos campos será necesario buscar trampas más complejas para lo cual la sola información estructural proporcionada por el sismógrafo no es suficiente, sino que deberá ser combinada con toda clase de datos de que pueda disponerse, como geología de subsuelo, registros de pozos, correlaciones paleontológicas, conocimientos de la litología, etc.

EL PROBLEMA DE LA EXPLORACION SISMOLOGICA EN EL NORESTE DE MEXICO

De acuerdo con los conocimientos que se tienen hasta la fecha, la búsqueda de hidrocarburos en el Noreste de México debe limitarse a los sedimen-

tos Terciarios y Mesozoicos, ya que la producción actual y las reservas conocidas provienen de los primeros, mientras que de los segundos se han obtenido manifestaciones tan importantes que es seguro que en el futuro se obtendrá de ellos producción en gran escala.

Así pues, desde el punto de vista de la edad de los sedimentos dividimos el Distrito en dos zonas: el Terciario que comprende desde la costa hasta una línea que une Nuevo Laredo con la desembocadura del Río Soto la Marina y la zona del Cretácico-Jurásico al W de esta línea (PLACA No. 1).



PLACA No. 1.—ZONAS TERCIARIA Y CRETACICO — JURASICA EN EL NORESTE DE MEXICO

Las características generales de estas dos zonas, desde el punto de vista de la sismología pueden resumirse como sigue:

a).—*Terciario.*—Una buena porción de esta zona se encuentra cubierta por depósitos recientes que ocultan totalmente la estructura del subsuelo o bien

existen discordancias entre los sedimentos superficiales y los profundos, por lo que es indispensable recurrir a la sismología.

La mayoría de las formaciones aflorantes son suaves, lo que permite en lo general la obtención de buenos datos. Sin embargo en algunas localidades, la presencia de caliche o gravas y conglomerados en la superficie da lugar a la aparición de ruidos que reducen considerablemente la calidad de los sismogramas. Este fenómeno se hace más marcado a medida que se avanza al W.

Los reflejos obtenidos son numerosos y en general discontinuos, aunque existen algunos que se pueden seguir por distancias considerables. Por esta razón los reflejos carecen de carácter y no es fácil establecer correlaciones a través de distancias grandes.

Los echados por regla general son suaves y muy uniformes y las anomalías que se presentan están asociadas más bien a la existencia de fallas que a movimientos tectónicos. La falla normal es el fenómeno estructural más común en esta región y la acumulación de hidrocarburos parece estar determinada directa o indirectamente por esta causa al menos en la gran mayoría de los casos.

b).—*Cretácico-Jurásico.*—En general esta zona presenta mayores dificultades para la sismología y la obtención de sismogramas de buena calidad requiere el uso de mayores precauciones.

Los horizontes reflejantes son menos numerosos y más continuos que en la zona del Terciario, el relieve estructural es mayor y las anomalías encontradas se cree que se deban a verdaderos plegamientos.

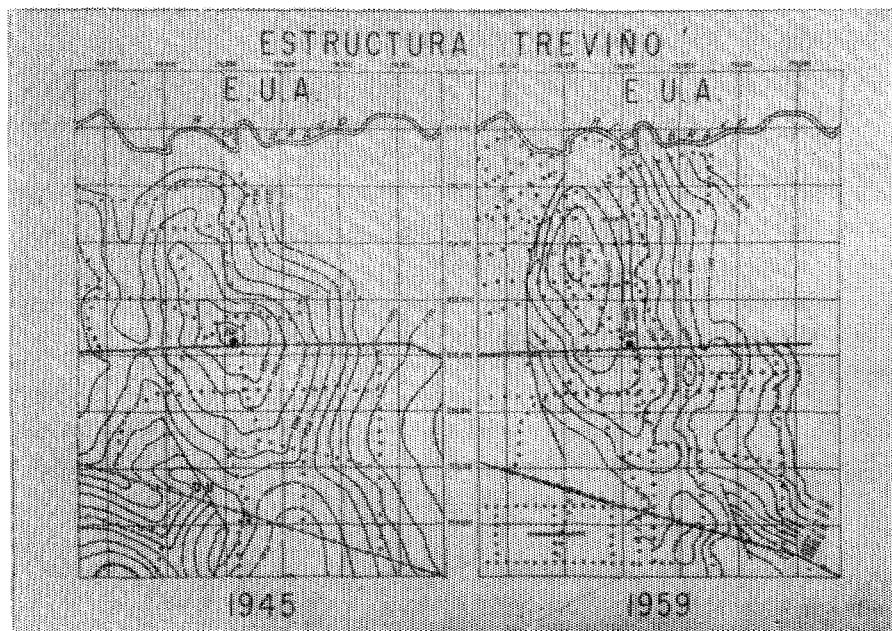
DESARROLLO DE LOS TRABAJOS SISMOLOGICOS EN EL TERCIARIO

Debido a su situación geográfica, la zona del Terciario es la que ha sido trabajada con mayor intensidad presentándose el caso de áreas que han sido reestudiadas aplicando mejores técnicas de campo e instrumentos y auxiliándose para las nuevas interpretaciones con la experiencia adquirida de los trabajos iniciales y los datos proporcionados por los pozos perforados.

Cuando en 1944 se inició el levantamiento sismológico en las inmediaciones de la Ciudad de Reynosa, se contaba únicamente con una escasa información de geología superficial de carácter muy general y con las columnas de unos cuantos pozos, tan distantes entre sí, que no permitían hacer una correlación adecuada. Los datos de velocidad se obtuvieron del pozo Shell Yturriaga número 1 situado a 50 Km. al N. del Río Bravo en el Estado de Texas.

Los primeros trabajos se efectuaron observando líneas a lo largo de caminos y veredas existentes, los que, como es natural, no siempre se encontraban en la situación más conveniente desde el punto de vista estructural, lo que ocasionaba que los echados críticos no estaban determinados con suficiente precisión.

Como ejemplo de los resultados obtenidos bajo estas condiciones tenemos la estructura Treviño (PLACA No. 2). El mapa que aparece a la izquierda se hizo en 1945. Como puede verse, las líneas fueron observadas sobre caminos existentes, las que, principalmente en la porción N no quedaron en la



PLACA No. 2....COMPARACION DE INTERPRETACIONES DE RECONOCIMIENTO
ESCASO Y CON DETALLE ADICIONAL

situación óptima de la estructura. Algunas de ellas quedaron abiertas, dada la imposibilidad de cerrar polígonos debido a la existencia de lagunas. Además la densidad de control no se considera adecuada, dada la magnitud de la estructura.

Los resultados obtenidos con el pozo Treviño No. 101 hicieron ver la necesidad de investigar nuevamente y con mayor detalle el área, con el fin de definir con mayor precisión la culminación de la estructura. En esta ocasión (1952) las líneas sismológicas fueron observadas en la posición más favorable de acuerdo con la información obtenida tanto del trabajo anterior como de los pozos perforados. En 1956 y 1959 se hizo algo más de trabajo adicional al E y S buscando posibles extensiones de la zona productora. El resultado combinado de todos los trabajos se muestra en la parte derecha.

Este ejemplo ilustra las ventajas obtenidas principalmente con la localización más adecuada de las líneas de control, puesto que tanto las técnicas de campo como las características de los instrumentos empleados no fueron muy diferentes.

CONTROL DE VELOCIDADES

Un factor indispensable y esencial para situar los horizontes sismológicos en sus profundidades reales, relacionarlos a los de áreas adyacentes y que permite conocer las potencias de las fallas, es el conocimiento de las velocidades sismicas propias de cada localidad.

