

# 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.

# COMPAÑIA MEXICANA AEROFOTO, S. A.



## ESPECIALIDADES

Topografía  
Drastrico urbano y rural.  
Cálculos electrónico.  
Sist. fotogramétrico electrónico  
de oficina de Ingeniería.  
Estudios preliminares.  
Foto-interpretación.  
Fotografía aérea: panorámica,  
Inflarroja y a color.  
Fotografía comercial aérea.  
Fotomurales.  
Levantamientos fotogramétricos.  
Localización de obras.  
Mosaicos fotográficos.  
Programación electrónica  
Topografía

132 empleados especializados.

## E Q U I P O

1 Avión Queen Air A-60 Mat. XB-XAK	4 Cámaras de Reproducción
1 Avión Riley Rocket, Mat. XB-SAR	3 Unidades de Telurómetro MRA-3
1 Avión Beech Craft Mat. XB-VIG	4 Teodolitos Wild T-2
2 Aviones Piper Aztec Mat. XB-MOI y NOO	2 Niveles automáticos Wild NAK-2
1 Avión Cessna 185 Mat. XB-TIS	4 Camionetas doble tracción
Unidad Central de Proceso IBM. 1131	2 Autógrafos Wild A-7 con Registradora de
Lectora-perforadora de tarjetas IBM. 1442	coordenadas
Unidad Impresora, IBM. 1132	1 Estereoscopiador Wild A-8
1 Cámara Fotogramétrica Zeiss MRK-A	1 Autógrafo Wild A-9
1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-9	4 Aviogramas Wild B-8
1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-8	1 Balplex 750, de 7 proyectores
1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-5	2 Kelsh K-5, de 4 proyectores c/u
3 Cámaras Fairchild	2 Koish K-1, de 2 proyectores c/u
4 Cámaras para fotografía oblicua	2 Multiplex de 8 proyectores c/u.
6 Cámaras Rectificadoras	

### DIRECCION

Av. Obreto Mundial Núm. 338 esq. con Pestalozzi  
Teléfonos: 43-38-36 con tres líneas directas y 19-87-45  
Cable: AEROFOTO, MEXICO MEXICO 12, D. F.  
Servicios Aéreos Ave. Santos Dumont Núm. 212

SCHLUMBERGER

# SCHLUMBERGER SURENCO, S. A.

## AGENCIA EN MEXICO

Av. Morelos 98, Desp. 306

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

MEXICO 6, D. F.

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**

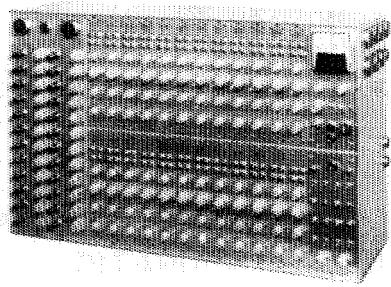
- Levantamientos :
- Sismológicos
  - Gravimétricos
  - Magnetométricos
  - Procesado de Datos Magnéticos
  - LORAC - Levantamiento Electrónico

**SERVICIO DE  
REGISTRO DE POZOS**

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

# INSTRUMENTAL GEOFISICO . . . . .

DA MEJOR  
RENDIMIENTO,  
MAYOR DURACION  
Y A UN COSTO MENOR



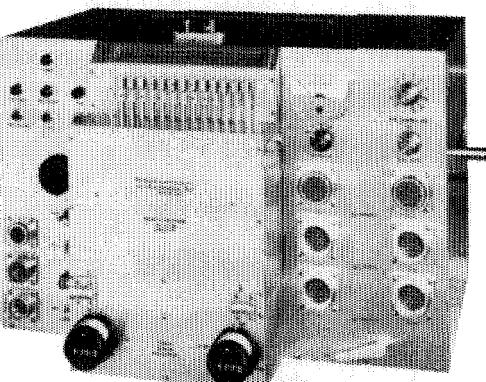
## FORTUNE T-1. SISTEMA DE AMPLIFICADORES SISMICOS TRANSISTORIZADOS PARA TRABAJOS DE REFLEXION Y REFRACTION.

**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 microvoltos de entrada.

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



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

### COMPLETAMENTE TRANSISTORIZADO

El equipo DC-2B es capaz de aplicar, simultáneamente, correcciones estáticas y dinámicas a 24 trazas o más, empleando cintas normales de 6 1/2 ó 7" de ancho. Las correcciones dinámicas se aplican mediante una leva acoplada a la flecha del tambor y que puede ser referida a sí. 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 gráscas a medidores ajustables (calibrados en por ciento), es posible aplicar a cada traza la corrección dinámica adecuada.

### ESPECIFICACIONES DEL MODELO DC-2B.

Transportador de la cinta. Mediante tambor, cuyo diámetro es de 7 1/2". 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. 3.59" /segundo.

Tiempo útil de grabación. 6 seg. (el tambor da una vuelta completa en 6 6 seg.). Corrección dinámica máxima. 150 miliseg.

Característica del motor. De histéresis de 400 ciclos. 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). -36 a 10 cps.

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

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

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

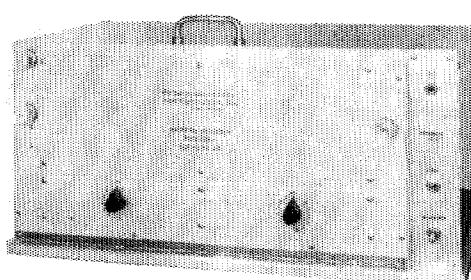
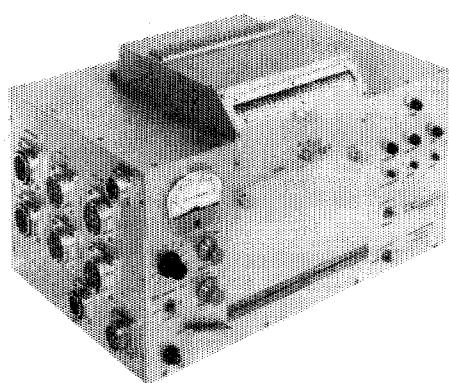
Potencia requerida. 0.5 amper en vacío y 14 amperes con carga.

Tamaño del transportador de la cinta. 15 X 18 X 14".

Peso. 90 libras (40.823 Kgs.).

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

# .... DE "FORTUNE ELECTRONICS"



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

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

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

**UN SISTEMA COMPLETO** — El modelo SR - 5 está equipado con sistemas Fortune de polarización y manejo, los cuales han sido probados cientos de veces en diferentes partes del Mundo. La unidad contiene los amplificadores necesarios para grabar instante de explosión, tiempo vertical y escala de tiempo. Tiene conexiones exteriores para diversos circuitos, tales como la acción de la suspensión a partir del instante de tiro, el arranque de la cámara, etc., todo ello a base de levas. Para aceptar 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 sísmicos y 2 ó 4 auxiliares. Tamaño de la cinta. 6 1/2" x 7" de ancho por 24 1/2" de largo.

Velocidad de la cinta. 3.59"/segundo. Tiempo útil de grabación. 6 seg. (el tambor da una vuelta completa en 6.8 seg.)

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

Polarización (bias). 8 milicampares a 6 kilociclos.

Respuesta. De 5 a 200 cps.

Correcciones estáticas (opcional). ± 100 miliseg.

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

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

Alimentación cruzada. (Cross feed). Con entrada de 100%. -38 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. 53 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 una, 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 e 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), puedes combinar 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.

**Carlos Alemán A.**

**EXPLORACION**

**y**

**PERFORACION**

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

**MEXICO 1, D. F.**

# **BOLETIN**

**de la**

## **Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración**

---

### **S U M A R I O**

Filtrado de Velocidad y Frecuencia de Datos Sísmicos  
Usando Luz Laser, por *Milton B. Dobrin, Arthur L. Ingalls y James A. Long.*

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

*MESA DIRECTIVA PARA EL PERIODO 1965-1966*

Presidente: Alfonso Cornejo Toledo.

Vice-Presidente: Armando Eguía Huerta.

Vice-Presidente Especial: José Coffin Otero.

Secretario: Jorge Lázaro Nájera Villa.

Tesorero: Roberto Oñate Espinosa.

Vocal de Minas: Jorge Suárez Rodríguez.

Vocal de Petróleo: Antonio Cordero Limón.

Vocal de Ingeniería: Mariano Hernández Moedano.

Editor: Santiago Gutiérrez H.

Presidente Saliente: Guillermo Hernández Moedano.

---

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

---

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

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. SANTIAGO GUTIERREZ H.

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.

# FILTRADO DE VELOCIDAD Y FRECUENCIA DE DATOS SISMICOS USANDO LUZ LASER \*

*MILTON B. DOBRIN,\*\* ARTHUR L. INGALLS\*\*\* AND  
JAMES A. LONG\*\**

Cuando se pasa luz coherente de un haz laser, por una reducción transparente de una sección sísmica de área variable, las señales sísmicas actúan como una rejilla óptica, para producir un patrón de difracción que es la transformada de Fourier bidimensional, de la sección misma. Con lentes adecuadas, el patrón de difracción puede convertirse nuevamente en la imagen de la sección original.

Obstruyendo porciones del patrón que en la sección corresponden a frecuencias o echados particulares, podemos quitar tales frecuencias o echados en la imagen reconstruida.<sup>1</sup>

El equipo desarrollado para este proceso incluye características especiales de diseño, para combinar: una alta resolución óptica, discriminación precisa del sobretiempo normal y de frecuencias, limitación en la longitud de la trayectoria óptica total para permitir el uso de bancos ópticos cortos y monitorización visual, usando un microscopio o un sistema de televisión circuito-cerrado.

---

\* Presentado en la 34ava. Reunión Anual Internacional de la SEG, Los Angeles, California, Noviembre 19, 1964. Publicado en su idioma original en *Geophysics*, Vol. XXX, No. 6, Diciembre 1965, páginas 1144 a 1178.

\*\* United Geophysical Corporation, Pasadena, California.

\*\*\* Conductron Corporation, Ann Arbor, Michigan.

<sup>1</sup> Esta es la base para una técnica de filtrado óptico designada como LaserScan (marca registrada de Conductron Corporation).

Para el filtrado de velocidad, los filtros consisten de cuñas montadas en un soporte rotatorio; para la eliminación de una banda de frecuencia, los filtros son cuñas de varios diámetros y láminas de cortes rectos y afilados para el filtrado de paso bajo.

La técnica es aplicable a la mayoría de los problemas encontrados en la prospección sísmica, donde eventos espurios oscurecen las reflexiones deseadas. Hasta ahora la aplicación más frecuente ha sido la eliminación de reflexiones múltiples. El método es también muy útil para la eliminación del ruido, no importa su origen, que interfiere con las reflexiones, aún cuando tal ruido, consista en eventos progresivos o en fragmentos, pero que tengan velocidades aparentes diferentes de las que tienen las reflexiones. El método también ha sido efectivo, para resolver problemas estructurales en áreas tectónicas, quitando difracciones o, en algunos casos, acentuándolas a expensas de las reflexiones, para delinear fallas y otras fuentes de difracción.

En las observaciones marinas también puede eliminarse o atenuarse el "ringing" o reverberación.

Una característica importante de este sistema de procesado óptico, es el fácil control de los resultados. La facilidad con que esto puede hacerse, da a la técnica diferentes ventajas sobre los métodos digitales o analógicos, en los que, mientras se efectúa el proceso, el geofísico pierde contacto con los resultados obtenidos a través de diferentes caminos. El filtrado óptico, también ofrece otras ventajas en el procesado de datos sísmicos, ya que por el hecho de poder manejarse en una sola operación fotográfica cientos de canales de información, intrínsecamente, resulta más económico.

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

El propósito de esta publicación, es el de describir una nueva aproximación al problema de obtener información útil de los registros sísmicos, en los cuales, ruidos de varias clases, oscurecen las reflexiones u otros tipos de datos deseados. Hasta ahora, las técnicas convencionales para resolver este problema, han utilizado procesos eléctricos, analógicos o digitales. La técnica que ha sido desarrollada por United Geophysical Corporation y Conductron Corporation para llevar a cabo este objetivo es óptica, esta técnica ha sido denominada con el nombre de LASERSCAN.

Aunque los procesos analógicos, digitales y ópticos son operacionalmente diferentes, los principios en los que se basan son los mismos. En los pri-

meros dos, se introducen operadores-filtro como simples funciones de tiempo o frecuencia, en tanto que los operadores ópticos correspondientes se convierten a una forma de espacio bidimensional.

El filtrado óptico bidimensional, tiene su mayor utilidad en la eliminación de eventos, en secciones sísmicas de área o densidad variable, que tienen inclinaciones indeseables o buzamientos aparentes que cancelan, o hacen confusas las reflexiones de interés en la exploración. Reflexiones múltiples, ruido disperso, eventos de baja velocidad aparente, ondas superficiales y difracciones, interfieren con el reconocimiento y marcado de las reflexiones reales; el sistema descrito aquí, está diseñado para quitar estos eventos extraños y dejar las reflexiones u otros alineamientos deseados, claramente visibles. La técnica también es efectiva, para el filtrado de frecuencias, dando cortes más definidos que los de los filtros eléctricos, usados ordinariamente en los centros de reproducción.

El filtrado óptico que se describirá, es un sistema rápido, flexible y económico, para el filtrado simultáneo de velocidades aparentes y frecuencias, y ofrece ventajas que pueden ser únicas en el campo del procesado de datos sísmicos.

El primer proceso afortunado con el propósito de mejorar los datos sísmicos subsecuentes a su grabación en el campo, fue básicamente óptico.

El sonógrafo desarrollado por Rieber (1963), separó buzamientos sísmicos contradictorios, explorando transparencias de área variable con un haz de luz. Recientemente, se han empleado los métodos ópticos, para componer los datos de los tiros de punto común de reflejo (c.d.p.). También se han construido varios tipos de correlación óptica para usarse en el análisis de datos sísmicos (Field, 1963). Sin embargo, en general, las técnicas ópticas para el manejo de datos sísmicos, no han sido completamente aceptadas entre los geofísicos, como lo han sido los métodos analógico y digital.

Aún más, el procesado óptico de la información sísmica, tiene ciertas ventajas sobre los otros métodos, lo que no debe ser pasado por alto.

Entre ellas están velocidad y flexibilidad, todo ello, resultado de la facilidad con la que pueden procesarse gran cantidad de datos a la vez y, también, de la facilidad con la que el procesado óptico puede controlarlos en todo momento.

La primera publicación sobre el uso del análisis de difracción sobre datos geofísicos, fue hecha por Barber (1949), quien redujo una fotografía de la superficie del mar. Usó la reducción transparente, como una red de difracción en un haz de luz de sodio, pasándola por un diafragma y fotografiando el patrón (pattern) de difracción resultante.

Por este proceso obtuvo puntos en el patrón que fueron asociados con crestas de ondas, tan ocultas por crestas más prominentes que las cruzaban angularmente, que era muy difícil verlas en la fotografía.

Barber sugirió, que los datos de difracción, podían usarse no solamente para la discriminación, sino también para el análisis de frecuencias de los diferentes alineamientos de ondas superpuestas sobre otros, en la superficie del mar. Ningún análisis de este tipo fue presentado en la publicación de Barber, quien únicamente mostró reproducciones de los patrones de difracción.

La primera aplicación práctica del filtrado óptico, hasta donde los autores tienen conocimiento, fue intensificar el contraste o hacer resaltar los detalles en fotografías, así como también, eliminar fenómenos extraños, como la estructura de los granos y las deficiencias que aparecen a medio tono en éstas. Este trabajo fue llevado a cabo en el Instituto de Optica de la Universidad de París (Maréchal y Croce, 1953; Cagnet et al. 1962). La teoría de tal filtrado es discutida por O'Neill y Françon (1963).

Por muchos años se han hecho estudios teóricos y experimentales del filtrado y procesado de datos ópticos en la Universidad de Michigan. Los resultados del primer trabajo llevado a cabo en los Laboratorios Willow Run de la Universidad, bajo contrato con la Fuerza Aérea, fueron publicados por Cutrona et al. en 1960. Desarrollos más recientes en Michigan, son dados a conocer en una publicación de Van der Lugt (1964), del Instituto de Ciencia y Tecnología. La aplicación de los métodos ópticos al procesado de datos sísmicos, fue introducido alrededor de 1961 por Philip L. Jackson en el Laboratorio de Acústica y Sismología de la Universidad de Michigan bajo los auspicios de VELA UNIFORM. Aunque el objetivo inicial de este trabajo fue el de mejorar las técnicas para detectar explosiones atómicas por medio de registros sísmicos, Jackson extendió su actividad hasta incluir un tipo de exploración con sismogramas de la forma de densidad variable (Jackson, 1965).

La técnica descrita en la presente publicación, es una mejora al trabajo hecho por Cutrona y sus colaboradores en la Universidad de Michigan y, posteriormente, por Cutrona en la Conductron Corporation. Hace uso de las com-

ponentes instrumentales desarrolladas por Conductron. Su única característica, la eliminación de direcciones indeseables o de combinaciones de direcciones y frecuencias en las secciones sísmicas, filtrando en el plano de las transformadas de Fourier bidimensionales, fue concebida y desarrollada en escala comercial por los presentes autores, independientemente y sin conocimiento de cualquier trabajo de tipo similar que pueda haber sido hecho por otros. A la vez que esta investigación estaba en proceso, los autores tuvieron conocimiento del análisis uni-dimensional o canal por canal de Jackson y del filtrado de frecuencias en sismogramas ya discutido en el resumen (Jackson, 1963), de una publicación que presentó en la reunión Internacional Anual de la SEG, efectuada en Nueva Orleans en el año de 1963. Sin embargo, los autores no estuvieron familiarizados con ninguno de los experimentos de Jackson, sobre el filtrado bidimensional, que fueron reportados, por primera vez al público, en la reunión de la Sociedad Canadiense de Geofísicos de Exploración en diciembre de 1964 y, posteriormente, en su trabajo de 1965. Habiendo tenido que contestar muchas preguntas sobre la relación que existe entre nuestro trabajo y el de la Universidad de Michigan, ha sido necesario aclarar esta situación, ya que consideramos que una publicación técnica no es un medio apropiado para adjudicarse prioridades y por otra parte, tampoco tenemos intención de hacerlo. Para el lector que desee hacer una revisión del procesado óptico y su aplicación al análisis y mejoramiento de datos sísmicos, se le recomiendan las publicaciones de Cutrona et al. (1960) y Jackson (1965).

## P R I N C I P I O S

*Teoría de la formación de imágenes de Abbe.*—Los conceptos básicos del filtrado óptico, fueron publicados primero por Abbe (1873), hace unos 100 años, en una publicación sobre la formación de imágenes en un microscopio, cuando el objeto es iluminado con luz coherente. La publicación original de Abbe no es muy accesible, pero las conclusiones de su teoría, son proporcionadas en inglés por Lord Rayleigh (1896), Porter (1906), Born y Wolf (1964) y Wood (1934). De acuerdo con la teoría de Abbe, cualquier variación en la distribución de luz (tal como la de una transparencia), a través de una abertura iluminada coherently y perpendicular al eje óptico, da lugar a un patrón de difracción en el plano focal más lejano de una lente objetiva. Los puntos de luz que constituyen este patrón, pueden considerarse como fuentes de ondas secundarias, que interferirán una con otra, de tal ma-

nera que formarán una reconstrucción del objeto en el plano donde es enfocada la imagen<sup>2</sup>.

De acuerdo con la teoría de Abbe, el mecanismo para la formación de una imagen (Fig. 1), es equivalente a una transformada doble de Fourier de la distribución de luz  $F(x, y)$  en la abertura iluminada que constituye el objeto. Cuando la luz que pasa por la abertura es coherente, el patrón de difracción  $\mu(\xi, \eta)$  (siendo  $\xi$  y  $\eta$  las dos coordenadas espaciales) formado en el plano focal principal de la lente, es expresable en la forma:

$$\mu(\xi, \eta) = C_1 \iint F(x, y) e^{i k ([\xi/f]x + [\eta/f]y)} dxdy, \dots (1)$$

donde  $C_1$  es una constante,  $k$  es el número de onda y  $f$  es la distancia focal de la lente.

Puesto que esta relación fue obtenida por Fraunhofer con base en principios ópticos, es fácil demostrar que  $\mu(\xi, \eta)$  es la transformada de Fourier, o espectro bidimensional, de  $F(x, y)$ .

<sup>2</sup> Cuando uno considera qué tanto son conocidos los principios acerca del filtrado óptico, sorprendentemente nos damos cuenta que estos conocimientos no se habían dirigido al procesado de los datos sísmicos, anteriormente a la aplicación que se les dio en el arte. Porter describe una demostración en su texto de 1906 que ilustra cómo los alienamientos en diferentes direcciones se pueden hacer desaparecer por medio del bloqueo de los puntos asociados con ellos en el plano donde el patrón de difracción de un grupo de líneas cruzadas es enfocado. Lord Rayleigh tiene una llamada en su texto de 1903 sobre difracción, donde expresa un reproche para quien trabaja en todas las ramas de la ciencia, llamada que ha trascendido hasta nuestros días:

"Parecerá que el presente asunto, como otros muchos, ha rebasado a la especialización, de tal manera que siendo muy familiar para el microscopista es casi desconocido para el físico, y viceversa. En mi caso debo confesar que solo recientemente me he familiarizado con el extraordinario trabajo del profesor Abbe (que fue publicado hace ya treinta años)."

Si nosotros sustituimos las palabras "especialista en óptica" y "geofísico" por "microscopista" y "físico" en las primeras líneas de la llamada de Lord Rayleigh, podremos tener una explicación para el relativo desconocimiento de los métodos ópticos en el procesado de los datos geofísicos.