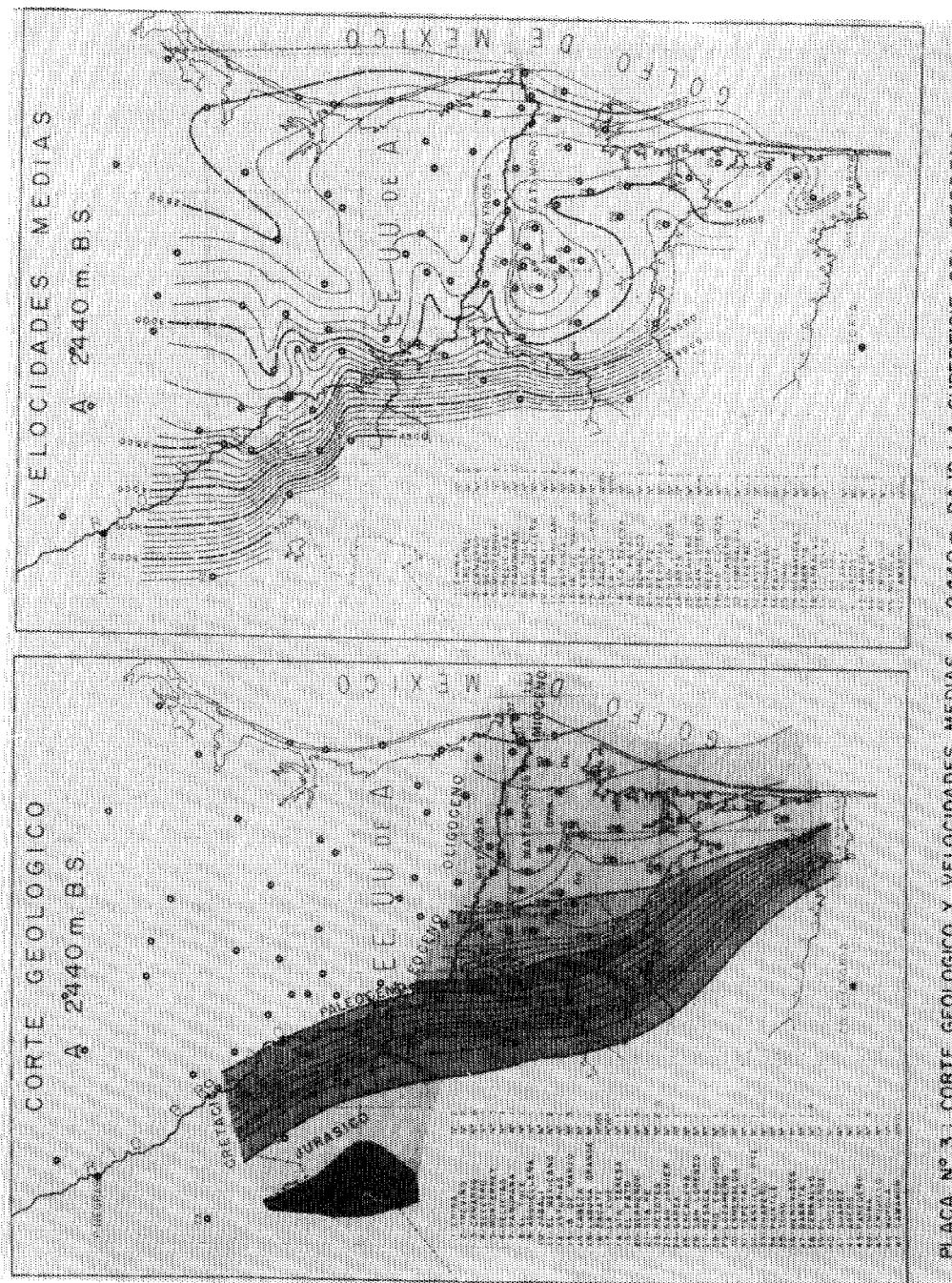
Durante la iniciación de estudios sismológicos del Distrito Noreste no se disponía de ese elemento, empleándose en ellos provisionalmente la ley de velocidades del pozo Shell Yturria No. 1 situado a gran distancia y en una localidad geológica distinta. A medida que avanzó la perforación de pozos profundos se eligieron algunos de ellos estratégicamente espaciados, en los que se obtuvieron registros de velocidades hasta completar el panorama actual de 47 pozos estudiados, cuya mayoría rebasa los 2,500 m. de perforación.

Los datos aportados por estos pozos y algunos perfiles de velocidades auxiliares, nos permiten ahora estudiar áreas antiguas y relacionarlas a los nuevos trabajos, en ocasiones a distancias considerables; permitiendo además estimar con anticipación leyes de velocidades promediadas, para los prospectos subsecuentes.

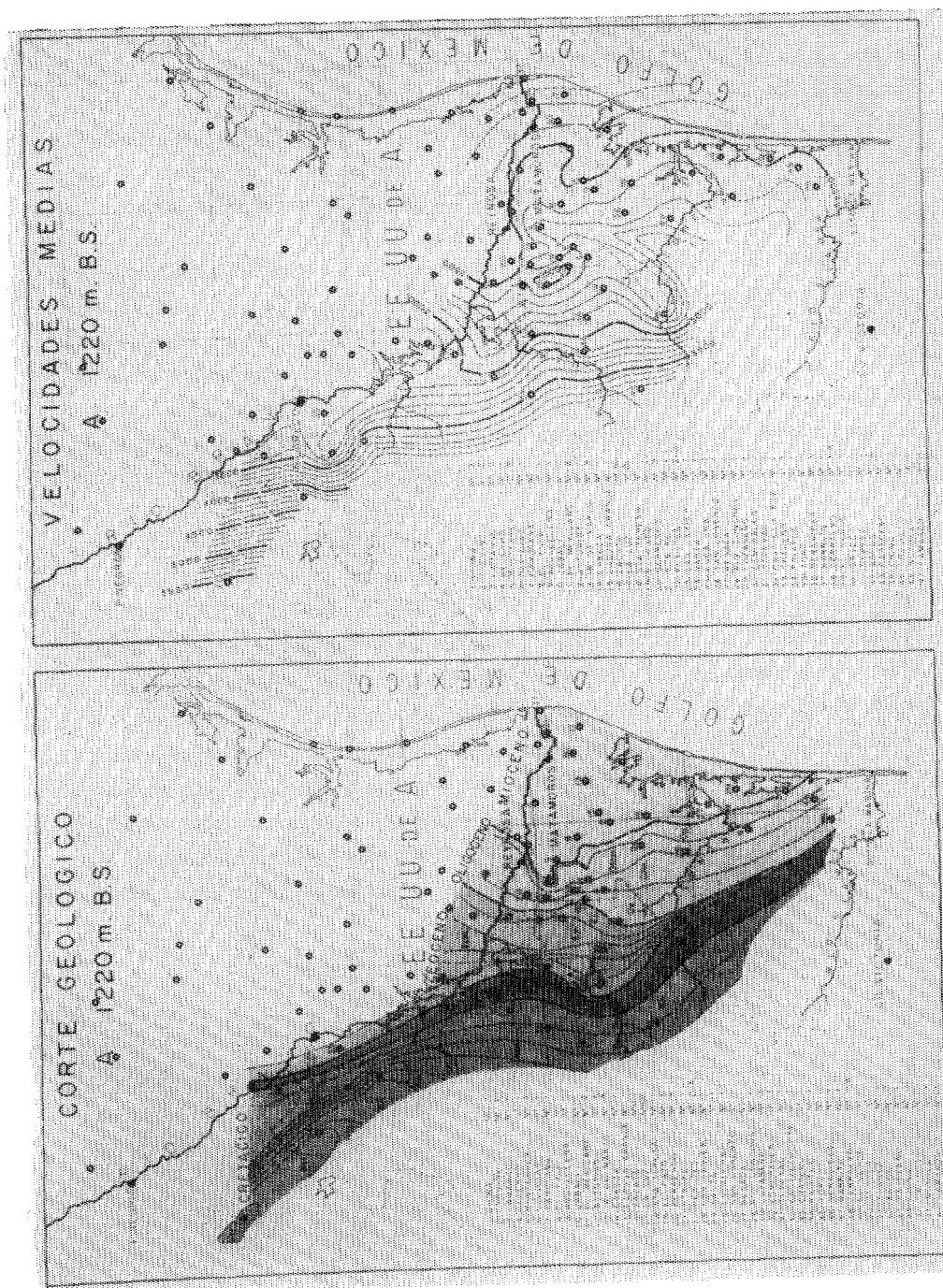
Para poder relacionar formaciones geológicas de pozos a una profundidad constante contada a partir del nivel del terreno, con la variación de velocidad regional que existe en ese trayecto, se eligieron primero las "velocidades medias" a la profundidad de 2,440 m. contados desde el nivel del terreno, para construir el mapa de velocidades presentado en la mitad derecha de la PLACA No. 3. En la porción central destaca la depresión de velocidades que incluye a la mayor parte de campos productores actuales más prolíficos, desde Camargo hasta Treviño en el extremo N y desde Culebra hasta Comitas en la parte central. Comparando esa región con el corte geológico de la mitad izquierda de la placa, se aprecia un engrosamiento gradual del Eoceno hacia el Norte y que tiende a desaparecer, acuñándose rumbo al S. La región occidental del corte geológico con formaciones Cretásicas y Jurásicas, concuerda con la región de fuertes gradientes de velocidades medias y que lógicamente asciende rumbo al poniente.