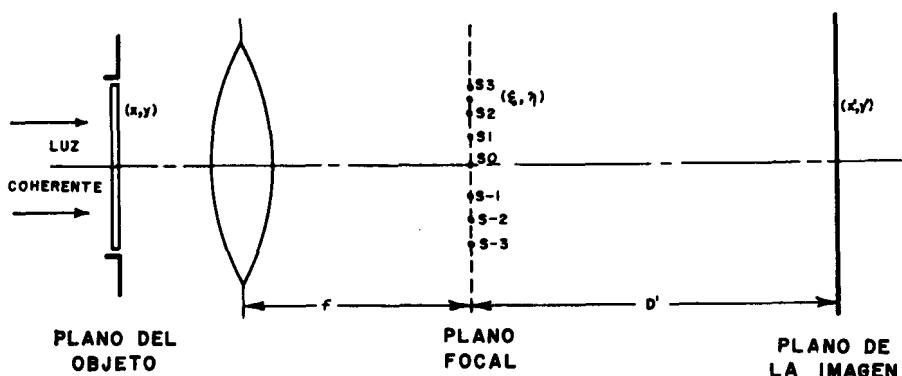


Fig. 1.—Formación de la imagen a través de un objetivo microscópico de acuerdo con la teoría de Abbe para el caso de iluminación coherente.

Considerando ahora la transición del plano de difracción al plano de la imagen y definiendo la perturbación en  $x'$ ,  $y'$  en el último plano, el cual contiene la imagen, como  $V(x', y')$  tenemos:

$$V(x', y') = C_2 \int \int \mu e^{-i k [(x'/D') \xi + (y'/D') \eta]} d\xi d\eta, \dots \quad (2)$$

Donde  $C_2$  es una constante y  $D'$  es la distancia entre el plano focal de la lente y el plano de la imagen.

Esta es también una transformada de Fourier bidimensional. Sustituyendo (1) en (2) se tiene como resultado la siguiente relación entre la imagen y el objeto.

$$V(x', y') = C F(x, y)$$

donde  $C = C_1 C_2 \lambda^2 f^2$ , siendo  $\lambda$  la longitud de onda de la luz. Esta relación obvia entre un objeto y su imagen, también puede demostrarse a partir de que la transformada inversa, de la transformada de una función, es la función original, excepto por una constante multiplicativa, que en este caso es el factor de amplificación.

La utilidad de este concepto en el procesado de datos, está en el paralelo que existe entre el patrón de difracción como una transformada de Fourier de la información fotográfica, tal como la de una sección sísmica y el espectro de frecuencias como la transformada de Fourier de una función de tiempo, por ejemplo, la de una señal sísmica.

De la misma forma que filtramos la señal sísmica, quitando componentes de frecuencia de su espectro, podemos filtrar frecuencias espaciales u orientaciones de la sección de sismogramas, quitando las porciones del patrón de difracción que corresponde a la información que va a eliminarse.

La imagen o reconstrucción, mostrará toda la información de la fotografía original, excepto la eliminada por el filtrado. Al aplicar esta aproximación al filtrado de secciones sísmicas, sobre la bases de inclinación o buzamiento aparente de eventos sísmicos, operamos realmente en el plano frecuencia-número de onda (Smith, 1956) usando un equivalente óptico del método eléctrico descrito por Fail y Grau (1963) y Embree, Backus y Burg (1963).

## OPTICA GEOMETRICA DE LAS TRAYECTORIAS DE DIFRACCION

Ilustremos el funcionamiento de nuestro sistema óptico siguiendo los frentes de onda que son difractados por una rejilla simple en el plano del objeto.

Esta rejilla consiste de una serie de ranuras angostas, igualmente espaciadas en una pantalla opaca, como se muestra en la figura 2, estando las ranuras horizontales y perpendiculares al plano del papel. La separación de las ranuras es  $D$ .

Cuando un frente de onda plano de luz coherente, paralelo al plano de la rejilla, incide sobre este plano, cada ranura, de acuerdo con el principio de Huygens, actúa como una nueva fuente de ondas cilíndricas, con frentes de ondas sucesivos, que se propagan a la derecha de la rejilla, como se muestra en la figura 2.

Los frentes de ondas de ranuras adyacentes pueden interferir constructivamente en muchas formas, correspondiendo cada forma de combinación, a un diferente orden de difracción.

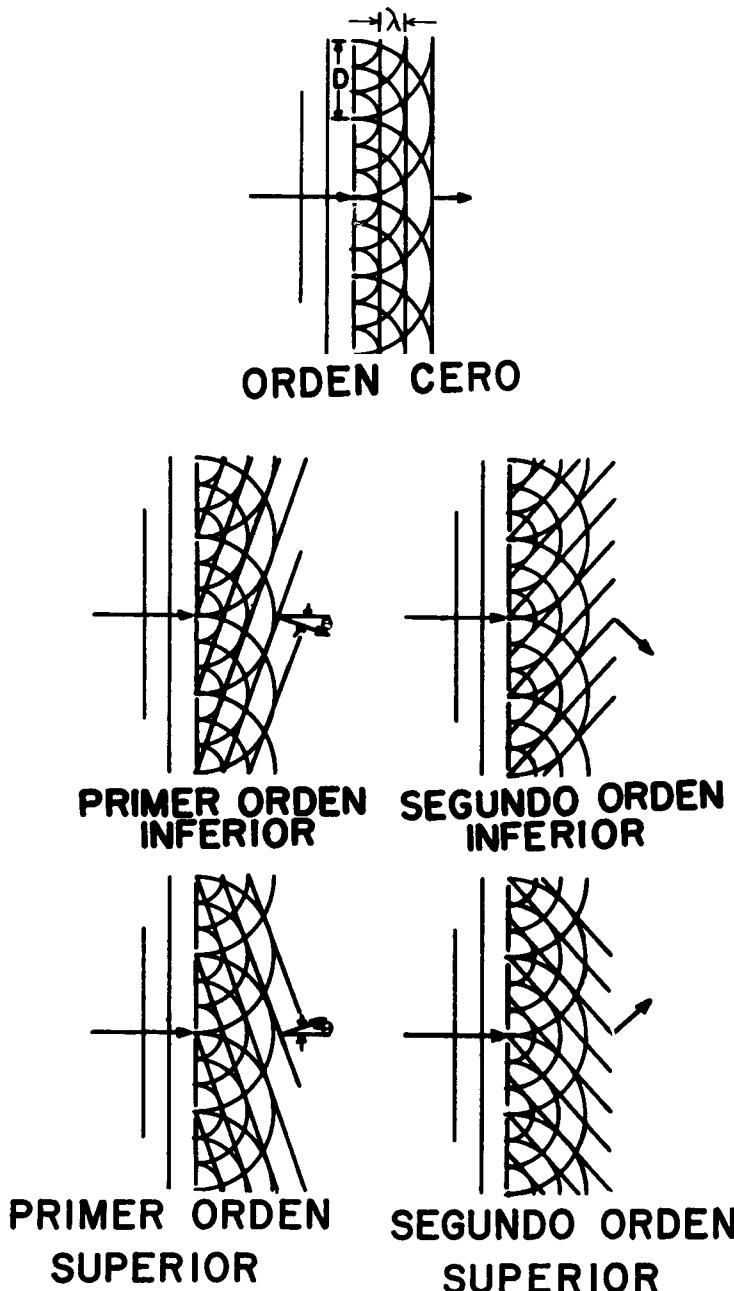


Fig. 2.—Mecanismo de difracción a través de una rejilla consistente en ranuras horizontales espaciadas regularmente en una hoja opaca perpendicular al plano del papel.

La difracción de orden cero se observa donde emergen los frentes de onda con el mismo número de longitud de onda desde sus fuentes; a grandes distancias de la rejilla, viajando horizontalmente como ondas planas.

Las difracciones de primer orden se forman de los frentes de ondas cercanos que emergen sucesivamente, con una separación, de una longitud de onda al plano de la fuente, conforme cada ranura sea atravesada hacia arriba o hacia abajo. Estas emergen en una onda plana viajando hacia abajo o hacia arriba, a un ángulo, el cual es:  $\text{Sen}^{-1} \lambda/D$ . Las difracciones de segundo orden, resultan de frentes de onda que emergen separados dos longitudes de onda, originados por ranuras adyacentes.

Los frentes de onda resultantes forman un ángulo con la vertical, cuyo valor es:  $\text{Sen}^{-1} 2 \lambda/D$ .

En la figura 3, se pueden trazar las ondas que corresponden a las difracciones de orden cero y a las dos diferencias de primer orden (como se muestra en la figura 2), que atraviesan el sistema óptico.

Cuando los tres conjuntos de ondas planas, pasan por la lente 1 que es esférica, convergen en un punto en el plano focal de la lente.

El haz de orden cero, que viaja horizontalmente, se enfoca en el eje, produciendo un punto de luz, al que se refiere uno como porción "dc" del patrón de difracción. El haz de primer orden que viaja hacia arriba a un án-

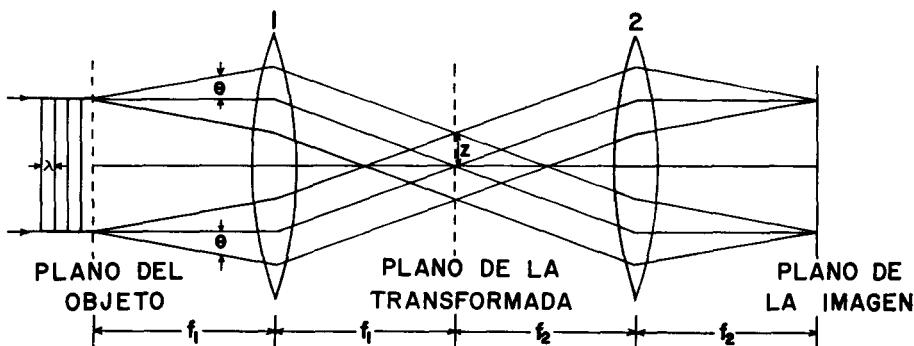


Fig. 3.—Relación entre objeto, transformada e imagen, para un sistema compuesto de dos lentes. El patrón de difracción está enfocado en el plano de la transformada.

gulo  $\theta$  con el eje, se enfoca arriba del punto central a una distancia que es  $f_1 \tan \theta$ , en tanto que el haz de primer orden que viaja hacia abajo, se enfoca a la misma distancia abajo del eje.

Las difracciones de orden superior, originan puntos en el plano focal a distancias mayores, encima y abajo del eje; para propósitos prácticos, la separación entre puntos de órdenes sucesivos, es igual a la distancia entre el eje (orden cero) y los puntos de primer orden.

Para la rejilla horizontal, usada en nuestro ejemplo, los puntos están a lo largo de una línea vertical que pasa por el eje.

Si la rejilla consistiera de líneas verticales paralelas al papel, los puntos estarían a lo largo de una línea horizontal perpendicular al papel. Si la rejilla estuviera inclinada a un cierto ángulo con la vertical, en el plano del objeto, los puntos en el plano de la transformada, estarían a lo largo de una línea que pasaría por el eje formando el mismo ángulo con la horizontal. En otras palabras, los puntos de luz que constituyen el patrón de difracción de una rejilla, están a lo largo de una línea perpendicular a los elementos de la rejilla. También, la deflexión desde el eje horizontal, del punto de primer orden, da una medida de la separación entre las líneas de la rejilla correspondiente. Puesto que  $Z = f_1 \operatorname{Tg} \theta$  y

$$\theta = \operatorname{Sen}^{-1} \frac{\lambda}{D} \cong \frac{\lambda}{D}$$

para los ángulos muy pequeños realmente implicados

$$Z = f_1 \tan \frac{\lambda}{D} \cong \frac{f_1 \lambda}{D},$$

de manera que, la distancia radial del punto de primer orden, o la separación entre puntos sucesivos de orden superior, es inversamente proporcional al espaciamiento entre las líneas de la rejilla, o, proporcional a su frecuencia espacial.

Por lo tanto, para rejillas simples, se puede hacer la generalización ilustrada en la figura 4, a saber: la distancia entre puntos de difracción, que representan órdenes sucesivos de difracción, es proporcional a la frecuencia espacial de las líneas de la rejilla y, la orientación de la línea que conecta los puntos, es perpendicular a la de las líneas de la rejilla.

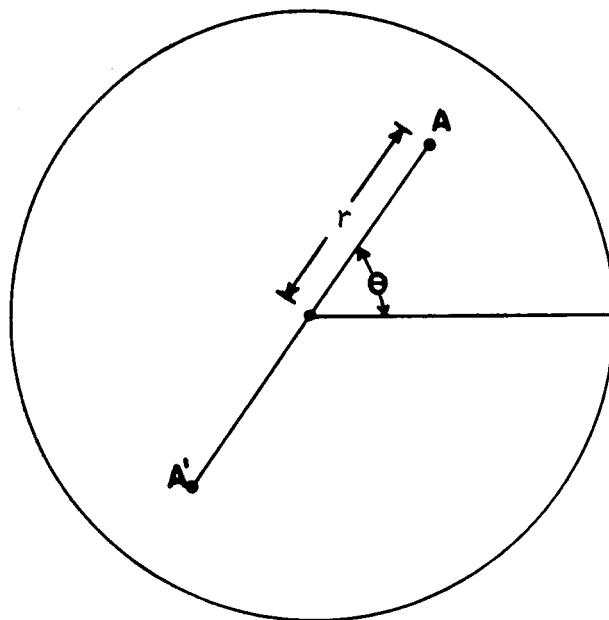


Fig. 4.—Relación entre el patrón de difracción y las características correspondientes a una rejilla simple.  $r$  es proporcional a la frecuencia espacial.  $\theta$  es la dirección normal a la alineación que origina el segmento de difracción  $AA'$ .

Si seguimos los rayos en la figura 3 más allá del plano de difracción, hasta su recombinación en el plano de la imagen, vemos cómo tiene lugar la transformada inversa o reconstrucción de la imagen. Los frentes de ondas esféricos que se difunden hacia la derecha de cada punto, donde la luz se enfoca, en el plano de la transformada se convierten en ondas planas por la lente 2, la que se localiza más allá del plano de la transformada a una distancia igual, a su propia distancia focal. Esas ondas planas, que corresponden, cada una a diferentes tipos de difracción, se recombinan en el punto focal de la lente, formando una imagen del objeto original. Si no se obstruye la luz en el patrón de difracción, la imagen será idéntica al objeto.

Si se bloquea alguna porción del patrón en el plano de la transformada, la reconstrucción tendrá toda la fotografía original, excepto la parte que ha sido obstruida.

## ANALISIS Y SINTESIS DE LAS TRANSFORMADAS DE SECCIONES SISMICAS

Debido a la linearidad de la relación, la transformada de una distribución de densidad compleja, tal como la de una sección sísmica, puede considerarse como la suma de los patrones de puntos asociados con los elementos de la rejilla individual, que constituyen la fotografía realmente. Esas rejillas elementales, tienen diferentes espaciamientos y orientaciones, produciendo cada cual una contribución diferente al patrón de difracción.

Consideremos la serie de líneas verticales paralelas de la figura 5. Esas líneas representan las separaciones entre los canales de una sección.

El patrón de difracción para esta rejilla, se muestra a la derecha de la figura. Consiste en una cruz, que se asocia con el borde exterior y puntos que están sobre el eje horizontal; son observables dos órdenes de difracción: uno hacia la izquierda y otro hacia la derecha del centro.

Los puntos representan el espectro de las líneas verticales, los cuales tienen un espaciamiento tal, que caen 50 líneas dentro de una distancia horizontal, correspondiendo a un intervalo de tiempo de un segundo, en la dirección vertical.

De este modo, la distancia del eje a los puntos, corresponde a una frecuencia de 50 cps.

Ahora en la figura 6, superponemos a las líneas que representan la separación entre canales, una serie de líneas de tiempo —horizontales— a intervalos de 50 milisegundos. Estas corresponden a una frecuencia de 50 cps. El patrón de difracción, a la derecha, muestra una serie de puntos brillantes sobre el eje vertical, con una separación igual a dos quintas partes de la que tienen los puntos situados a lo largo del eje horizontal. Entre los puntos brillantes, hay puntos más débiles asociados con líneas de tiempo más gruesas, separadas 100 milisegundos. Estas corresponden a una frecuencia espacial de 10 cps., de manera que los puntos más débiles caen en medio de los más fuertes, representando una frecuencia de 20 cps.

En la figura 7, hemos anexado una serie de eventos simulando reflexiones sísmicas, todos paralelos con un leve buzamiento hacia la izquierda. La frecuencia de esos eventos es 30 cps. Los puntos de difracción correspondientes a esas reflexiones, caen a lo largo de una línea perpendicular a los alineamientos de los eventos sísmicos. Nótese que la distancia radial de los puntos de primer orden es  $3/5$  de la que tienen los puntos de primer orden, los que corresponden a los 50 cps de separación entre canales e igual a  $1 \frac{1}{2}$  veces la de los puntos para las líneas de tiempo de 20 cps. Los puntos de segundo orden son más débiles, pero fácilmente observables.

La figura 8 muestra el patrón de difracción obtenido superponiendo un segundo conjunto de reflexiones simuladas, sobre el primer conjunto, buzando los eventos respectivos en direcciones opuestas. Los puntos de difracción, asociados con cada conjunto, están como se esperaba, a lo largo de líneas radiales que son perpendiculares a los respectivos alineamientos de reflexión. Debido a que los eventos que buzan hacia la derecha, tienen una frecuencia mayor que los que buzan hacia la izquierda, los puntos de primer orden correspondientes al primer grupo de líneas, están más alejados del centro que los del último grupo.

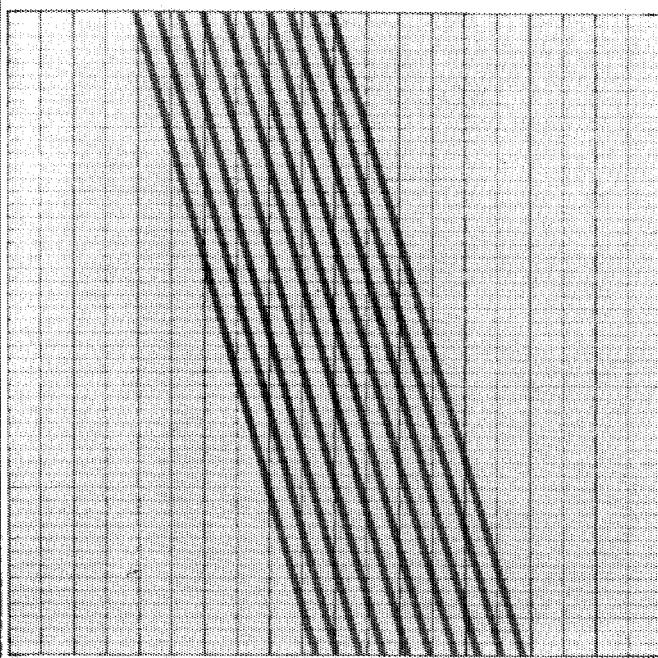
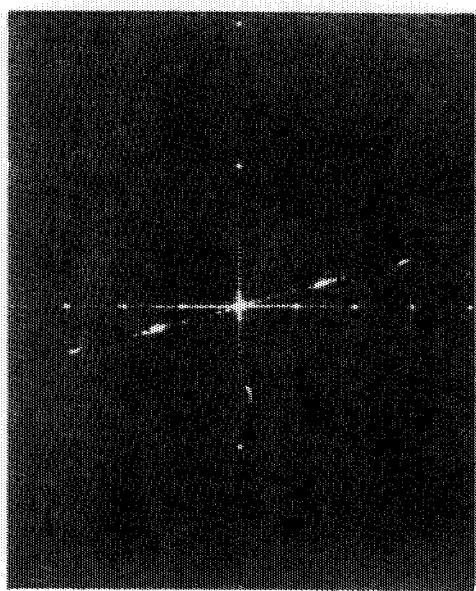
Es evidente de esta sección simulada, que cada línea de puntos, constituye el espectro o transformada de Fourier de un conjunto de líneas paralelas sobre la transparencia objeto y, que cada espectro, es independiente de cualquier otro. No hay límite al número de direcciones de alineamientos que pueden resolverse dentro de las posibilidades de resolución óptica del sistema.

Mientras que los eventos sintéticos de reflexión, construidos con líneas que tienen separaciones constantes y direcciones uniformes, tales como los mostrados en las figuras 7 y 8, dan patrones de difracción en forma de puntos discretos de luz, los eventos en secciones sísmicas reales, muestran una gran variación en sus inclinaciones y frecuencias y no puede esperarse que produzcan patrones de transformación simple. Cada uno de los eventos, pueden ser vistos como una rejilla elemental, que da lugar a un conjunto asociado de puntos de difracción. Debido al número implicado, éstas ya no pueden distinguirse individualmente. Así el patrón de difracción resultante, consiste en dos nubes de luz dispuestas simétricamente, muy similares a las fotografías de una galaxia distante, tomadas con un telescopio, en las que las estrellas individuales no pueden distinguirse. La figura 9, muestra el patrón de difracción que se obtiene de una sección, en la que los eventos sísmicos, muestran un amplio rango de buzamientos aparentes en cada dirección. Las separaciones entre canales, se manifiestan como puntos discretos a lo largo del eje horizontal. Los datos sísmicos son representados por dos o más manchas difusas de luz, centradas alrededor del eje vertical.

PATRON DE  
DIFRACCION

EVENTOS SIMULADOS DE REFLEXION  
EN UNA DIRECCION

Fig. 7.—Patrón de difracción que corresponde a reflexiones esquemáticas superpuestas en el mismo modo que en la Fig. 6.



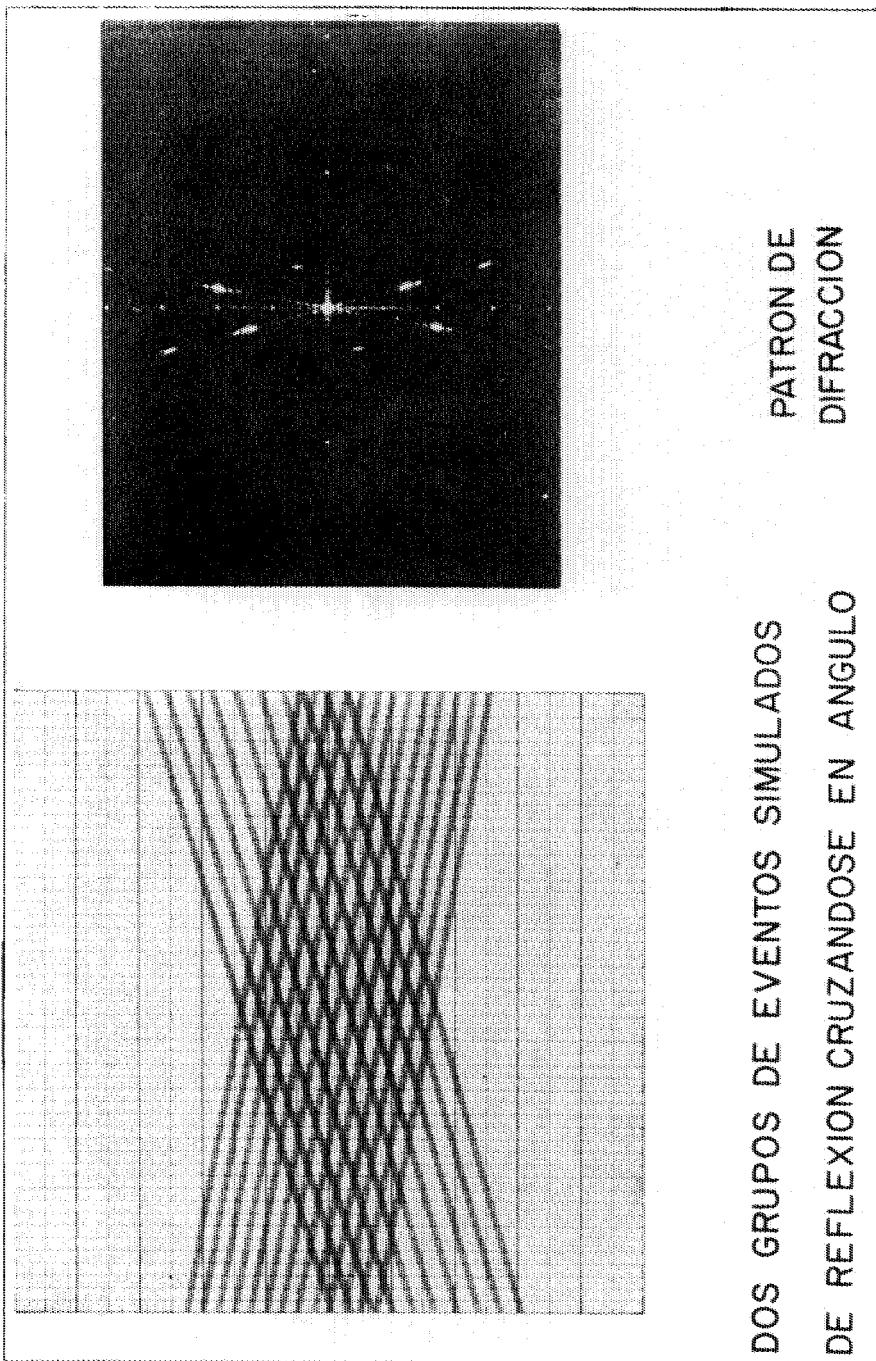


FIG. 8.—Patrón de difracción que corresponde a dos conjuntos de reflexiones esquemáticas superpuestas en el enrejado de la Fig. 6.

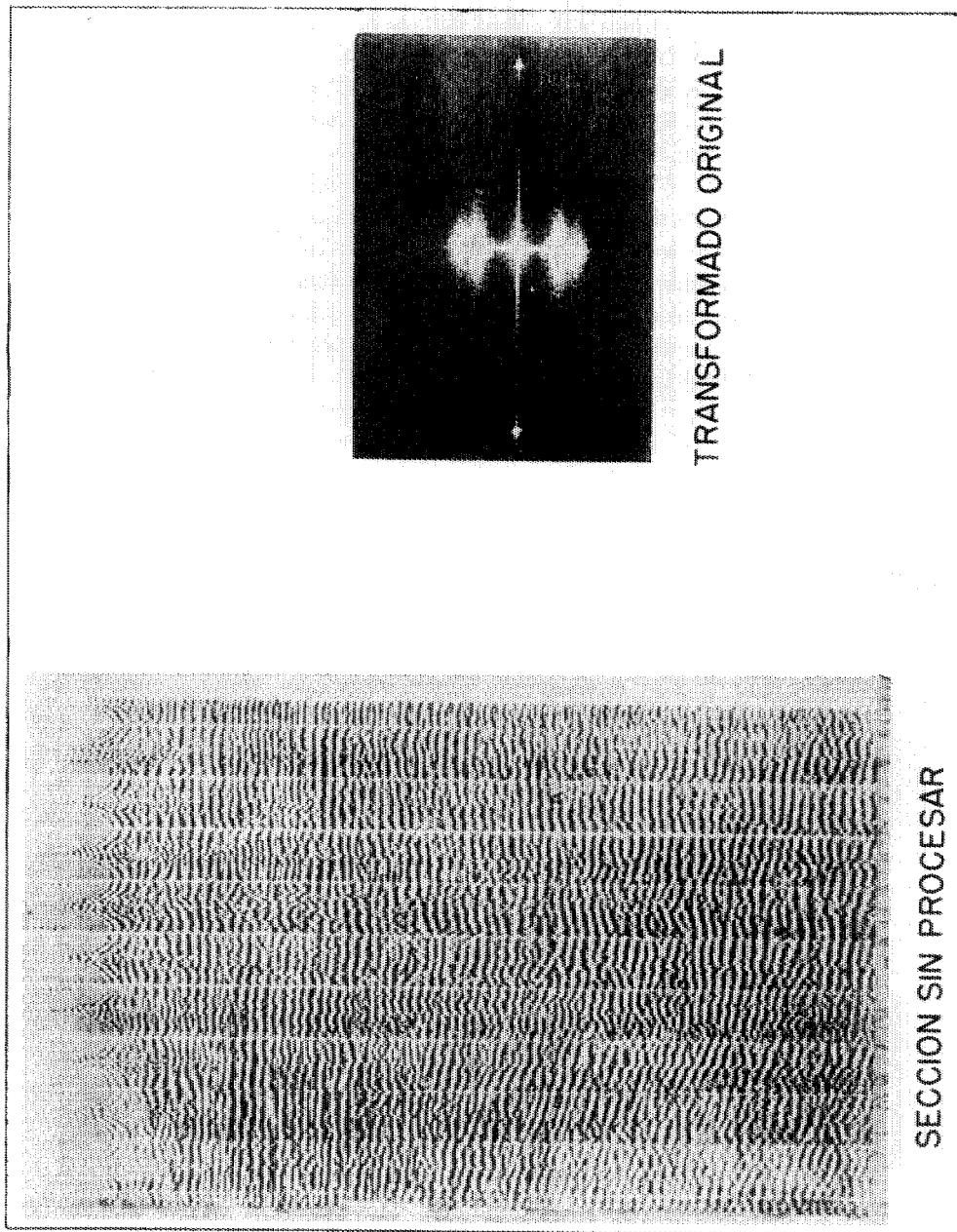


Fig. 9. Patrón de difracción correspondiente a una sección de densidad variable real.

Las frecuencias de los eventos sísmicos en la transformada, pueden calibrarse, usando los puntos de luz sobre el eje vertical, que corresponden a las líneas de tiempo o los puntos a lo largo del eje horizontal, que corresponden a la separación entre canales. En el caso de puntos de canales, se cuenta el número de canales en una distancia horizontal, igual a una distancia vertical correspondiendo a un segundo, para expresar la frecuencia espacial de las líneas de los canales en ciclos por segundo.

Los patrones de difracción, de secciones sísmicas reales, muestran una variedad de características, tal como se ilustra en la figura 10, en las cuales se presentan las transformadas para seis tipos de secciones. Las transformadas *A* y *D*, son parecidas en cuanto a que indican una distribución aproximadamente simétrica de buzamientos hacia la izquierda y hacia la derecha, aunque sobre *A*, una banda de altas frecuencias aparece casi plana. En el patrón *B*, los datos parecen dividirse en tres zonas de frecuencias; este tipo de transformada se asocia con "ringing" o reverberación en los disparos marinos.

En la transformada *C*, se notan dos fenómenos interesantes: hay más luz en la porción del patrón que está en sentido contrario a las manecillas del reloj con respecto al eje vertical, indicando un buzamiento predominante ha-

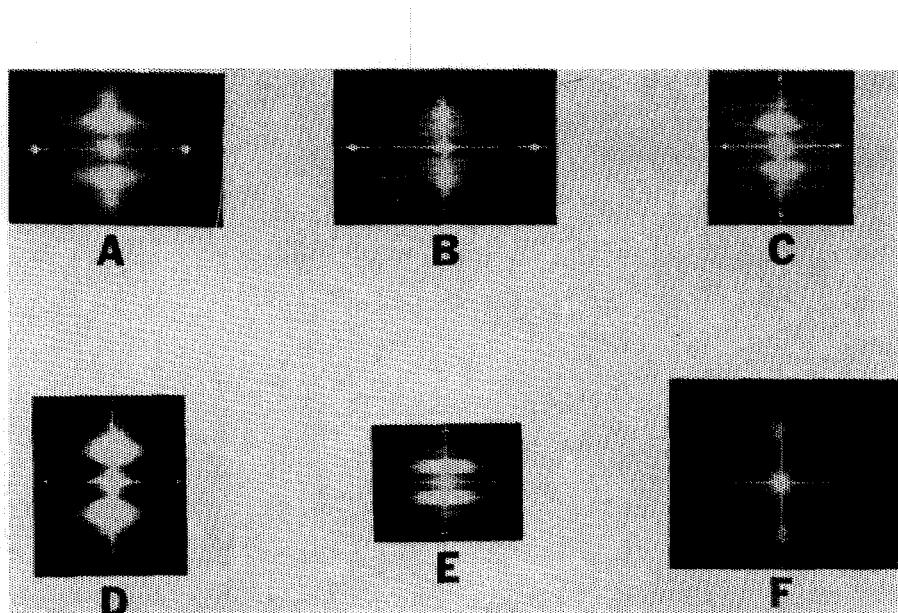


Fig. 10.—Transformadas que corresponden a seis secciones típicas de registro. Las características de cada una de ellas se discuten en el texto.

cia la izquierda. También hay un par de franjas horizontales a una frecuencia de 60 cps. lo que obviamente, indica una interferencia de una línea de alto voltaje con una frecuencia de 60 cps. (High line pickup). El patrón de difracción *E*, muestra límites bien definidos en la parte superior (alta frecuencia) y en la parte inferior (baja frecuencia), de la transformada de la energía sísmica. Obviamente, sólo está presente en un rango limitado de frecuencias con cortes bien definidos en los extremos inferior y superior. Este es el patrón para una sección hecha con una fuente Vibroseis.

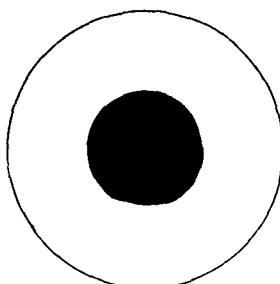
El patrón *F*, es de una sección que ya ha sido filtrada ópticamente para quitar todos los eventos, excepto aquellos que tienen buzamientos muy leves hacia la izquierda y todas las frecuencias mayores que un cierto valor límite. La transformada indica que el filtro tuvo completo éxito, al menos dentro de los límites del registro fotográfico que fue empleado.

### FILTRADO OPTICO

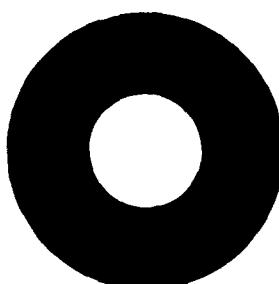
Los filtros ópticos pueden usarse para dejar pasar, o eliminar cualquier rango deseado de frecuencias espaciales, o bien cualquier rango deseado de inclinaciones de la transparencia original, a la entrada. Si las bajas frecuencias espaciales van a ser eliminadas en todas direcciones, se enmascara con un disco opaco, el área alrededor del eje central (figura 11 a), dependiendo la eliminación de las frecuencias del radio del círculo. Pueden eliminarse altas frecuencias, introduciendo un diafragma —iris fotográfico standard— en el plano de la transformada, como se muestra en la figura 11 b. Si se van a eliminar de la fotografía final, todos los alineamientos que tengan una orientación  $\theta$  en el rango  $\pm \frac{\theta_0}{2}$  de una dirección específica,  $\theta_0$ , puede usarse una pantalla opaca en forma de cuña como se ve en la figura 11 c.

La máscara-filtro, se orienta de tal manera, que su porción opaca cubre áreas del patrón de difracción perpendiculares a las direcciones por eliminarse. Si los eventos se van a dejar pasar dentro de este rango (y eliminarse todos los que estén fuera de él), se corta una abertura en forma de cuña, con ángulos adecuados en una franja opaca, bloqueando la luz en el plano de la transformada, como se muestra en la figura 11 d.

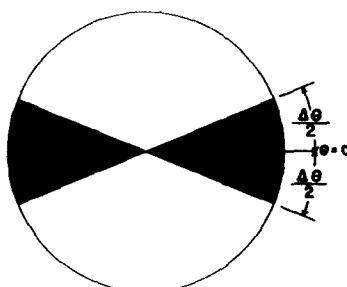
Las frecuencias de los eventos en un registro sísmico o una sección, se expresan en términos de intervalos de tiempo entre picos o valles, siendo los recíprocos de tales intervalos, las frecuencias en cps. Sea el evento plano o inclinado, esta frecuencia se mide en la dirección del canal, que siempre es vertical. Por otra parte, la frecuencia espacial, que es el único parámetro significativo para el análisis óptico, debe medirse a lo largo de una perpendicular



a) FILTROS DE PASO ALTO

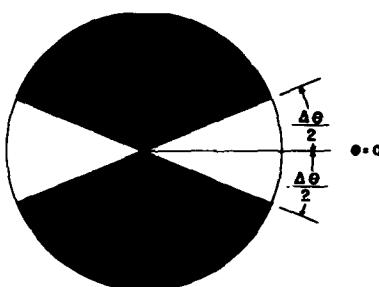


b) FILTROS DE PASO BAJO



c) DIRECCION DE ELIMINACION

(ORIENTACIONES NORMALES AL  
RADIO ELIMINADAS EN EL  
AREA BLOQUEADA)



d) PASO DIRECCIONAL

(ORIENTACIONES NORMALES AL  
RADIO PASAN EN EL AREA BLANCA)

Fig. 11.—Configuraciones aparentes para filtrado direccional y de frecuencia en el plano de la transformada.

a las líneas observadas sobre la sección. Para una frecuencia en cps. dada, la frecuencia espacial es proporcional a la secante del ángulo de buzamiento aparente sobre la sección. La distancia radial a un punto sobre el patrón de difracción, que corresponde a este buzamiento y frecuencia en cps., es proporcional a la frecuencia espacial y, por lo tanto, aumenta conforme aumenta la secante del ángulo o del buzamiento. El lugar de este punto, está a lo largo de la horizontal, que intercepta al eje vertical (posición de buzamiento cero), en el punto correspondiente a la frecuencia en cps. Por esta razón, los filtros destinados para eliminación de frecuencias, a una frecuencia en cps. particular, tienen bordes rectos en vez de circulares.

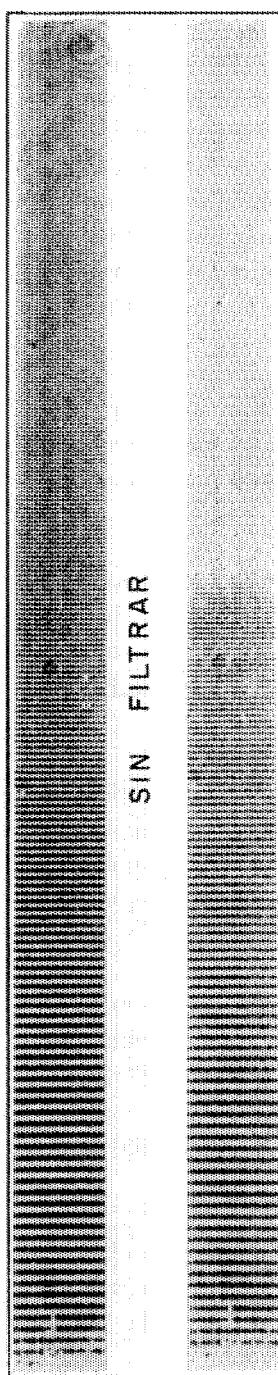
Así deben usarse bordes afilados y alambres rectos, como filtros para el procesado de datos sísmicos en lugar de iris, discos circulares y anillos como se muestran en la figura 11, los cuales deben usarse para filtrar fotografías, en las que no se consideran las frecuencias en cps., sino espaciales.

El filtrado de frecuencias por medios ópticos, da cortes excepcionalmente definidos, tal como se ilustra en la figura 12. Aquí se hizo un registro de área variable, activando un oscilador desde 20 hasta 60 cps. El registro se muestra en la parte superior de la figura y su transformada abajo a la izquierda.

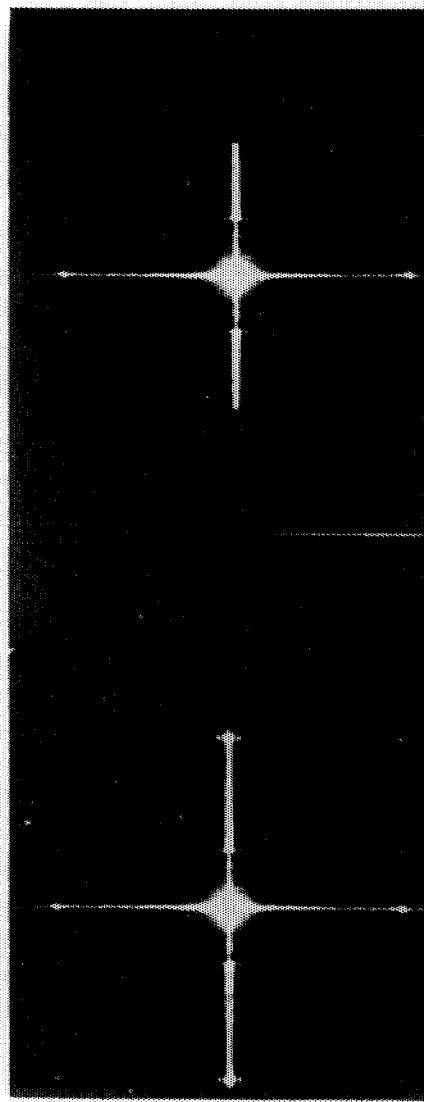
Se introdujo un par de cuñas de bordes rectos para cortar el patrón de difracción, de manera que elimine todas las frecuencias superiores a 47 cps. El registro resultante, muestra una rápida extinción de la señal, cuando las frecuencias son superiores a la de corte de 47 cps., no siendo visibles en el registro filtrado, señales de frecuencias superiores a los 50 cps.

La figura 13, muestra cómo puede usarse una combinación de láminas, alambres y cuñas, para eliminar altas frecuencias, bajas frecuencias y sobre tiempo normal, dentro de intervalos predeterminados. Cuando se usa el filtrado de corte bajo, siempre debe dejarse pasar la luz axial o "dc", para evitar las distorsiones, que se observarían, si se eliminara el término de orden cero del espectro de Fourier.

En la figura 14 se ilustra un ejemplo de los resultados obtenidos del filtrado combinado de frecuencias y sobre tiempo normal, de una sección sísmica; debe compararse con la sección no procesada que se muestra en la figura 9.



**FILTRADO DE FRECUENCIAS ARRIBA DE 47 c.p.s.**



**TRANSFORMADA ORIGINAL**

Fig. 12.—Filtrado de frecuencia óptica. La pauta óptica sin filtrar representa una frecuencia continua con un rango de 20 a 60 c.p.s. El filtrado se complementa al filtrearse las porciones a frecuencias mayores de 47 c.p.s.