Mediante el auxilio de algunos datos de velocidades de pozos en el SE de Texas, se observa una dispersión de las curvas de velocidades en la región que contiene al Distrito IV, que es uno de los más prolíficos productores de gas en ese estado; esa dispersión desaparece al S del Río Bravo en las cercanías del campo productor 18 de Marzo No. 3 (13).

En la PLACA No. 4 se presenta una comparación similar a la anterior, pero eligiendo una profundidad de 1,220 m. bajo la superficie del terreno. Aunque a esta profundidad se reduce el cierre propio de la depresión central de velocidades medias, en la mitad derecha de la placa, dicha depresión sufre un alargamiento al SW hacia el pozo Noyola No. 1 (46) y otro al NW rumbo al pozo Camarón No. 1 (47) lo cual la desplaza hacia el poniente para reducir la banda occidental de fuertes gradientes. En el corte geológico de la mitad izquierda, las formaciones geológicas se desplazan ligeramente al poniente y el Oligoceno sufre un notable adelgazamiento que se hace crítico junto a los pozos Berrendo No. 1 (20), Jabalí No. 1 (10) y Castillo Poniente No. 1 (32), en la región donde debe cruzar la "Flexura del Vicksburg", según un trabajo anterior del autor. Con excepción de la ampliación central del Eoceno, que involucra al pozo China No. 3 (44), el resto de los caracteres es casi el mismo pero con ligera reducción al W.



PLACA N° 3: CORTE GEOLOGICO Y VELOCIDADES MEDIAS A 2440 M. BAJO LA SUPERFICIE DEL TERRENO



PLACA N° 4 CORTE GEOLOGICO Y VELOCIDADES MEDIAS A 1220m. BAJO LA SUPERFICIE DEL TERRENO

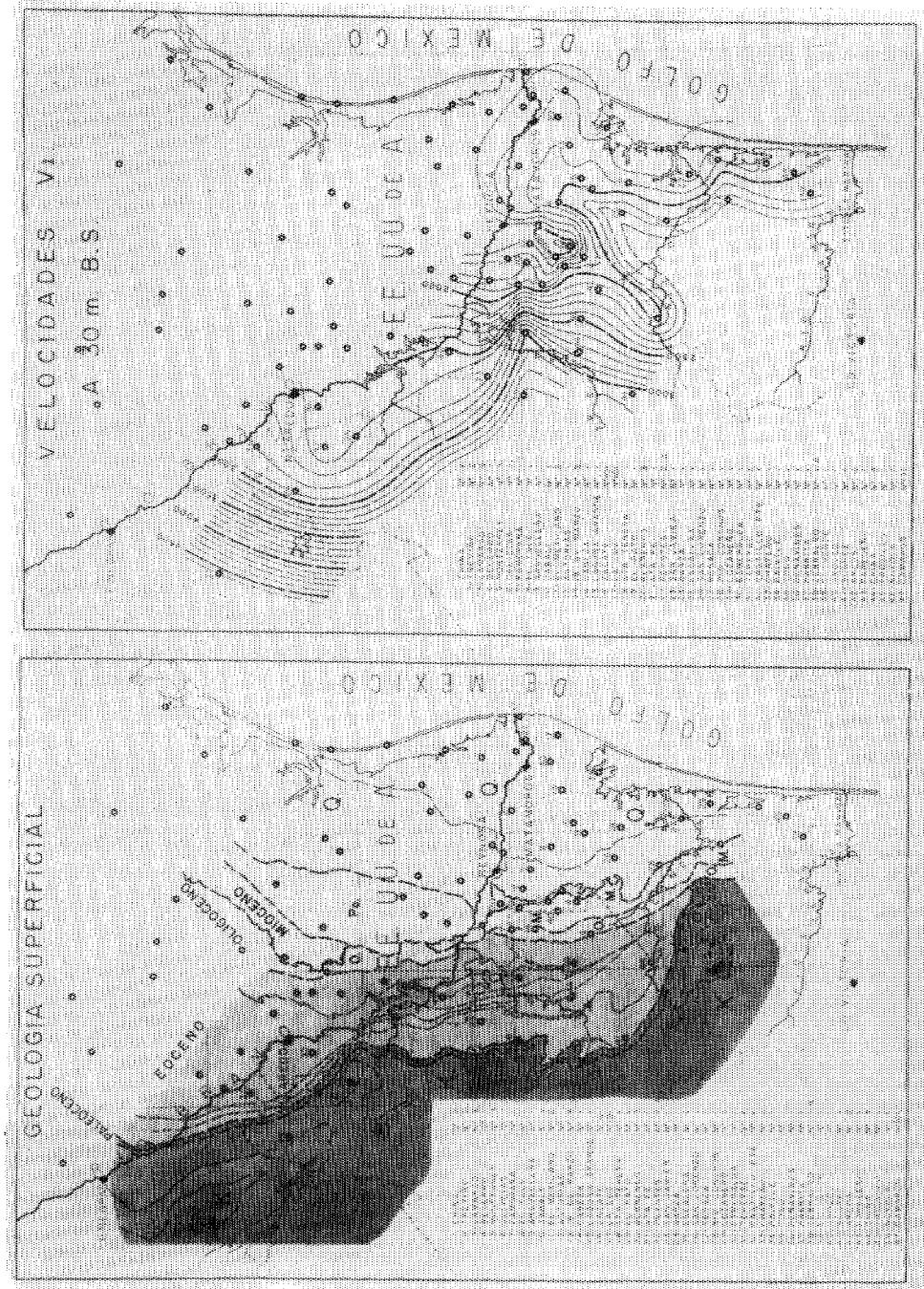
Para eliminar las bajas velocidades superficiales de las capas meteori-zadas, se ha elegido en la PLACA No. 5 una profundidad de 30 m. bajo la superficie del terreno, para representar ya no velocidades medias, sino velocidades de intervalo que a esa profundidad representan a las de las primeras capas consolidadas, y en consecuencia a las velocidades de arranque V_1 que sirven de base para calcular las leyes de velocidades en cada localidad.

Salvo el desplazamiento al E en el cierre de la depresión central y el angostamiento que sufre su elongación al SW, en general la configuración de velocidades presenta caracteres semejantes a los de la placa anterior. Como es natural, las formaciones se desplazan al W y el Oligoceno sufre un nuevo adelgazamiento que también se presenta en el Mioceno con desaparición de ambos junto al Río Bravo; esto da lugar a los afloramientos al N. del Plio-Pleistoceno y de materiales Cuaternarios en toda la región oriental.

A parte de la utilidad que presentan las configuraciones de velocidades regionales para deducir leyes de velocidades locales y la facilidad de estimar cuales pozos se deben tomar en cuenta, para calcular leyes medias, en las tres placas anteriores se han presentado las comparaciones geológicas, por considerarse relacionables a los contrastes de velocidades. Por otra parte es importante anotar, que la región conocida como más prolífica en desarrollos are-nosos productores del Noreste de México, queda situada dentro de la depresión de velocidades y puede estar asociada con accidentes estratigráficos apro-priados; en tal caso, la producción podría extenderse a regiones no perforadas y aún más hacia los bordes de dicha depresión, en cuyo caso se encuentran los nuevos descubrimientos de los campos Arcos (42), Culebra (19) y Santa Anita.

AREA CHINA, N. L.

A propósito del avance en los descubrimientos de importancia más re-cientes en el Noreste de México y sobre regiones más alejadas de los primeros campos productores cercanos a Reynosa, Tamps., resulta interesante una com-paración entre los resultados sismológicos del reconocimiento inicial del área Crescencio terminado en 1954 y el trabajo del área China, N. L., iniciado en 1962, cuyo avance al S sobre regiones no exploradas se encuentra en proceso de desarrollo.



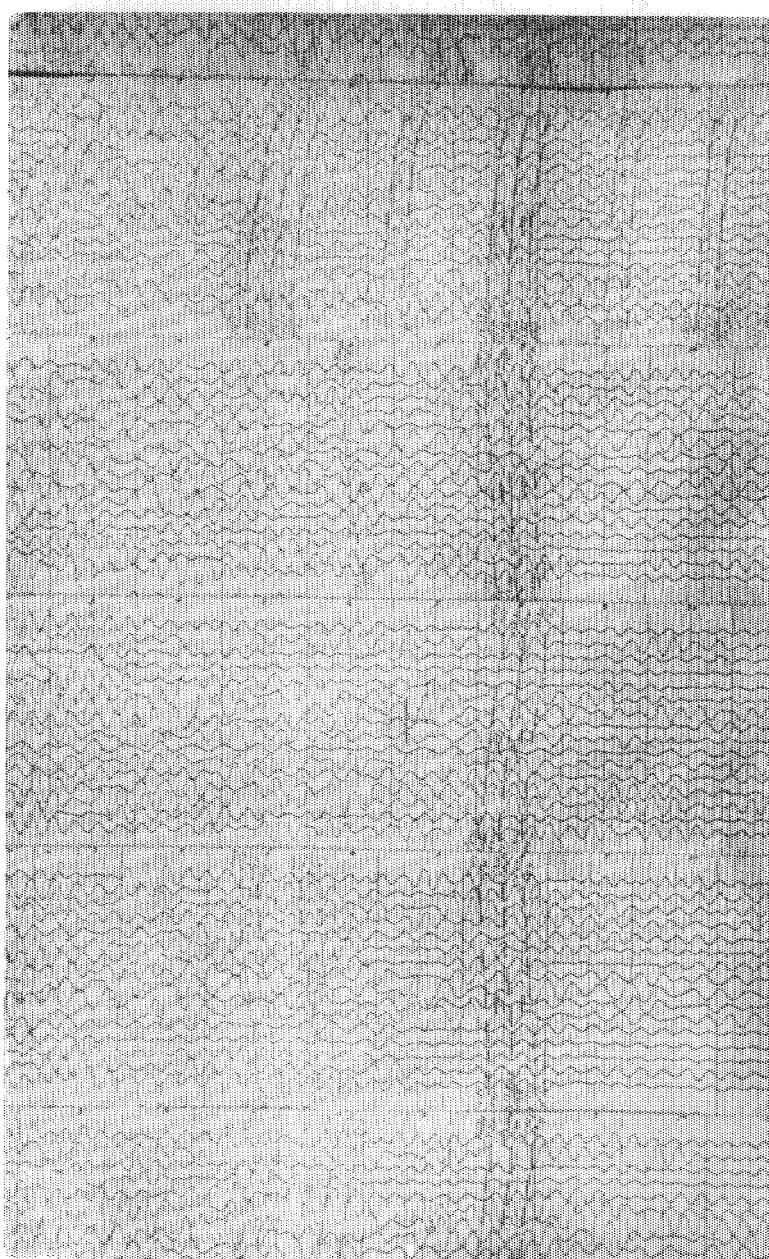
PLACA N° 5: GEOLOGIA SUPERFICIAL Y VELOCIDADES DE ORIGEN A 30m. BAJO LA SUPERFICIE DEL TERRENO

El estudio inicial situado al E del Río San Juan y al N de la carretera Monterrey-Reynosa que se denominó "Crescencio", fue anteriormente considerado dentro de las áreas difíciles principalmente en la que respecta a la profundidad de la información obtenida, ya que en general se perdía abajo de 1.2 seg. de tiempo de reflejo y en ocasiones más arriba como puede apreciarse en los sismogramas de la PLACA No. 6, observados en 1953 con 2 detectores por traza y cubierta de 5 metros, empleando cargas de dinamita del orden de 25 Kg. en pozos con profundidad media de 27 m.; al emplearse el sistema lateral de tendido, no se pensó en retacar los pozos de tiro por que había que dejar el pozo abierto en el primer perfil, para con el mismo pozo observar el inmediato en la dirección del avance; aparte de que todavía en esa época no se popularizaban los perfiles de ruido.

Con los adelantos más recientes en equipos, instrumentos, técnicas de trabajo y experiencia en el personal, áreas como ésta han dejado de considerarse difíciles. La PLACA No. 7 tomada con sismogramas recientes observados en 1963 sobre el mismo sitio que el del ejemplo anterior, pero con 12 detectores por traza y cubierta de 36 m., empleando pozos retacados con profundidad media de 36 m. y cargas de dinamita del orden de 50 Kg., explica nuestra aseveración no solamente en lo relativo a la profundidad de la información, sino que también a la intensidad de la energía, la calidad y la cantidad de los eventos, que aumentan hacia arriba y hacia abajo en los sismogramas, permitiéndonos configurar un gran número de horizontes con menor pérdida en su continuidad y estando ahora presentes los rasgos profundos.

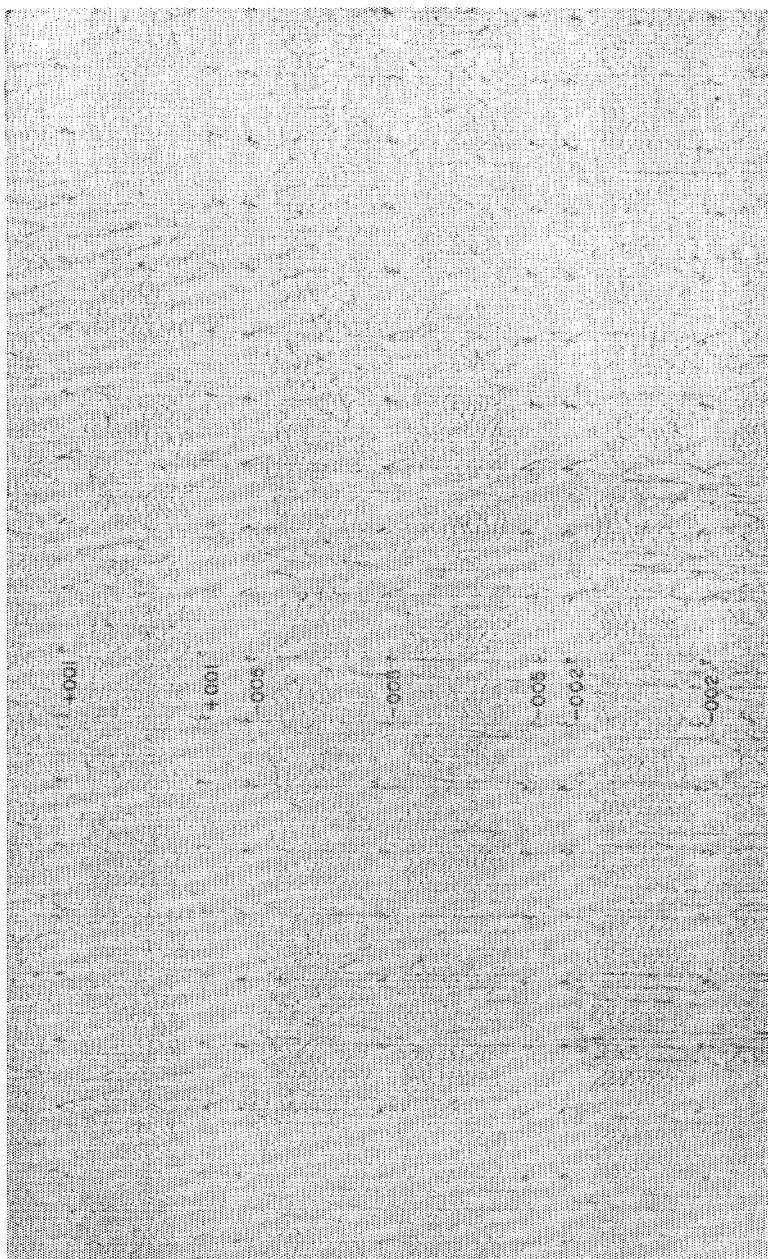
A pesar del corto alcance de los horizontes del reconocimiento inicial en esta área, el más profundo configurado en 1954 (PLACA No. 8) dio lugar en 1955 al descubrimiento del pozo Pato No. 1 que aunque de baja producción de gas (17,000 m³/d), abrió el camino para perforar en 1956 el pozo Culebra No. 1 que a un nivel ligeramente inferior produjo gas (107,801 m³/d) y destilado (22.2 m³/d) y dos pozos de extensión más durante 1957 con la denominación ya del campo Culebra (No. 2 productor y No. 6 seco).