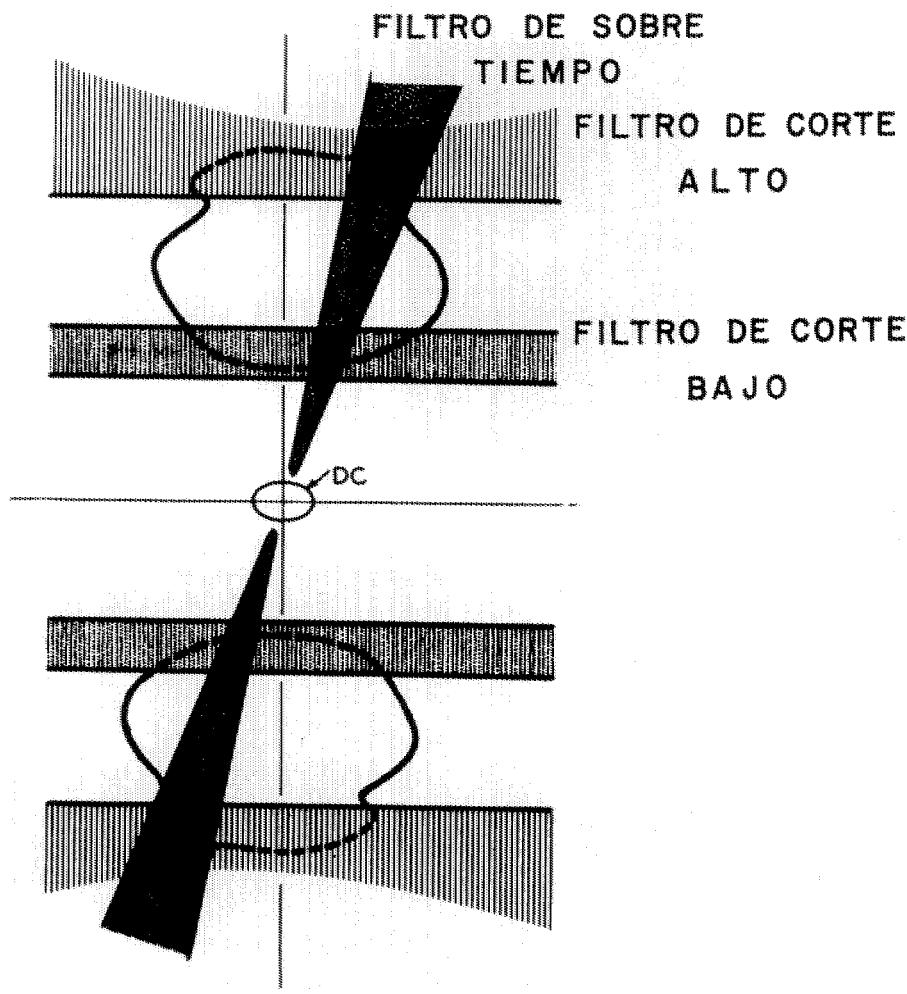
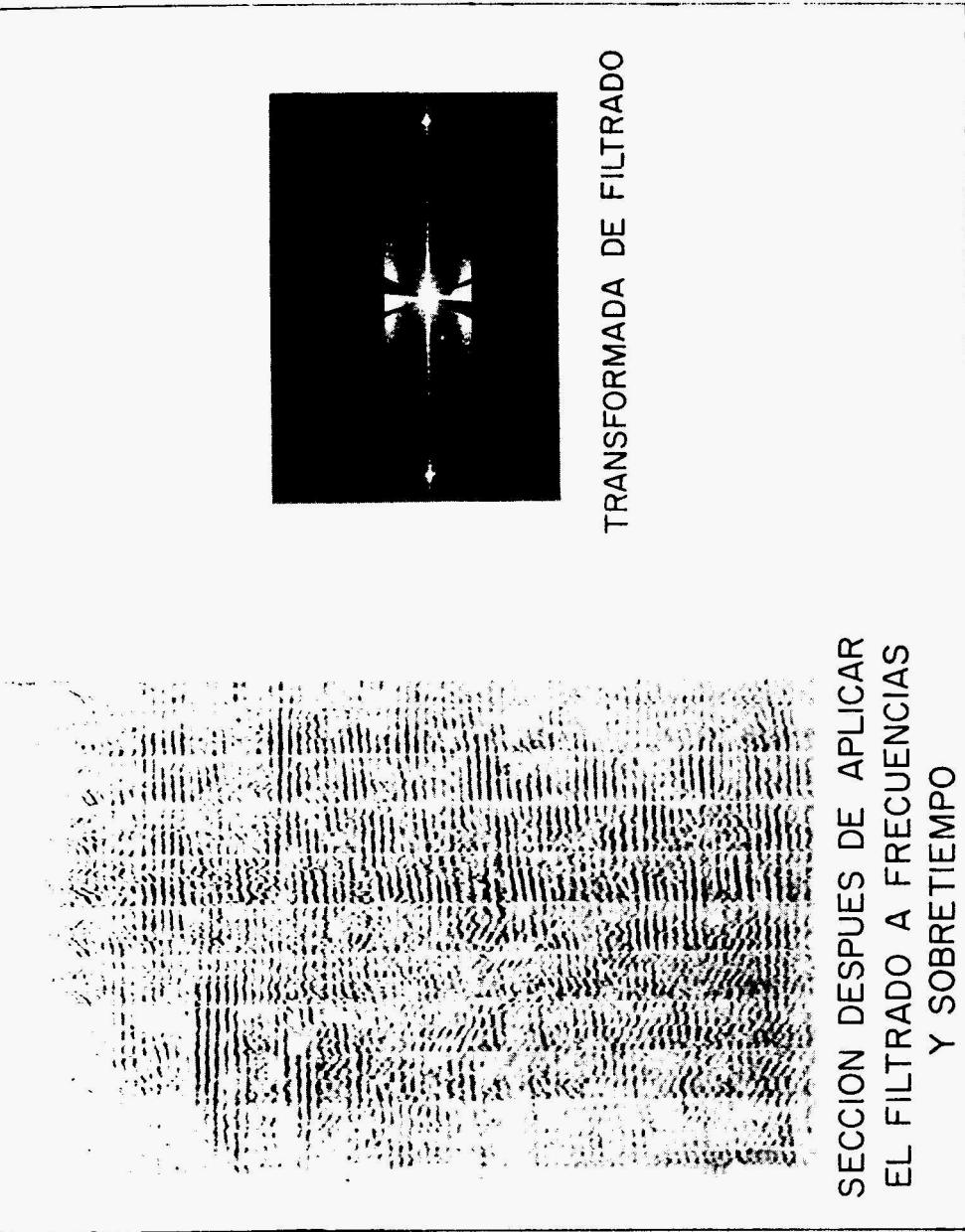


Fig. 13.—Patrón de configuración esquemática para combinaciones de corte alto, corte bajo y filtrado direccional de una sección sísmica hipotética.



TRANSFORMADA DE FILTRADO

SECCION DESPUES DE APLICAR  
EL FILTRADO A FRECUENCIAS  
Y SOBRETIEMPO

Fig. 14.—Resultados del filtrado de la sección de la Fig. 9 para frecuencia y sobretempo normal por eliminación en el plano de la transformada. Notese la evidencia de discordancia difícilmente observable en la sección no procesada.

La transformada de la figura 9 se obstruyó con cuñas, que eliminaron todos los buzamientos hacia la derecha, desde 6 hasta 27 grados y todos los buzamientos hacia la izquierda, desde 18 hasta 23 grados, así como todas las frecuencias superiores a 26 cps.

Los eventos de mayor pendiente eliminados por este filtrado, oscurecían, originalmente, los eventos de reflexión más profundos. Ahora, se revela una discontinuidad, que era difícilmente observable en la sección no procesada. En las secciones subsiguientes de este trabajo, se mostrarán otros ejemplos de este tipo de filtrado.

## I N S T R U M E N T A C I O N

La Conductron Corporation de Ann Arbor, Michigan, ha construido el dispositivo interno o "configuración", del equipo usado, para hacer el filtrado de sobretiempo normal y de frecuencia, de los datos sísmicos que se describe en este artículo. Fundamentalmente, es un filtro espacial óptico bidimensional, cuya fuente es un laser de gas neón-helio; está provisto de un soporte para montar las transparencias de entrada, dispuestas para el filtrado de datos en varios planos de frecuencia, y salida, ya sea visual, fotográfica o electrónica.

## F U E N T E D E L U Z

La fuente de luz deberá ser, de una naturaleza tal, que los frentes de onda difractados por la transparencia de la sección, sean planos y con un alto grado de coherencia espacial. Tal coherencia debe mantenerse, para evitar la difusión del patrón de la transformada y para agudizar el corte del filtrado usado, tanto en el filtrado direccional como en el de frecuencias, esto permite, el uso de valores de corte finitos, para los varios pasos y evita la distorsión del patrón de difracción en el plano de la transformada.

Independientemente de la longitud de onda que se use, es solamente deseable que la fuente de luz sea monocromática. Cualquier fuente de luz que tenga variedad de longitudes de onda, introducirá considerables aberraciones cromáticas, que tendrán un efecto perjudicial en la fidelidad de la reproducción. Como la escala de la deflexión observada, en el plano de la transformada, es directamente proporcional a la longitud de onda de la luz; la luz no

monocromática, originaría una falta de definición de los datos en el plano de la transformada, lo que haría imposible el filtrado preciso de las frecuencias. La luz monocromática puede producir efectos no deseables, ocasionados por polvo o por imperfecciones dentro o sobre las lentes. Se obtienen también tales efectos, cuando se usan fuentes de luz no monocromáticas, pero son menos notables, porque están disimulados por la pérdida de precisión en los datos resultantes.

Para tener coherencia espacial en un haz de luz, debe limitarse la fuente a un tamaño útil, por medio de un orificio muy pequeño de algún tipo. Inherentemente, un laser genera luz, que tiene un alto nivel de energía, que se concentra en un punto de tamaño apropiado para una operación óptima. Así, el laser tiene una ventaja natural, y es que puede utilizarse toda su energía, sin la atenuación que se ocasiona en otras fuentes de luz, al pasar por un orificio pequeño. El nivel de iluminación disponible deberá ser suficientemente grande, para soportar, si es necesario, pérdidas por el uso de una variedad de filtros y aún conservar las variaciones en los niveles de contraste y densidad de los datos originales. Ninguna otra luz diferente a laser, da suficiente intensidad, para soportar cualquier atenuación que pueda ocurrir en el filtrado y aún permitir visualizar o registrar la salida. Por ejemplo, la fuente de luz competidora más cercana, es probablemente, la lámpara de arco de mercurio concentrado, de 100 watts, condensada, al pasar por un orificio muy pequeño. Con esta fuente de luz se encontrará que la agudeza del filtrado, en el plano de la transformada, es sólo aceptable, en tanto que la luz que llega a la imagen reconstruida, es adecuada, solamente para el trabajo visual.

#### D I S E Ñ O B A S I C O

Un filtro óptico bidimensional sencillo, puede construirse como se aprecia en la figura 15. En esta configuración, un laser está provisto de un convertidor de colimación, que ensancha el haz emergente, lo suficiente para cubrir el área de la transparencia de entrada, la cual está montada en un soporte especial. La primera lente objetiva, se usa para producir un patrón de difracción, o transformada de Fourier bidimensional, de la transparencia. La transformada se enfoca en el plano del filtro espacial. Un segundo objetivo, efectúa una segunda transformada de Fourier de la transformada original, dando una reconstrucción de la transparencia de la sección sísmica original, exceptuando cualquier información que se haya eliminado por el filtrado espacial. La imagen reconstruida que aparece en la posición de la película final,

puede ser fotografiada, o bien, puede ser examinada visualmente sobre una pantalla.

El equipo, tal como lo ha construido la Conductron Corporation y al que se le ha dado el nombre comercial de LaserScan, opera de acuerdo con el principio mostrado en la figura 15; pero está provisto de lentes adicionales, para facilitar y diversificar las operaciones de filtrado. Si estas lentes no se usan, las lentes básicas deberán tener distancias focales muy grandes, con objeto de producir un plano de frecuencia, suficientemente amplio, para que se pueda lograr un filtrado adecuado. Para evitar este inconveniente, se utiliza una lente, que amplifica el plano de la transformada por un factor de 4 ó 5. Esto da un espectro de frecuencias suficientemente grande, de tal manera, que pueden construirse filtros de tamaño conveniente, y ser manipulados con facilidad. También se le preveé de una lente amplificadora de la imagen, para que la imagen final, pueda ser amplificada al tamaño deseado en la placa fotográfica o en la película final. Pueden insertarse lentes adicionales para que, ya sea la imagen procesada, o bien, el plano de la transformada, puedan visualizarse con un microscopio, sin usar la cámara.

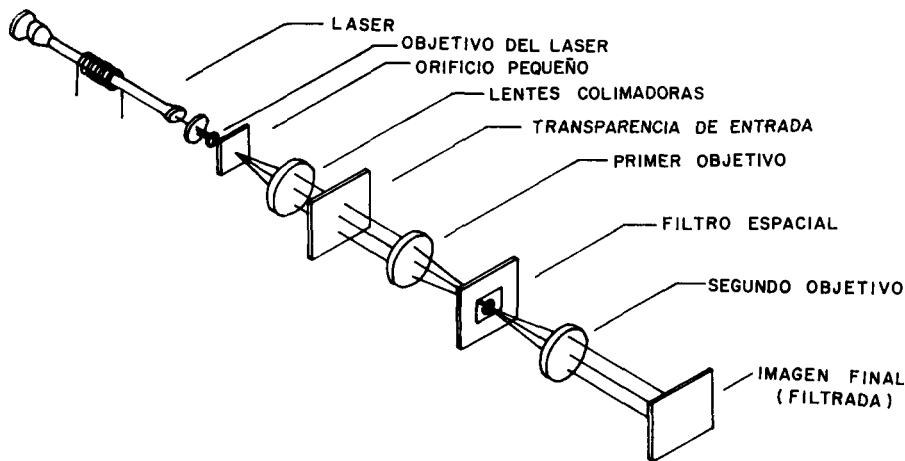


Fig. 15.—Esquema de un filtro óptico bidimensional usando *laser* como fuente luminosa.

#### D E T A L L E D E L D I S E Ñ O

La figura 16, muestra un diagrama esquemático de nuestro equipo de filtrado óptico. El laser suministra la luz coherente en forma de un angosto

haz casi colimado. Un convertidor colimador, que consiste en un objetivo microscópico, un pequeño orificio y una lente colimadora, aumenta la sección transversal del haz de laser, a un tamaño tal, que iluminará uniformemente el plano de la transparencia. La transparencia de entrada está contenida en un bastidor ajustado por su base entre unas placas de vidrio, de tal manera, que la transparencia puede ser "laminada" en un baño de aceite.

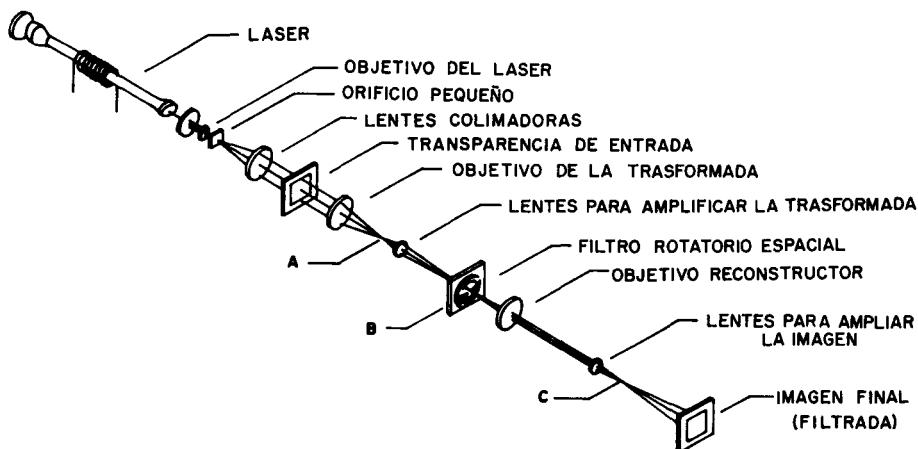
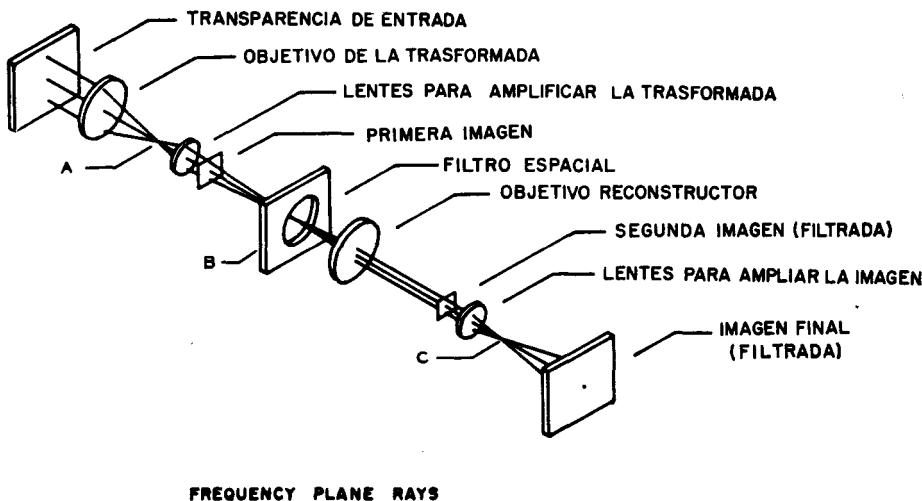


Fig. 16.—Diagrama esquemático de un sistema completo LaserScan.

El objetivo de la transformada, produce el primer plano de frecuencia, en *A*. La lente amplificadora de la transformada, aumenta el espectro en *A* por un factor de 4, en el plano *B*. El objetivo de reconstrucción, forma una imagen de la transparencia de entrada, la cual es aún pequeña. Esta, es amplificada por una lente y se obtiene lo que en la figura se designa como la imagen filtrada.

Las figuras 17 y 18, explican más claramente, la sección de filtrado entre la transparencia de entrada y la imagen filtrada final. En la figura 17, trazamos los rayos de plano-frecuencia, para mostrar los puntos de cruzamiento en *A*, *B* y *C*, en cualquiera de cuyas posiciones, puede ser hecho el filtrado de frecuencias. Las tres posiciones son, de hecho, usadas para diferentes propósitos. Debido a que el espectro de frecuencia, enfocado en *A* y en *C* es pequeño y el espectro en *B* es amplio, todos los filtrados direccionales se efectúan en *B*. La posición *A* se emplea para filtrado de paso alto, paso de banda

o paso bajo, usando alambres o laminillas afiladas para obtener precisión de filo, quedando la posición *C*, disponible, como una posición de filtro de paso bajo, si es que *A*, se necesita para filtrado de paso alto o de paso de banda. El filtro espacial direccional en la posición *B*, está provisto de una escala graduada giratoria, sobre la que están montados filtros direccionales en forma de abanico, o cuñas, colocados a 180 grados y dirigidos hacia el centro de rotación. Esos indicadores, bloquean efectivamente, aquellas porciones del patrón de difracción, que corresponden a alineamientos en la transparencia de entrada, que caen dentro de un rango de direcciones perpendiculares a aquéllas comprendidas entre los bordes respectivos de los propios indicadores. Todas las otras líneas pasan sin afectarse. Girando la escala, gira el indicador, permitiendo el filtrado direccional con el eje del indicador en cualquier azimut deseado.



FREQUENCY PLANE RAYS

Fig. 17.—Trayectoria de rayos originándose en varios puntos sobre la imagen de entrada, que convergen en un punto en el plano de frecuencia.

La figura 18, es la misma que la figura 17, excepto en que se dibujan los rayos, que construyen la imagen, en lugar de los rayos del plano de frecuencia. Esto demuestra que la transparencia de entrada, se repite tres veces como imagen. Cualquiera de esos planos de imagen, puede observarse con la ayuda de un microscopio.

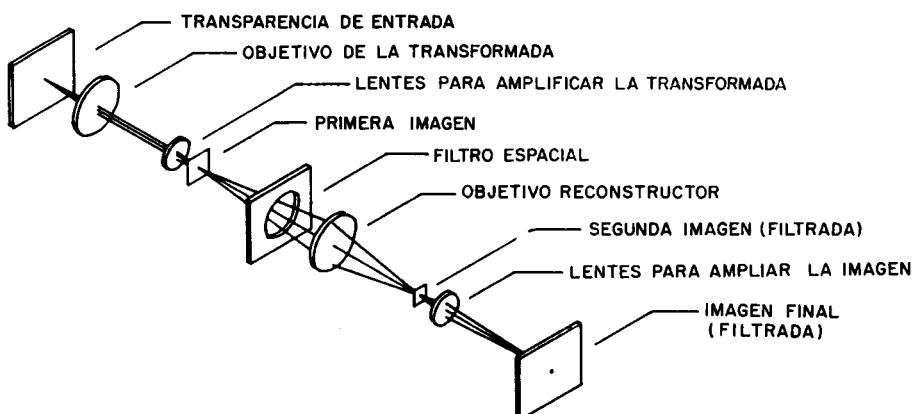


Fig. 18.—Trayectoria de rayos originándose en un solo punto de la imagen inicial y proyectada hacia el plano de frecuencia.

La figura 19 es una fotografía de la unidad completa, sin la cubierta. Se notará que los elementos del sistema óptico, están provistos con montaduras de aluminio fundido, premaquinadas, para centrarse en el eje óptico. El banco óptico, es una barra de acero cuidadosamente maquinada, recubierta de cromo y apoyada en ocho puntos por montaduras de cuña, las que, a su vez, están sostenidas por amortiguadores en tres puntos, sobre la mesa que sostiene todo el aparato. Cada grupo de lentes o, cualquiera otra pieza, tal como el soporte de las transparencias o de los filtros, pueden quitarse o insertarse, sencillamente aflojando el sujetador universal. Los grupos de partes son colocados con exactitud, por medio de una articulación en forma de llave de mariposa, que está sobre el lado adyacente del banco óptico. El enfoque final, exacto, se obtiene por medio de un micrómetro, colocado en la lente de ampliación de la imagen, el cual está situado al frente de la cámara.

La figura 20 que es una vista de la sección de iluminación, muestra: el laser, el objetivo del microscopio y el ensamblaje del orificio, las lentes colimadoras, la abertura bidimensional para encausar la luz y el retén ajustable de la transparencia. Este conjunto está diseñado, para iluminar uniformemente la transparencia de entrada, con un frente de onda plano de luz coherente.