Fue hasta la proposición del pozo Ceniza No. 1 (hoy Culebra No. 11), único pozo perforado en 1960, cuando se inició de nuevo el interés en este campo, cuyo desarrollo horizontal se continuó con 10 pozos en 1961, 8 pozos en 1962 y sigue durante el presente año de 1963; contándose a la fecha un total de 28 pozos terminados, de los cuales 6 son secos y 22 con producción de gas principalmente, cuya suma se acerca a 1.5 millones de metros cúbicos por día; quedan además 7 pozos en terminación pendiente y 4 más en perforación actual (Noviembre 1963).



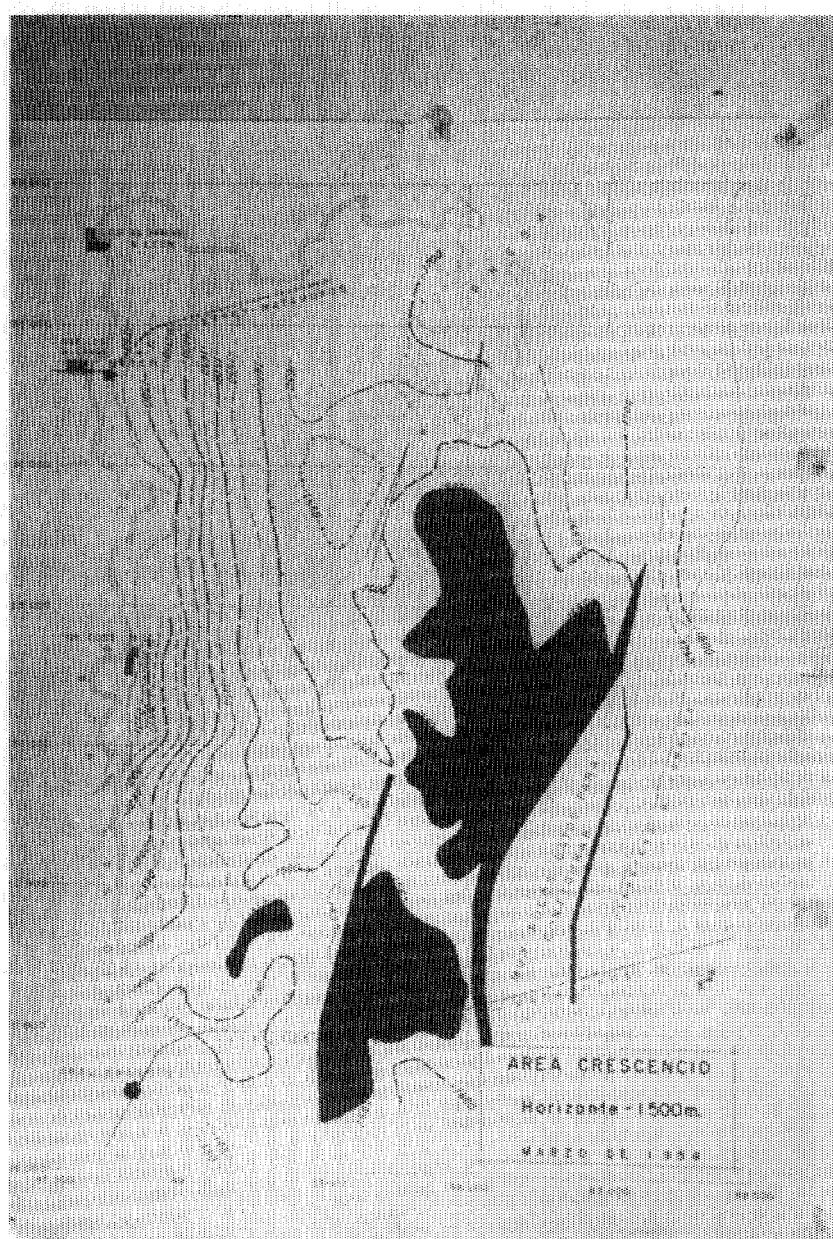
**AREA CHINA, N.L. 1953
2 SISMOS POR TRAZA (16 TRAZAS)**

PLACA No. 6.—SISMOS TIPICOS DEL AREA CHINA, N. L., DEL
RECONOCIMIENTO DE 1953



**AREA CHINA N.L. 1963
10 SISMOS POR TRAZA (24 TRAZAS)**

PLACA No. 7.—SISMogramas tipicos del AREA CHINA, N. L.,
DEL ESTUDIO DE 1963



PLACA No. 8.—HORIZONTE MAS PROFUNDO QUE SE LOGRO CONFIGURAR EN 1954 EN EL PROSPECTO CRESCENCIO DEL AREA CHINA, N. L.

Un trabajo reciente de detalle con registro convencional en los extremos N y E del campo, otro realizado con registro de cinta magnética hacia el S del pozo descubridor y con el auxilio de los horizontes productores, nos permiten presentar el panorama comparativo de la PLACA No. 9.

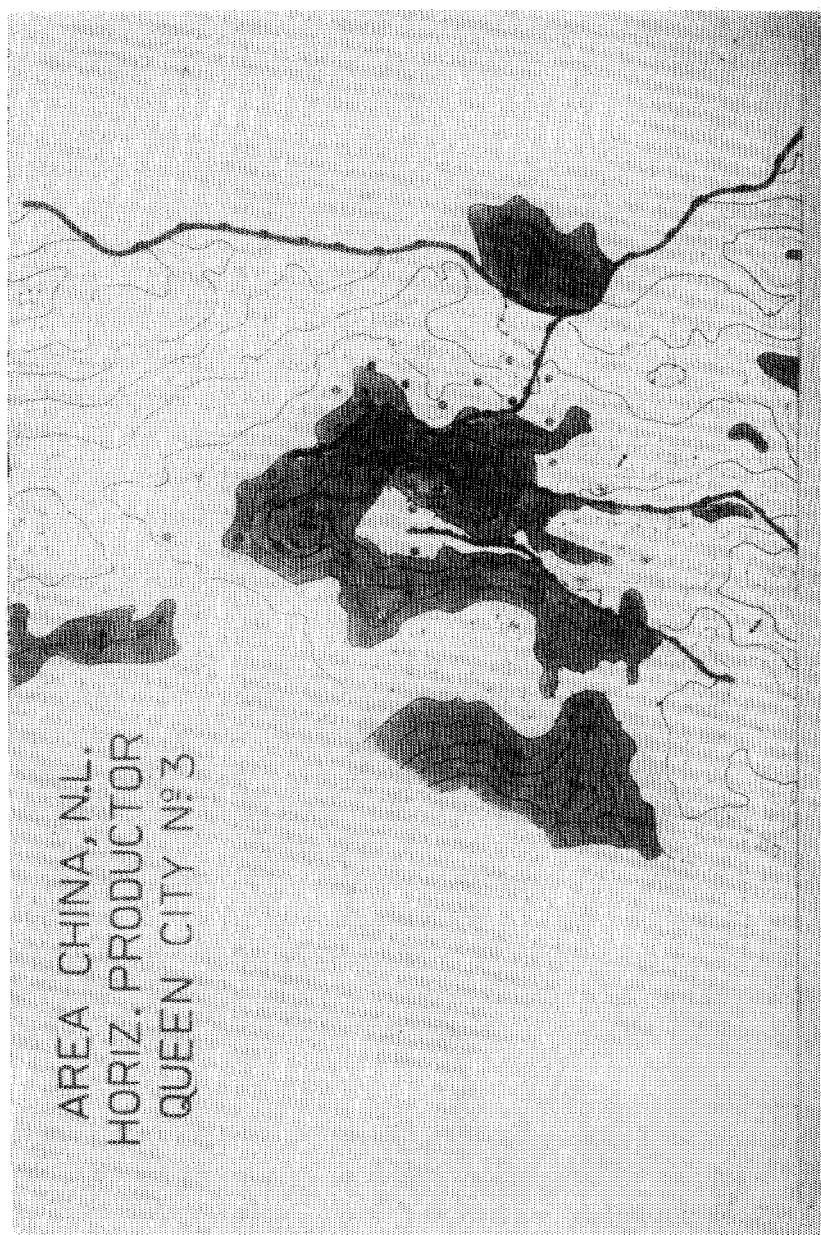
Aunque una gran parte de los pozos son doblemente productores, en la parte central de la estructura marcada en amarillo, existen dos horizontes someros del orden de —1100 y —1200 m., pero el de producción actual más alta se encuentra en un tercer nivel oscilante entre —1480 m. y —1750 m., que es el que ha servido de base para presentar esta configuración y definirnos las potencias de las fallas, que están presentes en las secciones sismológicas.

En vista de que gran parte de los pozos secos e inclusive algunos productores no alcanzaron en profundidad a este horizonte, su liga se efectuó mediante los pozos productores Culebra Nos. 3, 5, 8, 9, 24, 26 y 28. En los extremos E y N del campo se ha presentado producción de borde más profunda, que en el caso del pozo No. 29 situado al N rebasa a los —2000 y en el pozo No. 33 al situado al E ocurre a —1900 m., pudiendo quedar así en formaciones ya no del subgrupo Mount Selman, sino pertenecientes al Wilcox.

Aunque se eligió un horizonte de comparación a profundidad semejante al de la placa anterior, su profundización en los bordes y los datos mucho más profundos logrados permiten asociar condiciones estratigráficas de flanco y fallas cercanas, con la existencia de estructuras más profundas no probadas con la barrena, pero que en la localidad del pozo productor Benavides No. 1 situado a 40 Km. al SE de este campo resulta evidente; es pertinente aclarar que este mismo horizonte puede fácilmente ligarse (y ya se ha efectuado) con el productor en la cima de la prominente estructura denominada Benavides, pero que no se incluye en la placa, porque resultaría muy reducida.

AREA TUNA — SANTA ANITA

Desde el punto de vista interpretativo, el auxilio de nuevos trabajos de detalle y la información que proporcionan los pozos con que inicialmente no se contaba, dan una enorme ventaja a las personas encargadas de reestudiar prospectos o áreas grandes, para poder proponer localizaciones de pozos en lugares a veces lejanos de los lugares ya conocidos como productores.



PLACA No. 9.—HORIZONTE PRODUCTOR SOMERO EN EL CAMPO CULEBRA DEL
AREA CHINA, N. L., CON EL ESTUDIO SISMOLOGICO DE 1963.

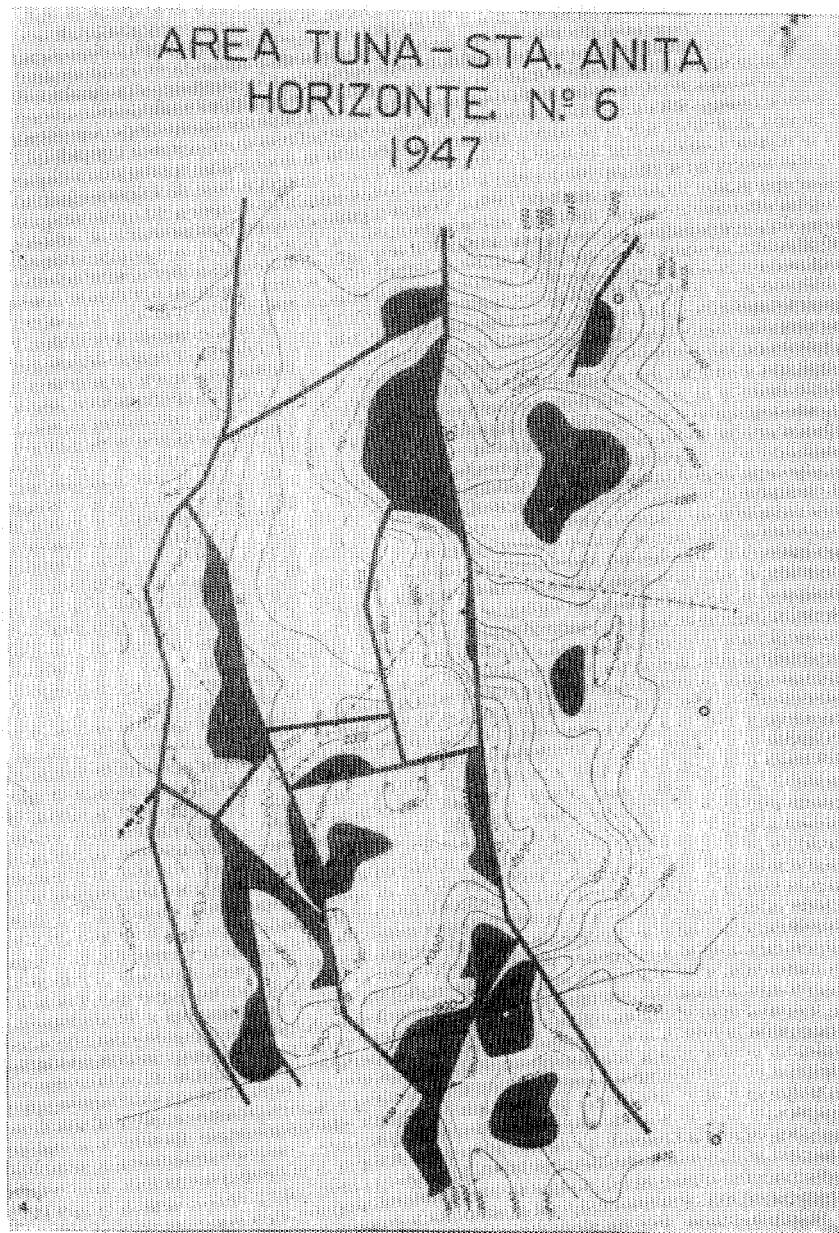
En la PLACA No. 10 se presenta una configuración del Horizonte No. 6, realizado mediante el reconocimiento inicial del área que ahora llamamos Tuna-Santa Anita. Observamos que la aparición de echados con predominio al W, dio lugar a una interpretación bastante complicada de las fallas supuestas, al tratar de elegir horizontes de nivel parecido.

Sobre esta área y posteriormente a 1947, se han efectuado reinterpretaciones muy locales, mediante las cuales se perforaron los pozos Santa Anita No. 1 A, Santa Gertrudis No. 1, Santa Gertrudis Sur No. 1, Pamorana No. 1 y Tuna No. 1 vistos en la placa. Aunque el pozo Santa Anita No. 1 A resultó seco en la zona más prominente, apreciable en la porción central N de la placa, un estudio de sus condiciones favorables dio lugar a perforar un segundo pozo lateral que en la PLACA No. 11 le corresponde el No. 110 marcado en rojo como productor de gas; este pozo produce estimativamente 84,056 m³/d, lo cual dio lugar a la perforación de los otros 10 pozos de extensión circundantes, de los cuales, 6 resultaron secos y los otros 4 productores.

Ya que la perforación de ninguno de estos pozos alcanzó la profundidad de —2500 m. y en otras localidades como en Culebra existen no solamente un horizonte, sino diferentes niveles de producción, resulta lógico estimar que la producción del campo Santa Anita no se ha desarrollado lo suficiente en el sentido horizontal y absolutamente nada en el sentido vertical, a pesar que la producción se estima proveniente de profundidades y formaciones semejantes a las del campo Culebra, situado a 30 Km. al SW del Santa Anita.

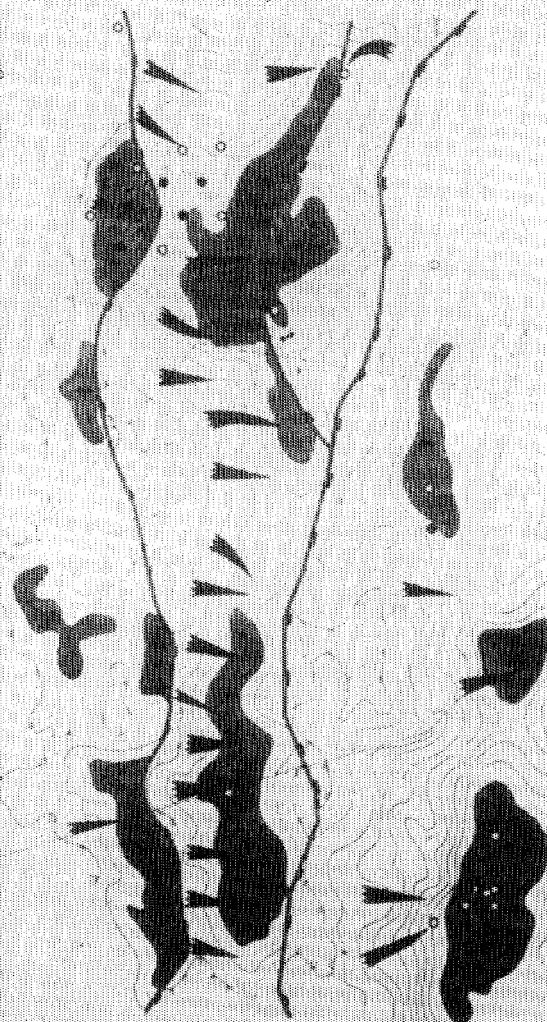
Al utilizar, tanto la información sismológica del reconocimiento inicial, considerada aceptable en esta área, junto con la de un trabajo de detalle reciente tendiente a mejorar y aclarar la existencia de echados profundos que buzan fuertemente al W y discordantemente con la información somera, se han configurado los llamados "Horizontes Discordantes" que aparecen en esta placa.