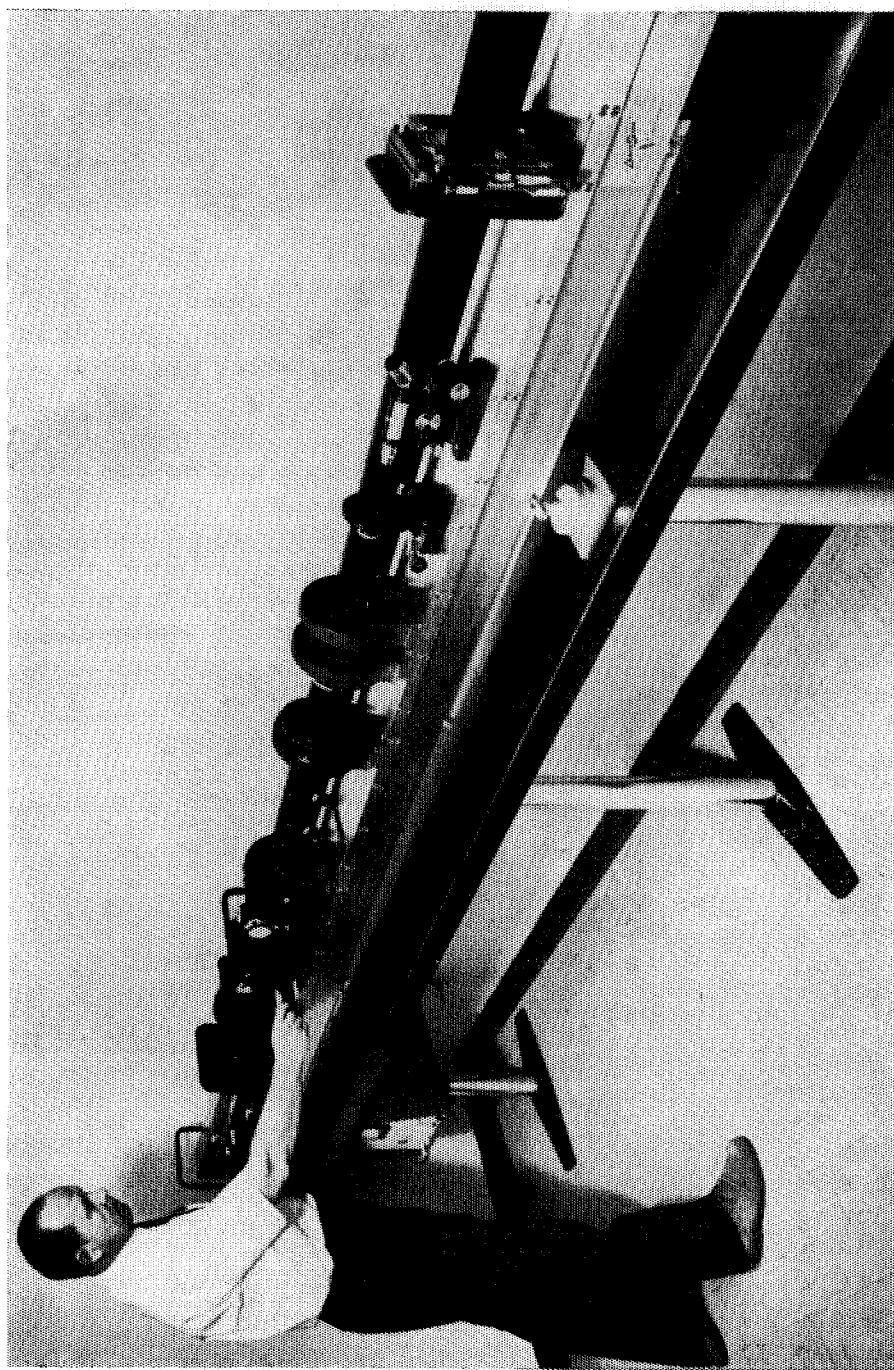


Fig. 19.—Nuestra unidad en operación.

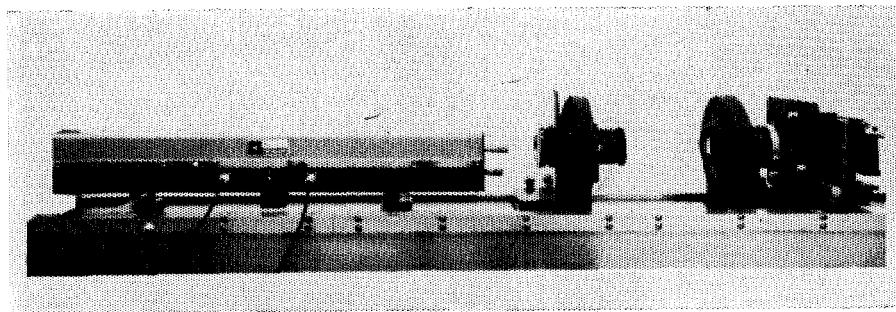


Fig. 20.—Sección de iluminación para nuestra unidad, incluyendo láser, junta ranurada, lentes colimadores, apertura bidimensional y retén ajustable para transparencias.

La figura 21 muestra la sección de reconstrucción, comenzando con el filtro espacial y siguiendo con el objetivo de reconstrucción, la lente amplificadora de imagen y el respaldo de la cámara. Como se estableció previamente, la imagen obtenida por el objetivo de reconstrucción es, en general, muy pequeña para tomar una fotografía ordinaria y se necesitaría una emulsión fotográfica especial. Sin embargo, la lente amplificadora de la imagen, produce en la cámara, una imagen que es suficientemente grande, para obtener una fotografía final adecuada, con los materiales usuales.

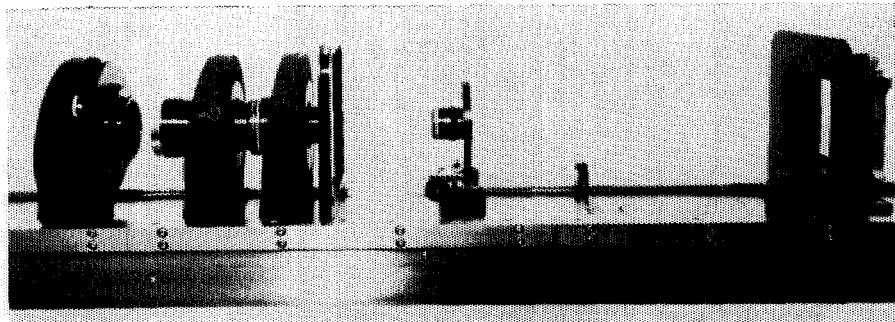


Fig. 21.—Sección constructora para nuestra unidad, incluyendo filtrado rotatorio espacial, objetivo de reconstrucción, lentes amplificadores de imagen, y respaldo de la cámara.

La figura 22 muestra el filtro de frecuencias usado para eliminación de banda. Está diseñado para obtener placas especiales, ajustadas con alambre muy fino. Se tienen dos placas, cada una con un alambre, colocando estos,

paralelos entre sí. La separación entre alambres, está controlada por una de las dos perillas estriadas, que están en la parte superior del ensamblaje. La otra perilla, controla la altura promedio del par de alambres. Ajustando convenientemente, la separación y el centrado de los alambres, sobre los datos de frecuencias, puede eliminarse cualquier banda de frecuencias. Se dispone de alambres de varios diámetros, para el propósito de poder bloquear diferentes amplitudes de bandas de frecuencias. Para el filtrado de corte alto, puede montarse una pareja de placas, limitadas por filos en el interior, en lugar de las placas que sostienen los alambres. Las mismas perillas se usan para mover las placas. La posición de los filos está indicada en la carátula, la lectura de la cual, puede calibrarse en términos de frecuencia.

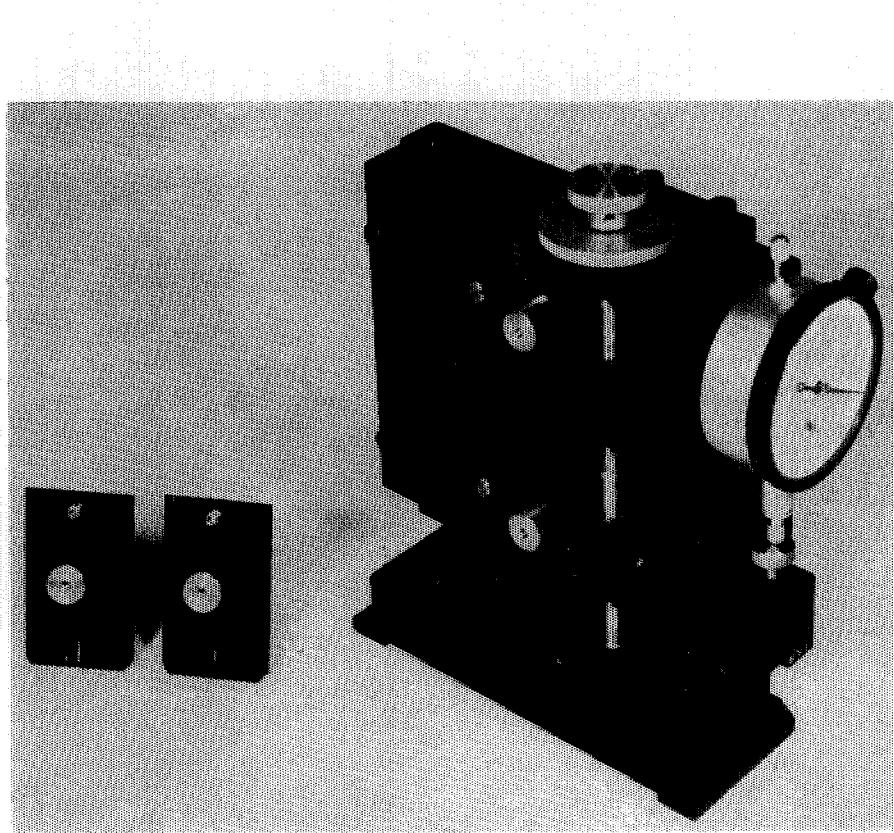


Fig. 22.—Filtro de frecuencia. Retenedor como se muestra conteniendo alambres para filtrado de paso de banda o paso alto. Láminas para filtrado de paso bajo (izquierdo) están designadas para reemplazar los alambres en el retén.

La figura 23, muestra el filtro direccional rotatorio. Tiene una escala giratoria graduada, que está provista de un soporte moldeado, que se ajusta al banco óptico. Cuñas metálicas delgadas o indicadores (abanicicos), señalando hacia el centro, tal como se muestra en la figura, se insertan en un retén de filtros desmontables. El ángulo de cada cuña, corresponde al rango total de ángulos que van a eliminarse en el filtrado y se tiene disponible, una amplia selección de filtros, cada uno con un ángulo diferente.



Fig. 23.—Retén de filtro rotario espacial. El disco graduado está designado para que la celdilla y el retén se inserten en el centro del orificio. Los filtros acuñados accionan dentro de la celdilla y están sujetos a su sitio por el retén.

El bastidor del filtro, se compone de dos partes, que consisten en una celda de filtro y un retén, cada uno de los cuales, tiene prisioneros que sujetan los filtros espaciales. Si se usan dos filtros espaciales a la vez, uno puede girarse respecto al otro, simplemente girando el retén con respecto a la celda. El bastidor del filtro, es insertado en la escala giratoria y engrana un prisionero en la escala, para colocarlo en una dirección en que pueda girar. Cuando se usa, puede girarse toda la escala, o bien, puede fijarse en una posición mientras se gira el retén, afectando solamente la posición de uno de los dos filtros.

La figura 24, muestra el filtro de paso bajo extra, que es introducido cuando el filtro de la figura 22, es usado para filtros de paso alto o paso de banda, requiriéndose adicionalmente un filtro de paso bajo. Las láminas horizontales, se usan para el filtrado y son ajustables individualmente. Cuando están en su lugar, forman una hendidura horizontal. Por las razones previamente explicadas, el filtro de eliminación y el filtro de paso bajo, están ambos orientados para realizar su filtrado en la dirección vertical.

Un microscopio permite la observación visual del plano de frecuencias y de la imagen reconstruida, haciendo posible, seleccionar la mejor orientación de los filtros, rotatorio y de frecuencias, con un alto grado de sensibilidad. También puede usarse un sistema de televisión de circuito cerrado para control visual. Si se elige esta alternativa, se intercala una cámara de televisión en el sistema óptico, en lugar del microscopio.

## PROCESADO DE SECCIONES SISMICAS

### *Datos iniciales.*

Cualquier tipo de sismograma o de sección sísmica, en las que eventos tales, como picos de reflexión, están representados en forma de líneas, pueden ser reducidos a una transparencia filmica y usarse como datos de entrada para el sistema óptico. Las líneas no necesitan ser continuas (por ejemplo el alienamiento de picos, que corresponde a un reflejo en un registro de área variable, por lo general está interrumpido entre canales sucesivos). Las secciones presentadas en área variable o en densidad variable, son igualmente conve-

nientes como datos de entrada, si se han modulado adecuadamente. Las secciones combinadas también pueden ser procesadas; pero las líneas galvanométricas actúan como ruido, que puede alterar la apariencia (aunque no necesariamente la utilidad) de la sección filtrada. Por otra parte, los registros o secciones convencionales, no se pueden usar, porque a diferencia de las de área variable o de densidad variable, los alineamientos reales no se extienden predominantemente en las direcciones seguidas por eventos de reflexión y por otros alineamientos significativos en las secciones.

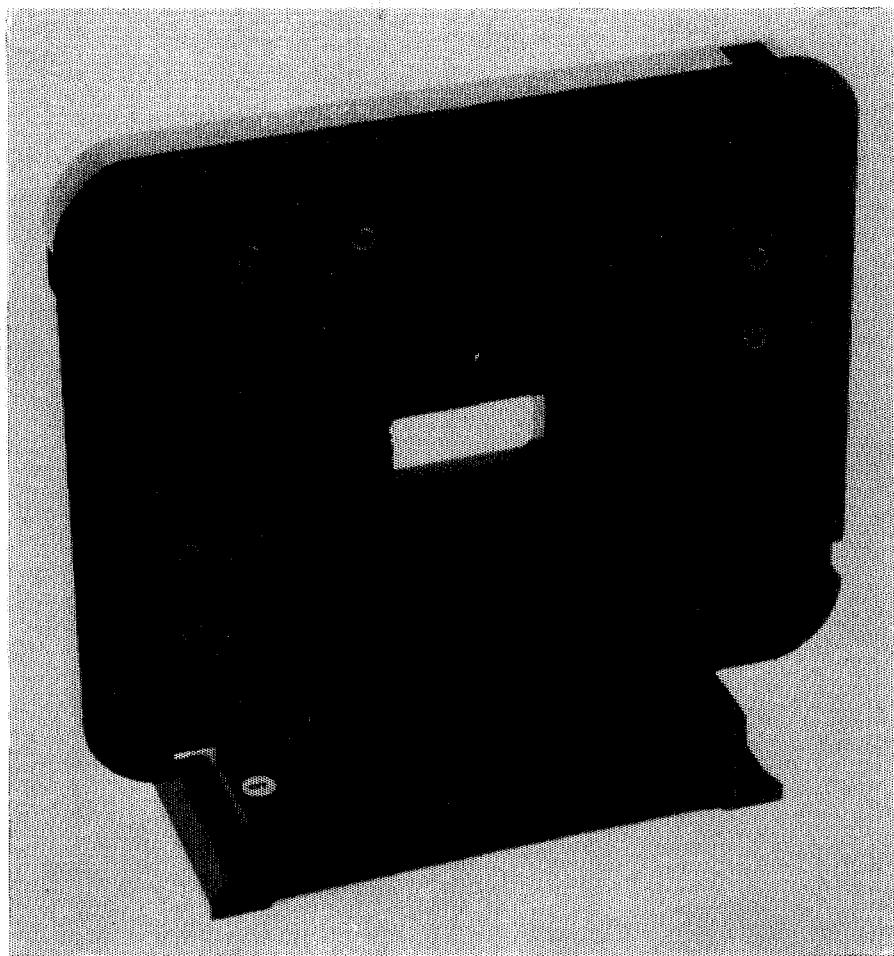


Fig. 24.—Filtro de paso extra, para ser usado en el tercer plano de la transformada, cuando el primer plano de la transformada se utiliza para filtrado de paso alto o paso de banda.

La escala de reducción, al ser usada cuando la sección sea transferida a la película de 35 mm., dependerá de tres factores: en primer lugar, los eventos sísmicos por filtrar, no deberán tener una frecuencia espacial que sea menor de 4 líneas/mm. Esta limitación se basa en la relación entre el espaciamiento efectivo de la rejilla y la longitud de onda de la luz laser ( $6,328 \text{ \AA}$ ); de la geometría de las trayectorias ópticas y, del punto de partida de entrada del ruido óptico de baja frecuencia. La distancia entre picos sucesivos en un evento de reflexión o de ruido, que tenga la frecuencia sísmica más baja en la sección, es medida en milímetros y la lectura es multiplicada por cuatro, para obtener la escala permisible de reducción más pequeña. El segundo factor, es la limitación impuesta por el diámetro de las lentes y por las dimensiones de otros elementos del sistema óptico, tales como la abertura del bastidor el cual tiene un claro máximo de  $35 \times 27$  mm. Finalmente, la reducción no debe ser tan grande que afecte a la resolución, porque los detalles de interés en la sección, se hayan reducido a un tamaño tal, que su magnitud sea del mismo orden que la del diámetro de los granos en la emulsión de la película.

Generalmente estas condiciones pueden satisfacerse, si el número de perfiles de 24 trazas incluidos en una sección, que va a ser procesada en una operación, es de 0.3 a 0.4 VH, donde  $V$ , es la escala vertical en pulgadas por segundo y  $H$ , es la escala horizontal en pistas o canales por pulgada. Si por ejemplo,  $H = 12$  y  $V = 5$ , una sección que tenga hasta 18 puntos de tiro puede ser procesada como una unidad. Para  $V = 7.5$ , que es otra escala muy usada, pueden incluirse 27 puntos de tiro.

## O P E R A C I O N D E L E Q U I P O

La transparencia está intercalada entre dos placas de vidrio en el bastidor, y con una delgada capa de aceite entre la película y los vidrios, a fin de evitar reflexiones internas indeseables y para emparejar cualquier irregularidad en el espesor de la película. Primero se hace una fotografía de la sección original, sin ningún filtrado óptico, ya sea con Polaroid o con placa, con objeto de que sea posible comparar al mismo tamaño, las secciones procesadas con las no procesadas.

La fotografía de la transformada, constituye la guía más valiosa para el procesado. Aunque los sobretiempos normales claros pueden identificarse y medirse en la sección original, eventos significativos, que son tan débiles como para estar ocultos, bajo eventos superpuestos en la sección misma, pueden ser observables a simple vista, como figuras discretas del patrón de difracción.

Las cuñas para la eliminación del sobretiempo normal, pueden entonces ser seleccionadas, de manera que, por supresión de las señales interferentes, hagan resaltar los eventos que se deseen en las secciones filtradas. Sin embargo, son aún más útiles los datos que suministra la transformada, acerca del contenido de frecuencias de la sección. El rango de frecuencias representado en la sección puede ser medido, para calibración, usando ya sea los puntos a lo largo del eje que indican la separación entre canales, o bien las líneas de tiempo. Frecuentemente, el patrón de la transformada está compuesto de varias bandas de luz, más o menos elípticas, estando separada cada elongación horizontal, por bandas horizontales obscuras. Generalmente, las diferentes manchas, corresponden a diferentes fuentes de energía. En las transformadas que muestran dos de esas manchas, la concentración interior (baja frecuencia), de luz, puede representar reflexiones y la concentración exterior (alta frecuencia), puede corresponder a ruido superficial. Cuando éste es el caso, es deseable colocar las láminas que dan precisión de filo, en la ventana de corte preciso de frecuencia, de tal manera, que coincidan con la línea oscura que separa las dos manchas de luz.

El control visual, es el procedimiento más útil para determinar las combinaciones óptimas del filtro, para ambos, sobretiempo normal y frecuencia. Esto puede hacerse a simple vista, usando el microscopio que está situado a lo largo del banco óptico o, alternativamente, por un sistema de televisión de circuito cerrado con cámara y pantalla. El control visual de fotografía polaroid, que puede hacerse y procesarse en menos de medio minuto, es usualmente el más satisfactorio, porque se tiene un registro permanente de los efectos de varios arreglos de filtrado, para su comparación con otros.

El control visual hace posible la aplicación de técnicas de "ensayo y error", con una gran variedad de diferentes arreglos de filtros. Si por ejemplo, en una sección sísmica se sospecha la presencia de reflexiones múltiples de una clase indeterminada, una primera aproximación útil sería comenzar con una cuña, eliminando digamos, 10 ó 15 grados de sobretiempo normal. Observando en el microscopio o en la pantalla de televisión, la sección filtrada resultante, el geofísico gira la cuña de eliminación de sobretiempo hasta colocarla en la porción de la transformada correspondiente a la inclinación de los eventos que van a eliminarse. Cualquier alineamiento superpuesto a los eventos así eliminados, ahora podrá verse. Con este procedimiento, pueden descubrirse eventos primarios, ocultos por eventos múltiples intensos. Frecuentemente eliminando un evento que interfiere a una reflexión deseada, se descubre otra clase de interferencia en otra dirección diferente, la que inicialmente no era visible. Ahora, ésta debe ser eliminada, introduciendo una nueva cuña de eliminación de sobretiempo. Teóricamente, no hay límite al número de

elementos diferentes de eliminación de sobretiempo que pueden introducirse a la vez, excepto, por la capacidad mecánica del bastidor giratorio especial, en el que se insertan los elementos y por el límite de resolución del sistema óptico.

El filtrado de frecuencias es controlado visualmente en la misma forma que el de sobretiempo normal, aunque el criterio básico para decidir si se usa filtrado de corte alto, de corte bajo o corte de banda, usualmente se basa en el estudio de la transformada. Las óptimas posiciones de corte, para cada tipo de filtro de frecuencia, introducidas de esta manera, también son determinadas mediante un ajuste de "ensayo y error", cuando el geofísico controla visualmente la salida.

Después de que se han obtenido por medio del control visual las posiciones del filtro óptico, la figura resultante, se fotografía en una película de  $4 \times 5$  pulgadas. De ésta, se pueden hacer amplificaciones a cualquier tamaño deseado. Las amplificaciones pueden hacerse en papel o en película, siendo esta última la más adecuada, si se necesitan muchas copias.

### EVALUACION DE LOS RESULTADOS

*Efectos de la eliminación excesiva de sobretiempo.*—El filtrado óptico de sobretiempo, del mismo modo que con las técnicas equivalentes del filtrado eléctrico de sobretiempo, tales como las descritas por Embree et al. (1963) y Fail y Grau (1963), implica un efecto de ampliación, el cual aumenta en intensidad efectiva, cuando el rango de ángulos de sobretiempo que pasa por el sistema se hace muy angosto.