Para acentuar los rasgos de esta configuración, se eligen profundidades ligeramente abajo de la "zona crítica", donde en las secciones tienden a juntarse los reflectores superiores buzantes al E con los profundos buzando opuestamente al W y en la que aparece un sector sin información, con carácter de acuñamiento.



PLACA No. 10.—CONFIGURACION SISMOLOGICA EN EL AREA TUNA-SANTA ANITA DEL RECONOCIMIENTO INICIAL DE 1947

AREA TUNA - STA. ANITA
HORIZONTES DISCORDANTES
1962



PLACA No. 11.—CONFIGURACION SISMOLOGICA DE HORIZONTES DISCORDANTES PROFUNDOS EMPLEANDO EL RECONOCIMIENTO VIEJO Y EL DETALLE DE 1962

Aunque este trabajo se extendió ligeramente al E para involucrar a los pozos Pamorana en la parte central y a los pozos Zacate en el extremo S. la definición de las fallas normales puede apreciarse menos complicada que las interpretadas en la placa anterior, así como la interpretación de los bloques con un sentido más regional y lógico.

El conjunto se asemeja al existente en “flexuras” de rumbo, donde los bloques se encuentran reclinados opuestamente al echado regional que presenta la geología superficial y con aumento de espesores hacia el lado bajo de las fallas. Este aumento gradual puede propiciar la existencia de acuñamientos intraformacionales de flanco, cuyos cambios de facies naturales en el sentido del echado pueden constituir excelentes entrampamientos estratigráficos. En el caso de que las anteriores conclusiones sean correctas, las localizaciones que exploren estas profundidades, es recomendable situarlas en la región central del acuñamiento respectivo que en cada caso se muestra en color verde y abatido 90°, puesto que en el caso de existir acumulación entrampada de hidrocarburos, hay el peligro de que en su migración echado arriba se aleje de la parte amplia del acuñamiento y de que, en la punta de la cuña los desarrollos se reduzcan notablemente y hasta que cambien a facies estériles.

La explicación de que en culminaciones sismológicas definidas anterior y actualmente, tales como Pamorana, Zacate, Santa Gertrudis y Tuna, los desarrollos arenosos se encuentren sucios y altamente arcillosos, puede encontrarse en el alejamiento de las zonas con indicios de acuñamientos hacia los flancos.

Esta suposición explica en parte por qué en la reciente perforación del pozo Pamorana No. 2, situado ligeramente afuera del cierre de la estructura, se obtuvo producción de gas. Dicho resultado, refuerza la idea de que deben probarse condiciones de flanco en estructuras como la de Tuna, máxime si se muestran accidentes laterales como el presentado y que se extiende rumbo a un campo productor que en este caso es el de Santa Anita, que como anteriormente se ha expuesto, debe considerarse como incompletamente desarrollado.

Una conclusión importante, relacionada con las dos comparaciones ilustradas para las áreas China y Tuna-Santa Anita, estriba en que, mediante la revisión concienzuda de trabajos de reconocimiento anteriores, pueden elegirse porciones aisladas para desarrollar prospectos de detalle, ya sea para complementar la información o definir estructuras o accidentes aún confusos. Esto requiere naturalmente por lo menos, de la disposición de una brigada sísmica del tipo ambulante, para cada zona o distrito de exploración.

AREAS DE EL TORO Y NOYOLA

En épocas en que se principió a generalizar el empleo de mayor número de detectores múltiples por traza, al desplazar las exploraciones hacia el SW a las cercanías del Río Conchos, fue reconocida a muy grandes rasgos el área de El Toro, a cuyo extremo NW corresponde el ejemplo de sismogramas mostrado en la PLACA No. 12.

Estos registros fueron tomados en 1953 con 36 detectores en estrella cubriendo 27 m con pozos de tiro del orden de 20 m y cargas de dinamita de 10 a 15 Kg.

Aunque las cubiertas y los arreglos de detectores múltiples todavía se elegían por tanteos, puede apreciarse una gran mejoría en los resultados, si se comparan con las placas que contienen sismogramas más viejos mostradas anteriormente.

En un lugar distante unos 25 Km. al W del correspondiente a la placa anterior, se desarrolla actualmente el estudio a profundidad sobre el anticinal de Vaquería. A este estudio corresponde el ejemplo de la PLACA No. 13, constituido por una porción procesada de una línea de echado del prospecto Noyola, observada con 10 detectores por traza espaciado 4 m en línea, con profundidad normal de los pozos de tiro de 33 m y carga media de 50 Kg. de dinamita concentrados y retacando el pozo.

La comparación de los resultados mostrados en esta placa con los de la próxima anterior, no es propia respecto a la localidad individual de cada estudio, pero sí en que a pesar de la dificultad de obtención de buena calidad de datos a medida que invadimos formaciones más antiguas cada vez que nos desalojamos de oriente a poniente, el estudio actual representado por esta placa proporciona mejor calidad de información, que el de la anterior tomada con más detectores y en localidad más fácil.

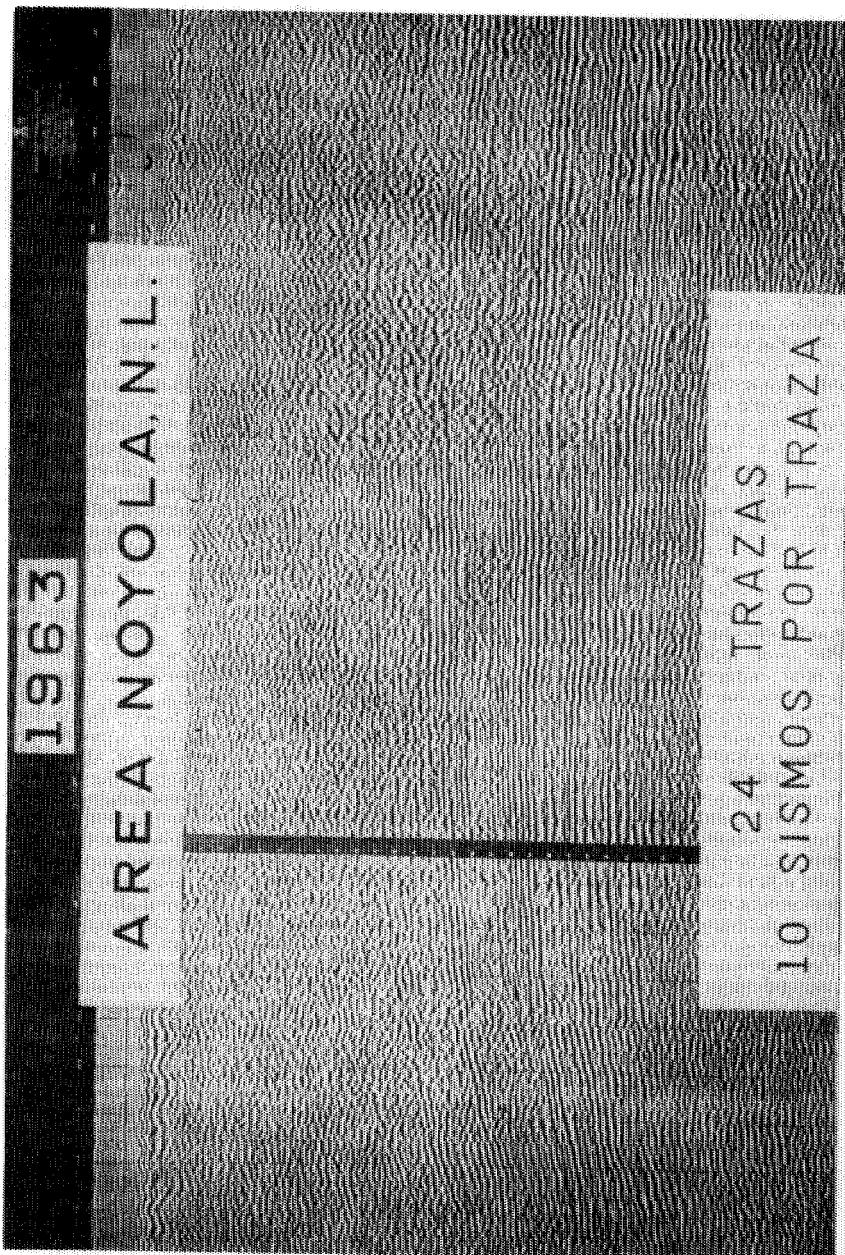
CONCLUSIONES

En los ejemplos presentados puede verse que hay una mejoría de los resultados finales obtenidos, la cual, resumiendo, se debe a los siguientes factores:

a).—*Mejores instrumentos.*—El empleo de instrumentos de mejores características entre los que destacan los nuevos tipos de detectores, los sismó-