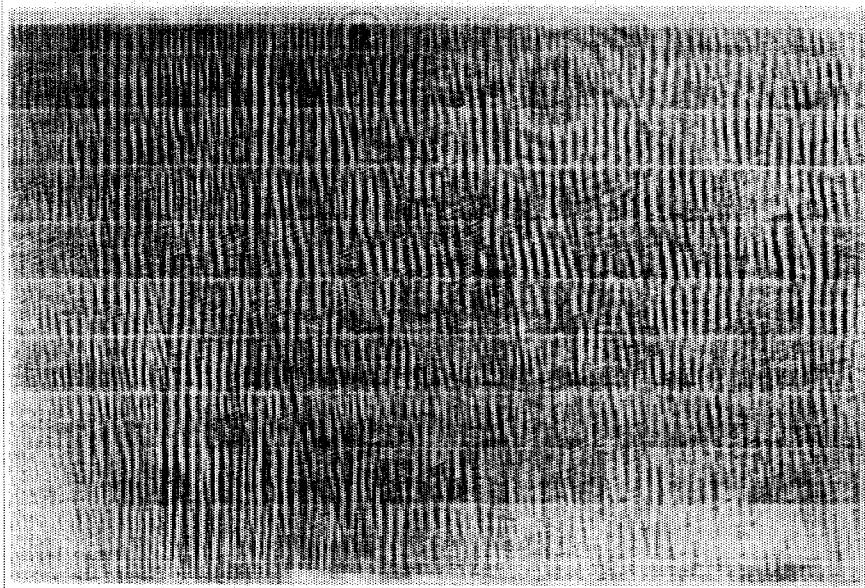
Mientras más grande sea el ángulo total de eliminación óptica (ya sea con una sola cuña o con una combinación de cuñas individuales), más pequeño es el rango de inclinaciones que pasan y más pronunciado es el efecto de ampliación observable en la sección filtrada. Las reflexiones reales, filtradas con cuñas grandes, tienen un efecto anormal de aplanamiento, que es familiar a quienes han trabajado con sismogramas convencionales o secciones de ellos, en los que se ha empleado un fuerte mezclado eléctrico o electrónico no usual. La distorsión introducida por ángulos de eliminación excesivamente grandes, se ilustra en la figura 25, que es la sección mostrada en la figura 9, después de que se ha filtrado con dos cuñas de 50 grados, colocadas a través de la transformada, con sólo una abertura de 24 grados entre ellas. Tales efectos indican que es muy grande el ángulo total de eliminación y sugieren que se ensayan cuñas más pequeñas.

Otro efecto adverso de las cuñas de eliminación excesivamente grandes, es la aparición de líneas paralelas en la sección, con ángulos algo mayores que el ángulo mayor en la cuña de eliminación y algo más pequeñas que el ángulo más pequeño. Estas líneas generalmente aparecen como acentuaciones de eventos de ruido o alineamientos casuales presentes en la sección no procesada, los que al acaso, se alinean en la dirección en la que la orientación de la cuña las refuerza. Cuando se giran las cuñas, nuevos eventos corresponden a la nueva posición. En tanto más fortuita sea la orientación del ruido en la sección, más acentuado será este efecto. Las razones de la aparición de estos alineamientos "acuñados", aún no se han entendido completamente.

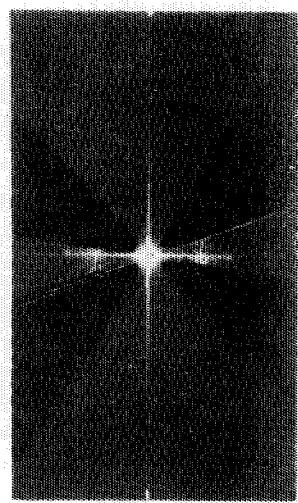
Las líneas que así aparecen, son más débiles que los eventos de reflexión sísmica y es muy improbable que sean confundidas con las reflexiones verdaderas. Si los ángulos de las cuñas se mantienen tan pequeños como sea posible, difícilmente se notarán estos alineamientos. La figura 14, con un ángulo total de eliminación relativamente pequeño, muestra tales alineamientos buzando fuertemente hacia la derecha. Estos tienden a ser menos notables en comparación con las reflexiones. La figura 25, con una mayor eliminación, muestra líneas similares que buzan más levemente hacia la izquierda. Debido a la mayor eliminación, estos eventos son muy prominentes y posiblemente pueden hacer confusa la interpretación.

*Resolución y Precisión.*—La precisión con la que pueden leerse los eventos, depende de la cantidad de filtrado que se haya hecho. Por su naturaleza misma, el filtrado de frecuencias de corte alto, disminuye la resolución de los eventos sísmicos. Igualmente, un ángulo grande de eliminación de sobretiempo, reducirá la exactitud de los picos sísmicos, debido a los efectos de aplanamiento o redondeo, del tipo previamente discutido.

*Rango Dinámico.*—La limitación principal del procesado óptico, está en el rango dinámico del registro fotográfico en la sección original. El rango dinámico depende del contraste de la película o del papel, del nivel de la coloración (que en gran parte se asocia con las técnicas de revelado), la pendiente de la curva Hurter-Druffield de la película o del papel, y la posición del rango de exposición, con respecto a la porción lineal de esta curva. Mediciones densitométricas hechas en un cierto número de secciones típicas de densidad variable, tomadas en película, mostraron un rango de contrastes de densidad de 17 a 29.5 db. Con un cuidado extremo en la toma de la fotografía pueden obtenerse hasta 40 db. Se tienen en proceso trabajos de investigación, tratando de aumentar el rango dinámico potencial, mediante el uso de una nueva forma de modulación de área variable.



TRANSFORMADA FILTRADA



## SECCION DESPUES DE LA ELIMINACION DIRECCIONAL GRAN-ANGULAR

Fig. 25.—Sección de la figura 9 después de una eliminación óptica de todos los bujamiento entre 6 y 56 grados a la derecha y entre 18 y 68 grados a la izquierda. Notese el efecto amortiguado de los alineamientos y el efecto del "herringbone" (espina de pescado).

## APLICACION A PROBLEMAS DE EXPLORACION

El filtrado óptico se ha usado para resolver una variedad de problemas que se han encontrado en las secciones sísmicas. Básicamente, estos problemas surgen de interferencias que, esconden, oscurecen o confunden la información deseada en la sección. Entre los tipos de tales interferencias encontradas comúnmente en las secciones de sismogramas, están las reflexiones múltiples, ruido progresivo (frecuentemente fragmentado) de origen cercano a la superficie, difracciones producidas por los bordes de fallas profundas, así como irregularidades subsuperficiales similares y, el "repique" o reverberación, que usualmente se observa en secciones marinas, pero que algunas veces también se ha encontrado en trabajos sísmicos hechos en tierra. El procesado óptico hace posible la desaparición de tales eventos con objeto de aislar los alineamientos de los reflejos verdaderos, a los cuales pueden estar cubriendo.

*Reflejos Múltiples.*—Para que el filtrado óptico descubra en los sismogramas originales los reflejos primarios ocultos por los múltiples, deben satisfacerse dos condiciones: los eventos múltiples deben tener distinto su echa-do aparente, o bien, un contenido de frecuencias diferente a aquéllas de las reflexiones primarias, a las cuales cubren en la sección de sismogramas. Además de eso, las amplitudes de las reflexiones múltiples, no deben ser mayores que las de los eventos primarios, en tal forma que la relación quede fuera de límite del rango dinámico (20 — 30 db) del registro fotográfico en la sección ori-ginal.

Debido a que un equipo óptico adecuado, puede discriminar entre líneas que divergen por menos de un grado, se requerirá una combinación de cir-cunstancias fortuitas, que no puedan separarse por medio de esta técnica. La discriminación de frecuencias puede ser más difícil, porque el espectro de cada tipo de reflexión, normalmente contiene armónicas que se superponen. Los coeficientes de reflexión en los contactos de la sección geológica, generalmente son tan bajos, que se requeriría una estratigrafía muy poco común, para que los múltiples tengan una amplitud mayor de 20 db. sobre los primarios de los niveles más profundos, que llegan a la superficie al mismo tiempo. Por todas estas razones, se espera que el filtrado óptico, sea efectivo para destacar la mayoría de las reflexiones primarias, que están ocultas u oscurecidas por los múltiples en la sección no procesada.

Surge la pregunta, que si hay algún medio óptico para determinar, cuál de los dos eventos contradictorios, sea una reflexión primaria y cuál un múltiple. Aún en ausencia de información geológica que pueda resolver este problema, frecuentemente es fácil identificar los múltiples de las relaciones predichas, entre los buzamientos de reflexiones poco profundas y de los múltiples superficiales que aparecen al doble de tiempo en los registros.

Este tipo de razonamiento es particularmente aplicable al ejemplo mostrado en la figura 26, que contiene un tipo simple de problemas de múltiplos. Aquí, los buzamientos a la derecha debajo de una discordancia, son enmascarados por buzamientos que se extienden en forma de abanico a la izquierda. Debe esperarse que estos últimos eventos, sean múltiples de buenas reflexiones superficiales que buzan a la izquierda, en la parte poco profunda de la sección sísmica; mientras que los primeros no pueden ser múltiples de esas reflexiones, porque buzan en dirección contraria.

La figura 27, muestra los resultados obtenidos, eliminando los buzamientos más prominentes a la izquierda, bloqueándolos con una porción, en forma de cuña, en el plano de la transformada, en sentido contrario a las manecillas del reloj a partir de la vertical. También se usó un filtro de frecuencias de corte alto o paso bajo. La información más profunda mejora notablemente en la sección filtrada, con la eliminación de los múltiples que hacían confuso el aspecto de la sección original. En particular, puede uno notar la eliminación del evento múltiple entre 1.5 y 1.8 segs.

Un problema similar, pero más complejo, se muestra en la siguiente sección sísmica de la figura 28. Debajo de la información poco profunda que buza a la izquierda, hay una gran confusión, debido a la existencia de buzamientos contradictorios.

Puede verse que algunos fragmentos de buzamientos a la izquierda que se extienden en forma de abanico y aumentan de inclinación con la profundidad, lógicamente deben identificarse, como reflexiones múltiples.

Como se puede ver en la figura 29, esos múltiples fueron eliminados por filtrado direccional de los eventos en el plano de la transformada, en sentido contrario a las manecillas del reloj, a partir de la vertical. También se usó un filtro de frecuencia de corte alto y una cuña direccional, para eliminar los eventos de ruido que buzaban a la derecha. La sección después del procesado, parece ser que se ha interpretado correctamente.

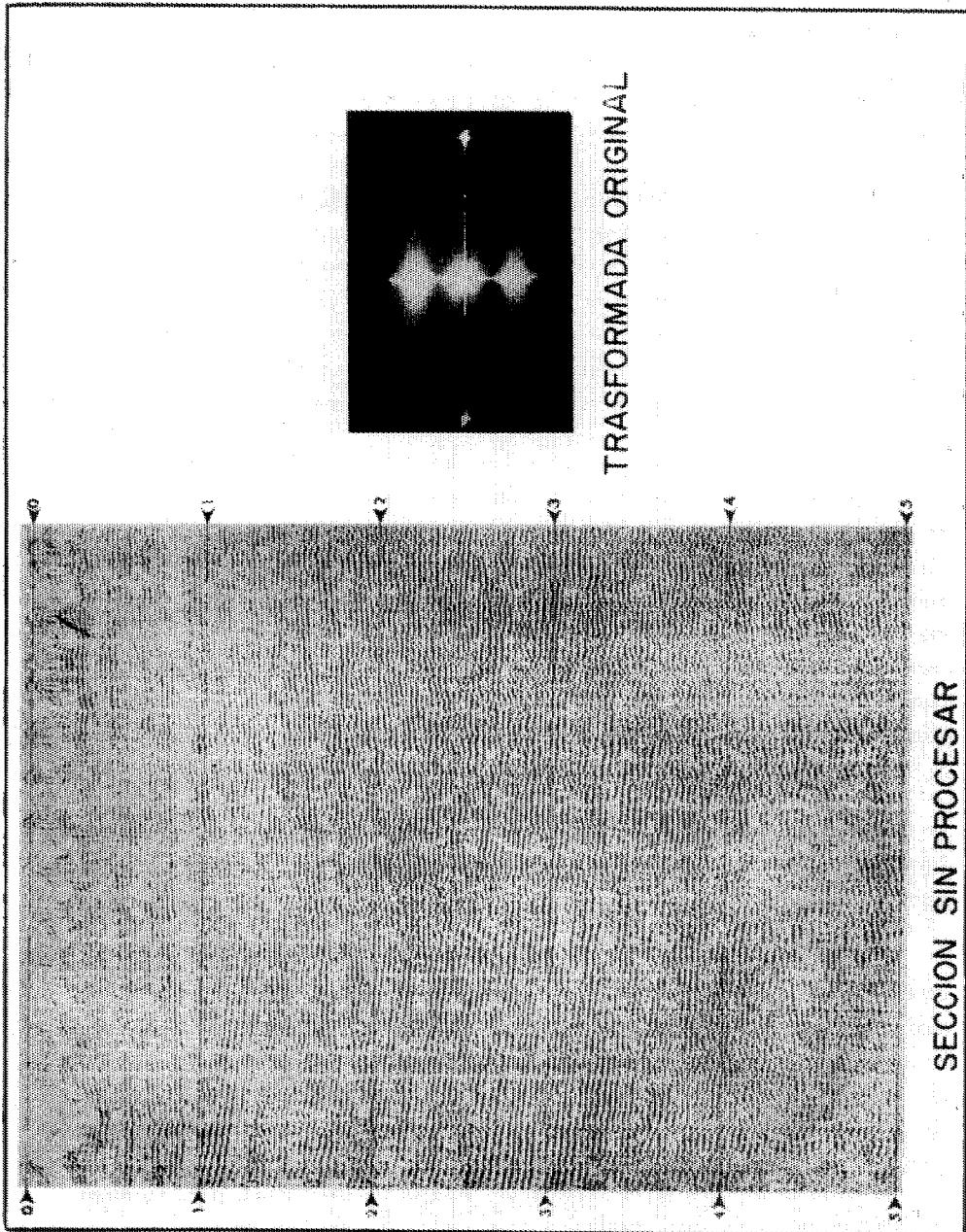


Fig. 26.—Sección sin procesar mostrando buzamientos múltiples a la izquierda, de reflectores superficiales, superyacentes a una discordancia de eventos con buzamientos a la derecha abajo de la discordancia.

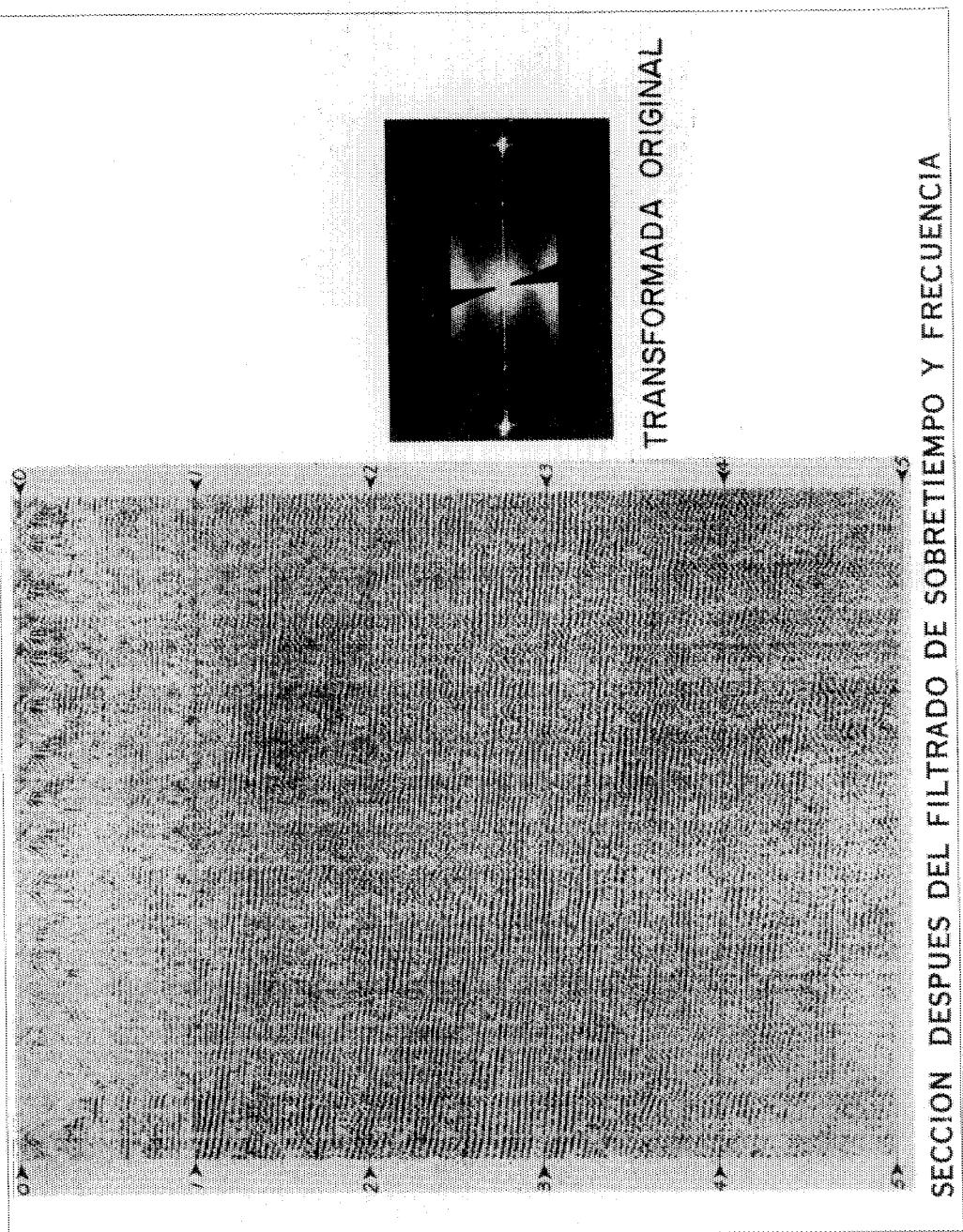


Fig. 27.—Sección mostrada en la figura 26 después de que los buamientos múltiples de la izquierda y las altas frecuencias han sido eliminadas por obstrucción en la transformada, como se muestra a la derecha de la figura.

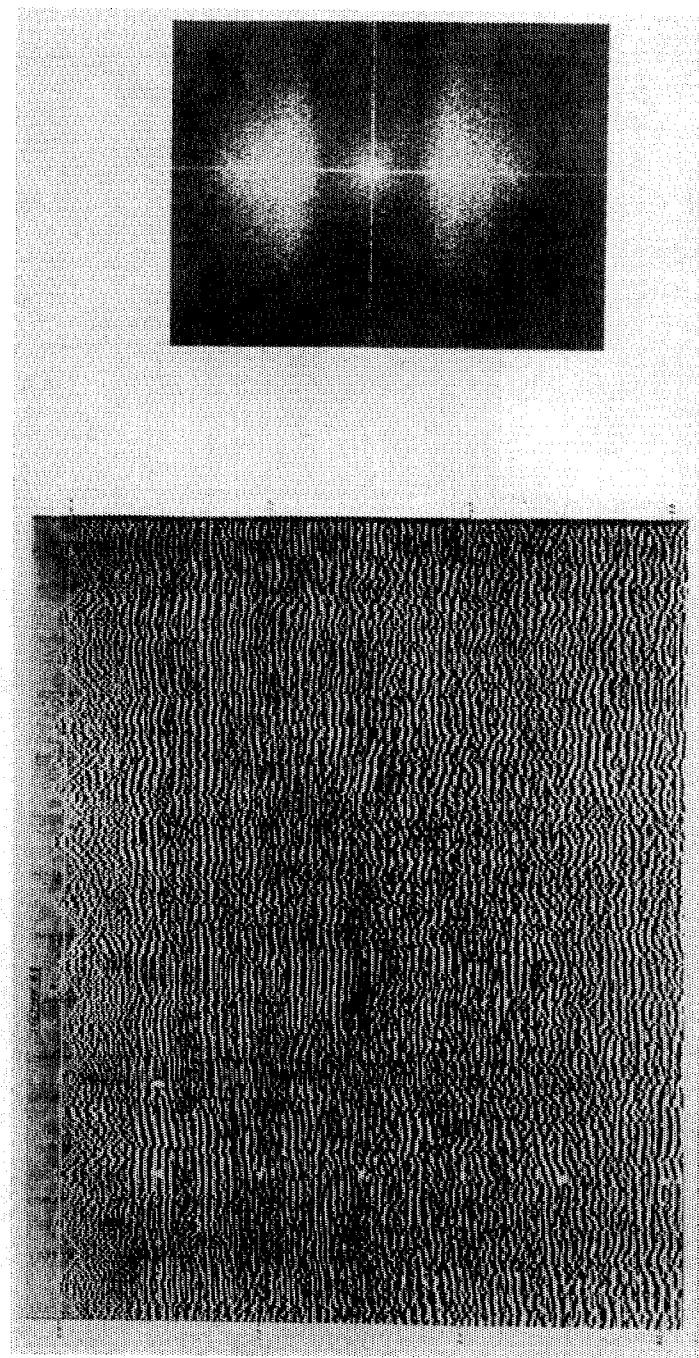


Fig. 28.—Sección sin procesar mostrando un patrón de una estructura confusa abajo de 10 srg.

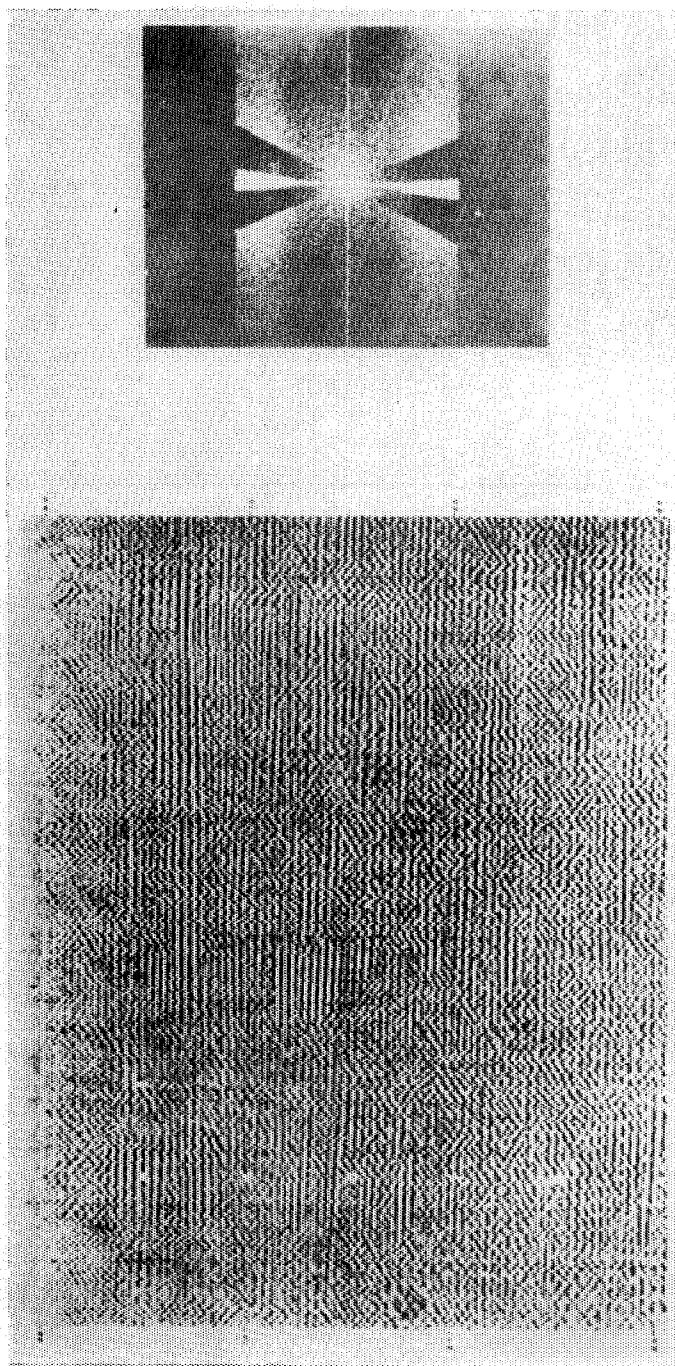


Fig. 29.—Sectores de la figura 23 después de que el ruido y los múltiples se han cancelado al eliminar los buzamientos en ambas direcciones y por filtrado de corte alto.

## RUIDO DE ALTA Y BAJA VELOCIDAD

Un tipo de interferencia que se encuentra frecuentemente en los registros sísmicos, consiste en eventos progresivos, que no siendo reflexiones útiles, se les designa con el término genérico de ruido progresivo. Tales eventos pueden ser: ondas superficiales, ondas transversales, ondas originadas en la cercanía de la superficie, o difracciones debidas a irregularidades de la superficie o cercanas a ella. En algunos casos, hay refracciones reflejadas que han viajado por el contacto de capas de fuerte echado. Frecuentemente tal ruido es fragmentado, siendo observable solamente a través de un número de trazas. Las velocidades aparentes de los eventos, dependen, como es natural, de su origen. Interferencias de este tipo, muchas veces no se reconocen como ruido progresivo y se consideran como ruido incoherente, en cuyo caso, no debe esperarse que el filtrado de sobretiempo o de velocidad, lo elimine de las secciones. Sin embargo, en las secciones sísmicas, raramente se observa ruido verdadero, que no muestre correlación entre varias trazas adyacentes y en virtud de que existe tal correlación, el filtrado de velocidad, deberá mejorar la calidad de los datos.

En la mayoría de las secciones, los eventos de ruido, muestran buzamientos que tienen ángulos mayores que los de las reflexiones primarias. Este hecho comúnmente se puede ver en los sismogramas observados con tendidos muy cortos, que se utilizan para análisis de ruido. En estos, las reflexiones aparecen sin sobretiempo, esto es, como buzamientos planos, mientras que las ondas de ruido progresivo, se identifican por sus sobretiempos grandes, cruzando diagonalmente al sismograma.

Se ha encontrado que el ruido de alta velocidad es común en muchas secciones sísmicas, el cual generalmente confunde las reflexiones débiles o más profundas. Este es uno de los problemas que se muestra en la sección de la figura 28. Pueden apreciarse en esta sección muchos fragmentos de eventos con buzamientos muy grandes, que se supone están relacionados con ruido de alta velocidad.

La figura 30 corresponde a una sección relativamente simple, usada también por Jackson (1965), que ilustra un problema de ruido. La sección muestra alineamientos de ruido de baja y alta velocidad, que interfieren con los reflejos. Las concentraciones de luz a diferentes ángulos en la transformada, corresponden a los elementos de buzamiento predominantes en la sección; eliminando estos elementos con filtros especiales apropiados, desaparecen ambas familias de eventos de ruido, según se muestra en la figura 31. Se notará que no ha desaparecido totalmente la interferencia que buza a la derecha. En la transformada y en la sección, persiste la información de los eventos que buzan a la derecha con ángulos de unos 30°.

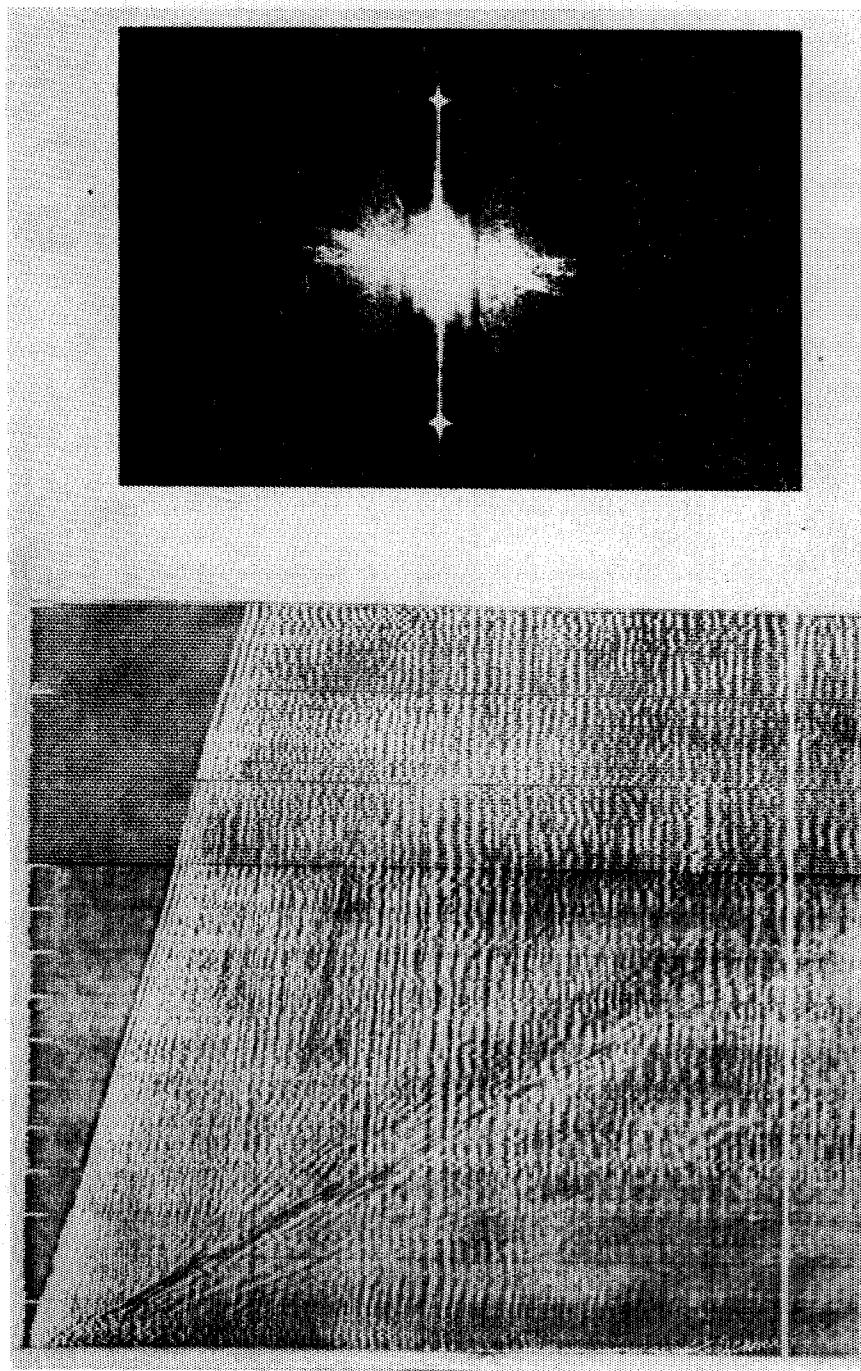


FIG. 30.—Sección mostrando reflexiones cruzadas por ruido de alta y baja velocidad. El ruido de alta velocidad es más claro en la porción media de la sección a aproximadamente 1.3 seg.

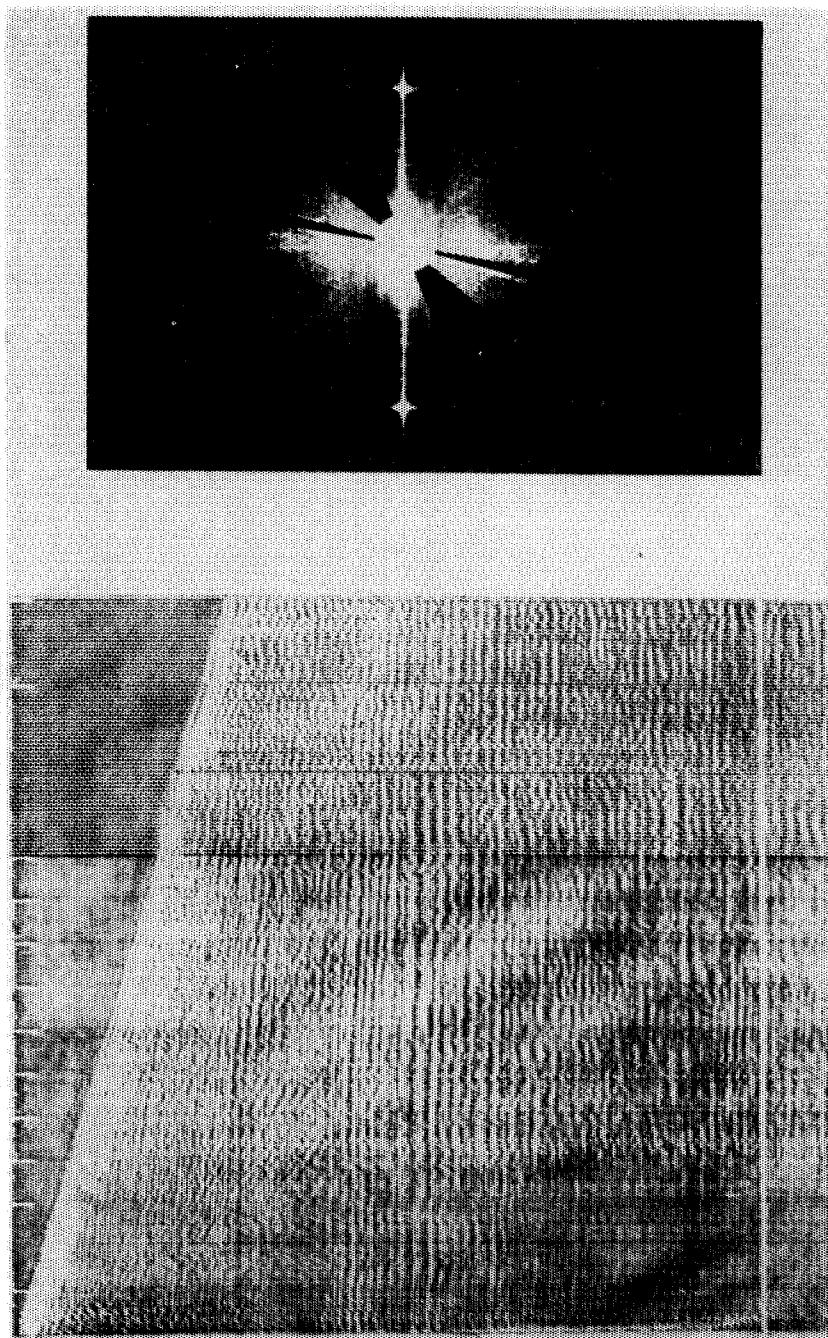


Fig. 31.—Sección mostrada en la figura 30 después de que los eventos de baja y alta velocidad han sido eliminados por filtros apropiados por cuñas.

En efecto, debido a la eliminación de la interferencia prominente, estos alineamientos, que previamente eran menos notables, mejoran considerablemente. Se puede, claro, filtrarlos ampliando las cuñas de eliminación para incluir su ángulo de buzamiento, sin embargo, un ángulo de eliminación tan grande, puede tener como resultado ciertos efectos laterales indeseables, del tipo ilustrado en la figura 25.

En muchos casos, el filtrado óptico se ha usado, principalmente, para la atenuación de eventos de ruido fragmentado, que muestran continuidad lateral limitada. Frecuentemente, este tipo de interferencia, particularmente cuando es de origen superficial, tiene una frecuencia mayor que el de las reflexiones que interfieren; cuando éste es el caso, el filtrado óptico, de corte alto preciso, puede ser excepcionalmente efectivo.

En la sección mostrada en la figura 32, se pensó que no había reflexiones verdaderas con buzamientos mayores de 6 grados (medidos con un transportador). Sin embargo, se observaron fragmentos de alineamientos con buzamientos mayores que éste. Se pensó que estos consistían en su mayoría, en ruido de alta velocidad del tipo discutido antes. En cualquier caso, la eliminación de las componentes de alta frecuencia y de eventos con buzamientos aparentes entre 7 y 19 grados en ambos direcciones, dejan una sección más clara y más útil, tal como se muestra en la figura 33.

**DIFRACCIONES.**—En áreas tectónicas donde hay primordialmente fallamientos y en las observaciones marinas donde hay irregularidades en el fondo del mar, pueden apreciarse en las secciones sísmicas, ondas difractadas debiendo bordes de fallas u otras irregularidades, que son fácilmente identificables y, que además interfieren con las reflexiones. Tales eventos de difracción son útiles algunas veces, para localizar fallas y en esos casos puede ser deseable, eliminar eventos contradictorios y aún reflexiones, con objeto de delinear mejor en la sección, las difracciones y, en esa forma, poder definir con más precisión la posición de la falla.

La figura 34 es una sección sísmica de una área de tectónica complicada, que muestra un gran número de eventos de difracción, particularmente en la porción profunda. Su transformada indica algunas concentraciones interesantes de luz, en sentido de las manecillas del reloj, a partir de la vertical, que pueden relacionarse con buzamientos predominantes a la derecha.

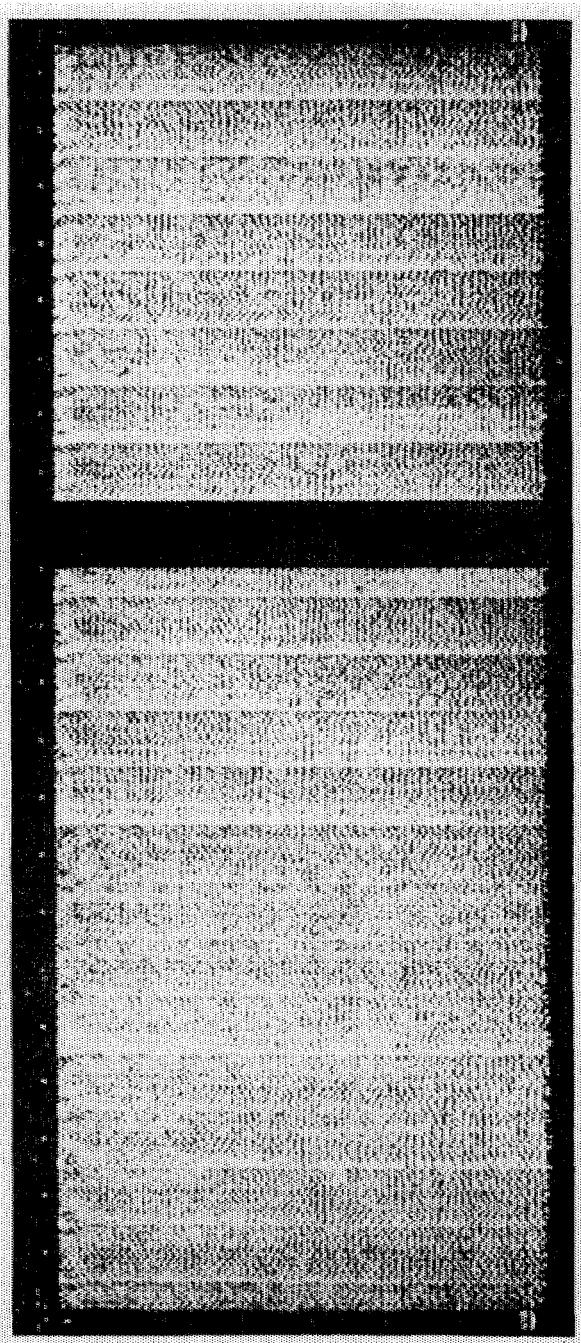


Fig. 32. Sección en la cual la información reflejada es confusa a causa a ruido fragmentado de baja velocidad.

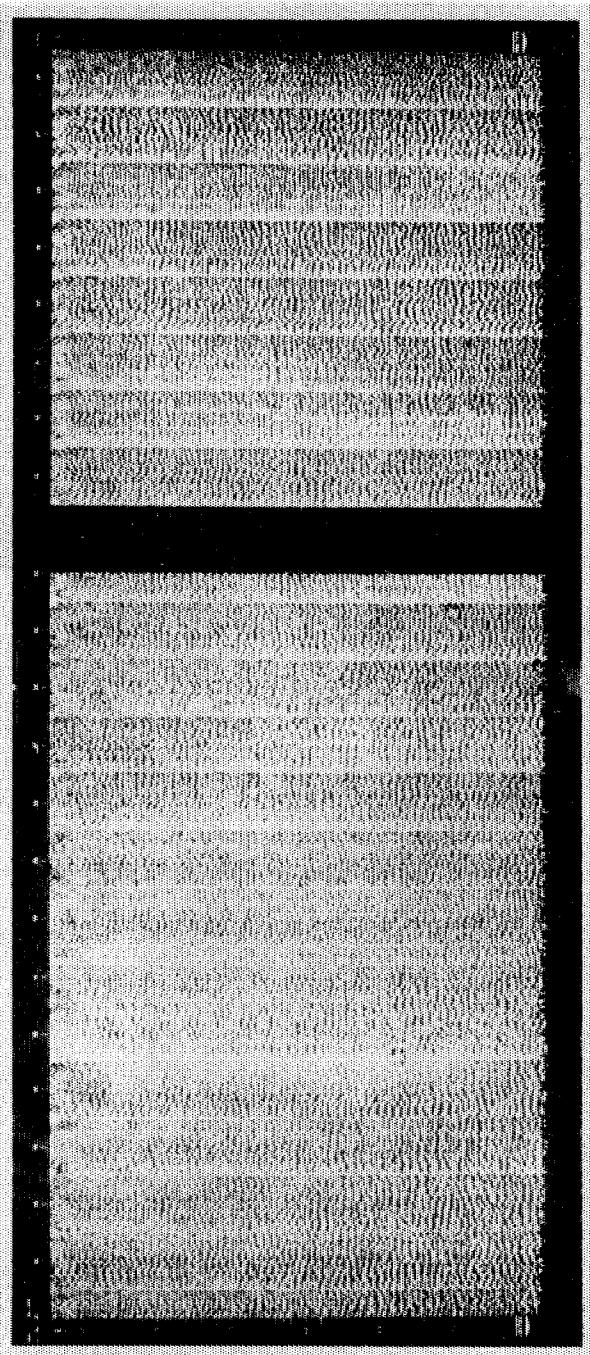


Fig. 33. Resultado de los datos filtrados de la figura 32 por eliminación de frecuencias superiores a 32 ciclos y eventos con velocidades de 7 a 19 grados a la izquierda y a la derecha.



Fig. 34.—Sección que corresponde a una área tectónica mostrando interferencias causadas por un patrón de difracción asociado con fallamiento.

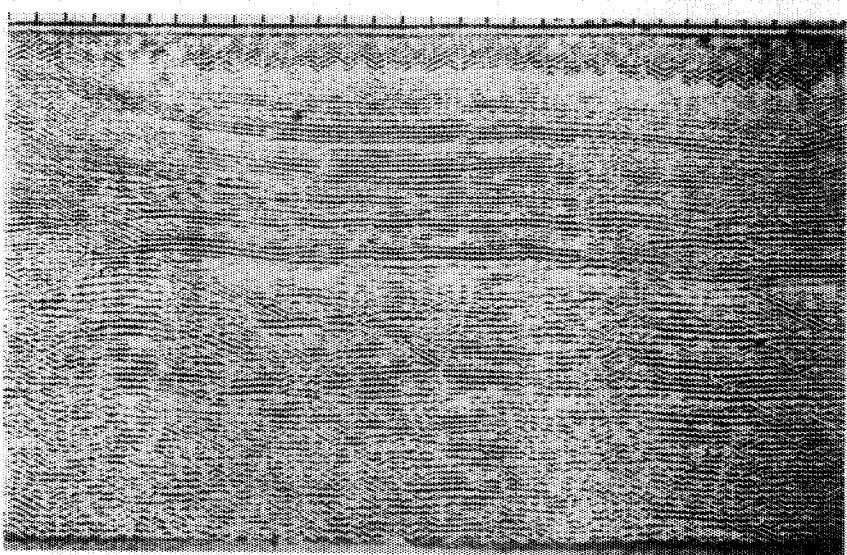
Los buzamientos menos inclinados de esas difracciones, se eliminaron al principio, con los resultados mostrados en la figura 35. La transformada del filtrado muestra las posiciones de las cuñas usadas bloqueando eventos que buzan de  $6^\circ$  a  $18^\circ$  en ambas direcciones.

El filtrado de frecuencias, por sí mismo, puede atenuar sustancialmente la energía reflejada, registrada en el sismograma a tiempos similares. En la figura 36 un filtro de corte alto se puso a muy baja frecuencia.