**AREA EL TORO TAM. 1953
36 SISSMOS EN ESTRELLA POR TRAZA (7 TRAZAS).**

PLACA Nro. 12.—SISMOCGRAMAS TIPICOS DEL AREA EL TORO RECONOCIDA EN 1953.



PLACA No. 13.—SECCION DE ECHADO PROCESADA DEL ANTICLINAL VAQUERIA CON EL ESTUDIO SISMOLÓGICO DE 1963

grafos con controles más precisos y principalmente el registro magnético con la gran variedad de combinación de datos que permite y que anteriormente era imposible de obtener. También los equipos auxiliares como las perforadoras, han sido mejorados.

b).—*El desarrollo de nuevas técnicas.*—Entre éstas destacan las de los detectores y pozos múltiples con los correspondientes estudios de ruido, de velocidades, etc.

c).—*La incorporación de datos de subsuelo.*—A medida que el trabajo avanza se van obteniendo de los pozos perforados, datos geológicos y geofísicos, de los que en un principio se carecía y que ayudan a hacer interpretaciones más precisas y seguras. Igualmente con el avance del trabajo se van aclarando algunos conceptos geológicos, los que aplicados adecuadamente, sirven para encontrar soluciones más satisfactorias de los problemas.

En el estado actual de nuestros trabajos, no se ha llegado al grado de adelanto que se ha obtenido en otros países en el aspecto instrumental y existen todavía técnicas e instrumentos que no hemos empezado a aplicar, pero que deben ser estudiados y ensayados para cuando llegue el momento oportuno de aplicarlos.

ACTIVIDADES DE LA SOCIEDAD

Un acto relevante que debe influir favorablemente en el futuro de la AMGE tuvo lugar el 10 de Agosto del presente en la Ciudad y Puerto de Tampico.

En esa fecha culminaron los trabajos desarrollados por un grupo de técnicos especializados en Geofísica, cuando en una sesión-cena presidida por el presidente de la Asociación, Ing. Guillermo Hernández Moedano, se constituyó la "Sección Tampico de la AMGE", tomando posesión la primera mesa directiva elegida por mayoría de votos, que quedó constituida en la forma siguiente:

Presidente:	Ing. Alfonso Muriedas Pavón.
Secretario:	Ing. Martín A. Cordero Baca.
Tesorero:	Ing. Felipe Bazán Gómez.
Vocal de Geofísica:	Ing. José G. Viveros Zúñiga.
Vocal de Geología:	Ing. Ricardo Caraveo Rodríguez.
Coordinador:	Ing. Rolando Girard Navarrete.

Dentro del ambicioso plan de trabajo de la Sección Tampico, se encuentra: la creación de un boletín informativo, excursiones periódicas a los centros petroleros más importantes, así como sesiones técnicas.

SECCION TAMPICO DE LA AMGE

Mesa Directiva.



De Izq. a Der. Rolando Girard Navarrete, Ricardo Caraveo Rodríguez, Alfonso Muriedas Pavón, Martín A. Cordero Baca, Felipe Bazán Gómez y José G. Viveros Zúñiga.

I N D I C E G E N E R A L

VOLUMEN V 1964



Descubrimiento del Tercer Tramo del Arrecife de la “Faja de Oro”
Dentro del Golfo de México.

Por el Ing. *Santos Figueroa H.*

Pág. 3

Características Teóricas de Algunos Tipos de Ruido y Métodos
para su Reconocimiento y Eliminación

Por el Ing. *D. Gutiérrez G.*

Pág. 23

Correlación Estadística (Aplicada a la Interpretación Sismológica).

Por el Ing. *José Luis Orozco y Jiménez*

Pág. 97

Determinación de la Cubierta Óptima de Sismodetectores Múltiples.

Por el Ing. *Mariano Hernández Moedano*.

Pág. 143

Uso de Detectores Múltiples en la Exploración Sismológica.

Por el Ing. *Jesús Basurto G.*

Pág. 155

Correlación Sismológica y Geológica.

Por el Ing. *Armando Eguía H.*

Pág. 187

La Transformada de Fourier y su Aplicación en el Estudio de Equipos Sismológicos.

Por los Ings. *Antonio García Rojas y Daniel Gutiérrez G.*

Pág. 209

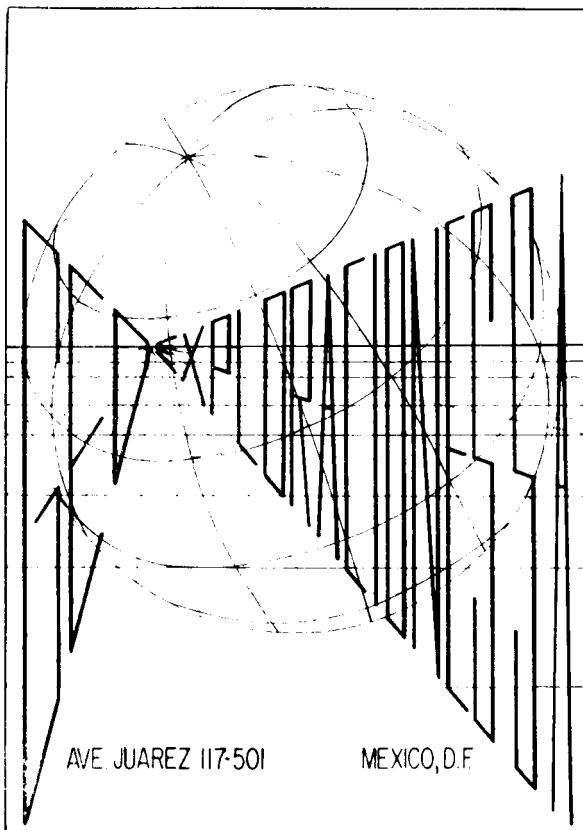
Comparación entre Trabajos Sismológicos Antiguos y Recientes en el Distrito Noreste. Afinamiento de las Interpretaciones por el Uso de Técnicas más Perfeccionadas y la Coordinación de Datos Sismológicos y Geológicos.

Por los Ings. *José Coffin Otero y Miguel Salmón H.*

Pág. 247

S E R V I C I O S

GEOFISICOS GEOLOGICOS
FOTOGEOLOGICOS



TEL. 46 - 11 - 81

GEOHIDROLOGICOS
RADIOACTIVOS TOPOGRAFICOS

...SISMOLOGIA... GRAVIMETRIA... GEOQUIMICA...
MAGNETOMETRIA... ...SUE*
...PROCESADO DE DATOS MAE**

AREAS:

Grandes o pequeñas, marinas o terrestres.

PROBLEMAS:

Técnicos u operacionales.

INFORMACION:

Superficial o profunda.

FORMA:

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

**GEOPHYSICAL SERVICE
INCORPORATED**

**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.

S O C I O S

\$ 100.00

N O S O C I O S

\$ 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.

EXPLORACIONES,

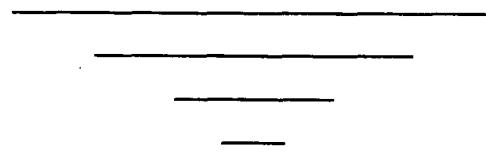
===== S. A. =====



Iturbide No. 36 Desp. 201

Tel. 10-15-64

MEXICO, D. F.



Carlos Alemán A.

EXPLORACION

y

PERFORACION

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

MEXICO 1, 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 I, 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.