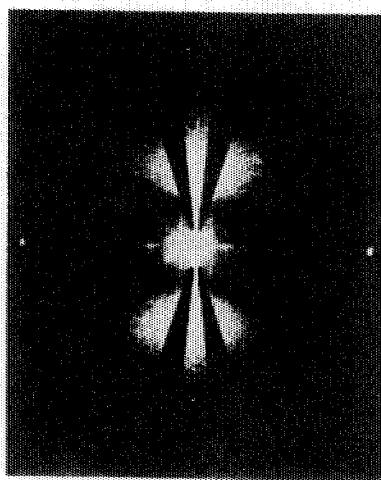
### RINGING Y REVERBERACION

En las secciones sismológicas marinas, y en algunos trabajos en tierra, se encuentran resonancias que son atribuidas a reverberaciones de la energía sísmica, entre la superficie y el fondo de la capa líquida (Backus 1959). La frecuencia fundamental de esta reverberación es función del tiempo de reflexión, dentro de la capa de agua. Este tiempo a su vez, es función del espesor de la capa líquida. Las armónicas superiores de la reverberación fundamental, se acentúan en la respuesta característica total. Todas las armónicas son reforzadas en el caso de un fondo blando, y solamente las armónicas impares en el caso de un fondo duro. Cuando la profundidad del agua es de alrededor de 100 pies, el período fundamental, asociado con el tiempo de viaje, ida y vuelta, está dentro del rango de las frecuencias de la reflexión sísmica y los eventos pueden confundirse con las reverberaciones, tomando la forma de alineamientos largos (trends) senoidales, con poco carácter o definición, como eventos de reflexión discretos. Cuando la profundidad del agua es bastante mayor de 100 pies, el tiempo de reflexión dentro de la capa, es mayor y la frecuencia de la reverberación es mucho menor que la de los eventos de reflexión. El período de repetición es mayor que un ciclo y el mismo patrón de eventos puede repetirse a intervalos tan grandes, como por ejemplo, de varios cientos de milisegundos, cuando la profundidad del agua es del orden de mil pies.

El patrón de la transformada de una sección, donde ocurre tal reverberación, muestra bandas repetidas de energía, dentro de la región del espectro que ha pasado por todo el sistema instrumental. La separación entre bandas, dependerá de la profundidad del agua. La figura 37 muestra la transformada de dos secciones marinas; una observada en aguas poco profundas y la otra en aguas profundas. La separación entre bandas sucesivas es inversamente proporcional a la profundidad efectiva del agua.



## SECCION DESPUES DE APLICAR EL FILTRADO DE SOBRETIEMPO



## TRANSFORMADA FILTRADA

Fig. 35.—Sección de la figura 34 después de que las difracciones han sido atenuadas por filtros de sobretiempo en ambas direcciones.



Fig. 36.—Sección de la figura 34 después de una aplicación severa de filtrado de corte alto. Nótese la mejoría de la continuidad causada por la atenuación de los eventos de difracción de alta frecuencia.

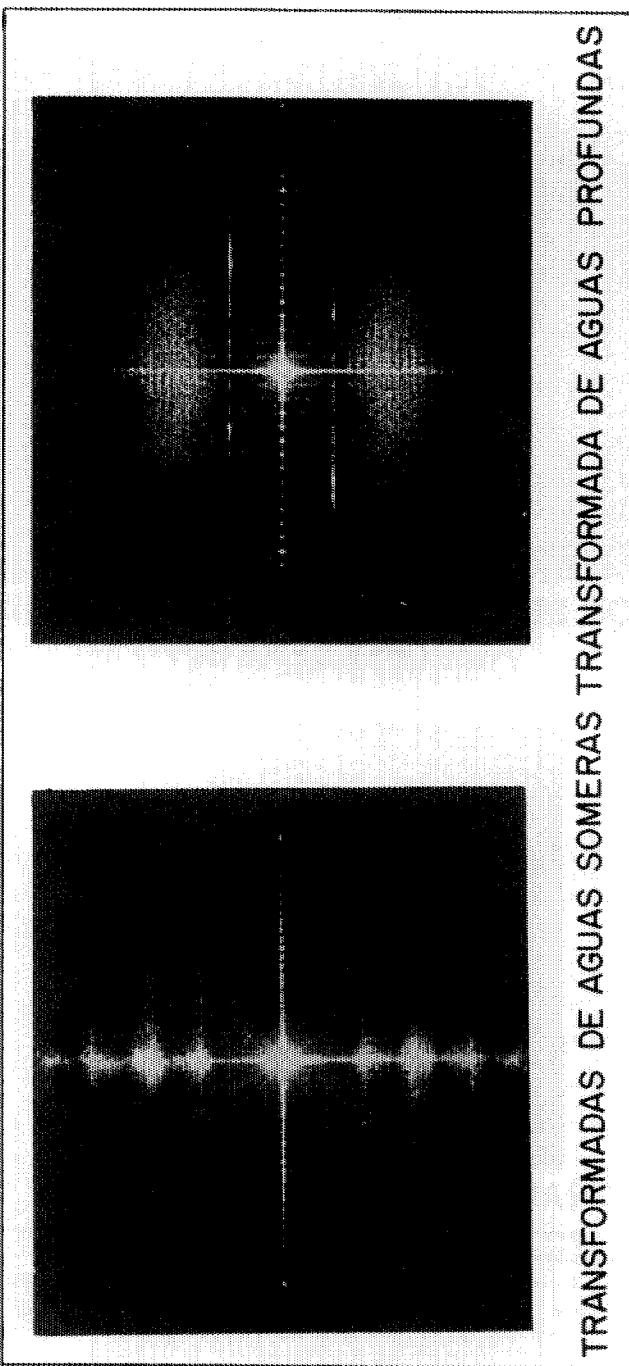


Fig. 37.---Transformadas de dos secciones marinas mostrando reverberaciones. Notese la diferencia entre espejismos de fajas reverberantes armónicas sucesivas en agua profunda y en aguas someras.

Para filtraje óptimo de efectos de reverberación a través de medios ópticos, es necesario un filtro inverso, para eliminar todas las armónicas de la reverberación, atenuando de esta manera la luz, en proporción al reforzamiento de las señales de las diferentes armónicas de la frecuencia fundamental de reverberación. Esto requiere de filtros —que actualmente se fabrican— especialmente diseñados con densidad variable. La reverberación puede también eliminarse, mediante filtros de paso alto, paso bajo o paso de banda. El problema se convierte aquí, en eliminar los efectos de reverberación, sin perder, al mismo tiempo, la información deseada.

Una simple aproximación, que ha sido muy efectiva, es introducir un filtro de corte alto, con su frecuencia de corte un poco menor que la frecuencia más baja de la reverberación, que se pueda observar en la transformada. De esta manera se eliminarían todas las armónicas de la reverberación, que pudieran distorsionar los datos observados, pero dejando pasar las componentes de más baja frecuencia de las reflexiones. La eliminación de las componentes de alta frecuencia de las reflexiones, tiene como resultado, pérdida en el carácter y resolución, pero el esquema estructural rara vez se afecta. Cuando la reverberación es fuerte, este procedimiento puede dar a las reflexiones en la sección procesada, una apariencia débil y confusa. El aumento de debilidad depende de la intensidad del "ringing" o reverberación, comparada con las reflexiones mismas y, de la cantidad de energía de reflexión con frecuencias menores que las armónicas más bajas de las reverberaciones, observadas en la transformada. Aún cuando las reflexiones resultantes sean muy débiles, la sección dará usualmente información estructural básica del tipo de reconocimiento.

### PROCESO COMPUESTO

La mayoría de las secciones sísmicas enfrentan al geofísico con una gran variedad de interferencias que se presentan al mismo tiempo. Estas pueden incluir no sólo reflexiones múltiples, sino también difracciones y diferentes clases de ruido. Además, los buzamientos de las reflexiones primarias y los de las múltiples, pueden ser diferentes a lo largo de la sección. Es posible que sea necesario usar una combinación compleja de filtros, para atacar el problema en una parte de la sección y, otra combinación, en otra porción de la misma, para obtener los resultados deseados. También puede suceder que el filtrado necesario para esclarecer la información correcta en una parte de la sección, la dañe en la otra porción.

Es común, en el curso del filtrado óptico de una sección, obtener varias fotografías; cada una de las cuales puede resolver un problema particular, o sólo el de una parte de la sección. Se puede seleccionar e interpretar, cada amplificación procesada y transferir los resultados a una copia transparente, en la que puede hacerse cualquier trabajo adicional necesario, tal como la migración de echados. Otro procedimiento posible, es cortar las partes interesantes de cada amplificación y empalmarlas para hacer una sección compuesta, que muestre lo que se considere que son los mejores datos en cada parte de la sección. Aquí el geofísico que supervisó el filtrado óptico, está haciendo realmente, una interpretación de los datos originales, en la forma de sección sísmica depurada. Esto es equivalente a marcar únicamente lo que se considera que son reflexiones primarias en los sismogramas, para trazarlas en una sección convencional.

La sección mostrada en la figura 38 se caracteriza por la existencia de echados contradictorios profundos, que son provocados en gran parte por reflexiones múltiples. Al eliminar los eventos con buzamientos entre 0 y 12 grados a la izquierda, la mayoría de las reflexiones múltiples profundas desaparecen, y los resultados del procesado se muestran en la figura 39. La eliminación de múltiples, ayudó a obtener lo que se creyó podía ser la fotografía más correcta de la parte profunda de la sección. Sin embargo, dañó la parte poco profunda de la sección, que se encuentra inmediatamente encima del área profunda bloqueada.

En tal forma, que a un tiempo de un segundo, en la parte derecha de la sección, los datos quedaron muy pobres. En esta área, una variación de dos grados en el filtrado, con objeto de eliminar eventos con buzamientos entre 2 y 14 grados a la izquierda, permitió retener y hacer resaltar los reflejos planos y aquellos que tenían buzamientos a la izquierda, de hasta un grado, así como todos los buzamientos a la derecha, tal como se muestra en la figura 40. Se pensó que había un acuñamiento de buzamientos profundos, a la derecha, como lo indica la energía de reflexión bien delineada, dentro del área marcada en esta figura.

Se muestra en la figura 41 una posición diferente del filtro, que parece dar la información sísmica más ventajosa, en otra zona de la sección, más o menos a 0.8 segundos, a los dos tercios a la derecha de la sección.

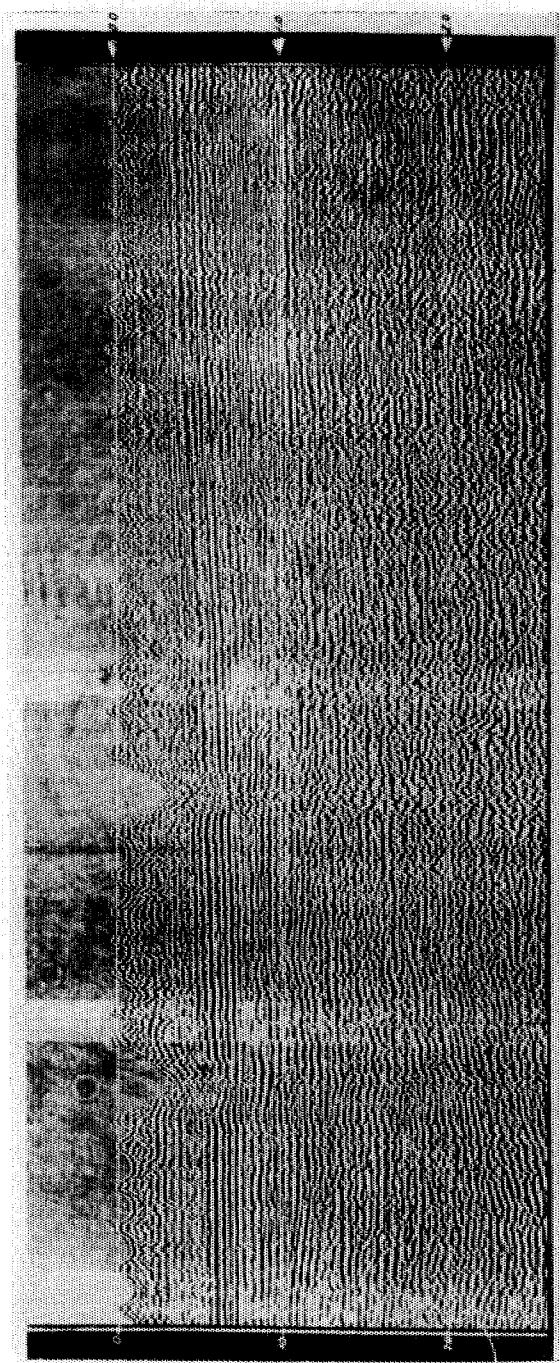


Fig. 38. — Sección sin procesar de una área donde hay indicaciones de discontinuidades múltiples.

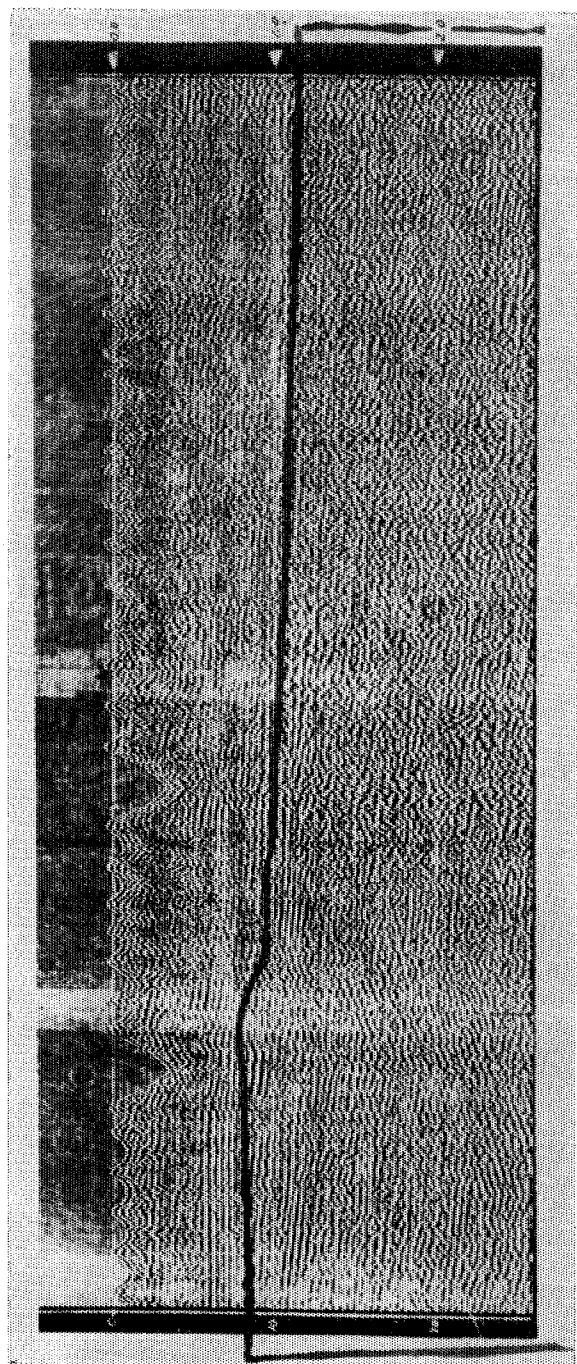


Fig. 39.—Sección de la figura 38 después de que los eventos con fazamientos de 0 a 12 grados a la izquierda y frecuencias mayores de 32 cps. han sido eliminados.

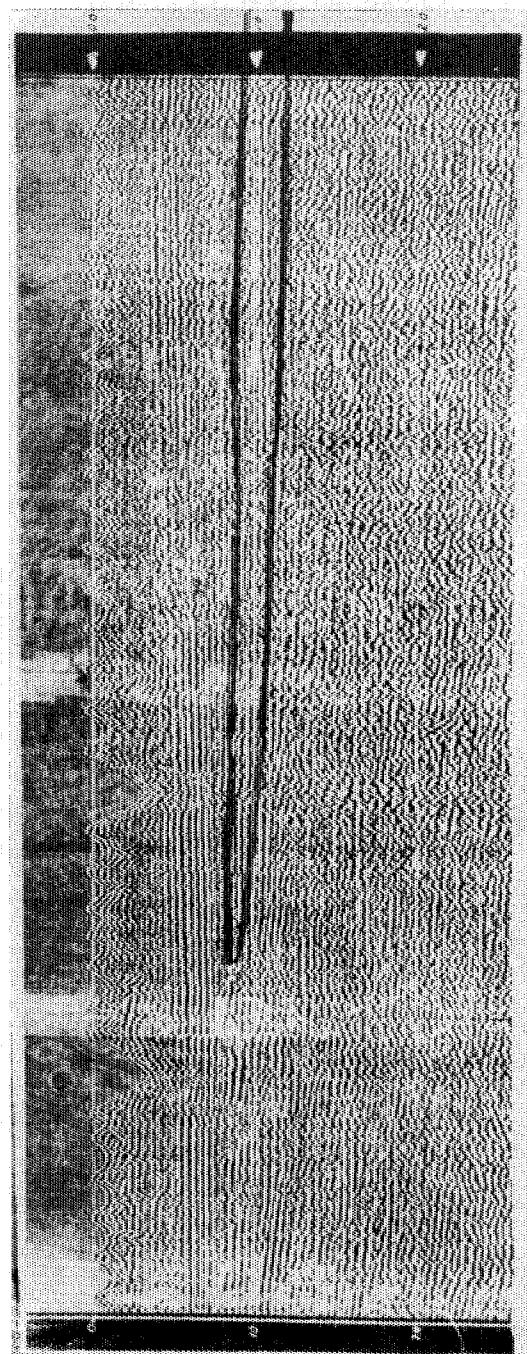


Fig. 40.—Sección de la figura 38 después de que fueron eliminados eventos con buzamientos de 2 a 14 grados a la batería y frecuencias mayores de 32 cps.

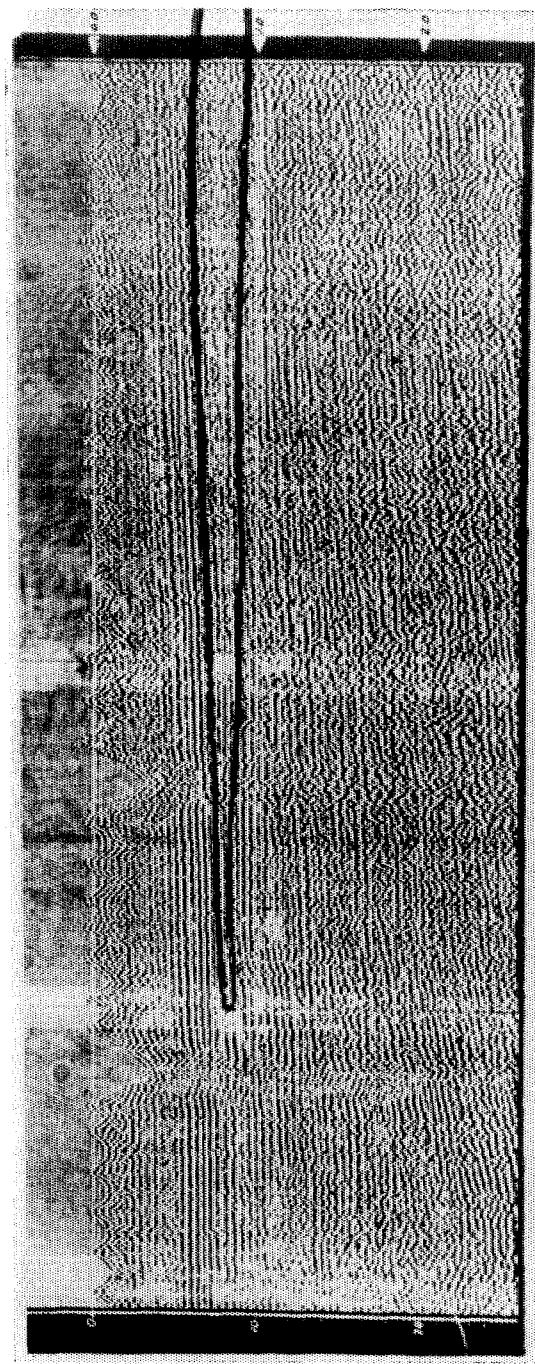


FIG. 41. Sección de la figura 38 después de eliminar los eventos con invenciones de 2 a 14 grados a la derecha y frecuencias mayores de 32 cps.

En la figura 42 se muestran los resultados obtenidos, después de hacer un esfuerzo para mejorar la parte superior de la sección. Aunque estos datos eran ya bastante buenos en la sección no procesada, parecen mejorar con el filtrado de frecuencias que se usó en los otros tiros, con la eliminación de buzamientos planos y echados mayores de 11 grados a la derecha. En esta figura, la eliminación de lo que se creyeron buzamientos auténticos a la derecha, debajo de una discordancia, deja sólo un buzamiento genuino al fondo a la izquierda, ahora suficientemente limpio, para que al geofísico le sea posible analizarlo con detalle. Estos parecen tener las características de reflexiones múltiples y haciéndolos resaltar, su identificación será más fácil.

La figura 43 se construyó después de hacer el procesado, por medio del filtrado óptico, indicado en las cuatro secciones anteriores. La preparación de tal fotografía compuesta, se admite como un proceso interpretativo, y es lo que hace comúnmente el geofísico en su trabajo rutinario.

### COMPARACION DEL PROCESO OPTICO CON OTRAS TECNICAS

Tanto el proceso óptico de datos, como el proceso analógico y digital, son una forma de cómputo y, su operación es similar en muchos aspectos a la de las computadoras analógicas y digitales. Los elementos de filtrado óptico pueden ser ajustados a cualquier valor predeterminado, en la misma forma que se puede introducir cualquier entrada que se desee a una computadora digital, perforando las tarjetas apropiadas o preparando una cinta de entrada. La salida o resultado final, de los filtros ópticos que se están usando, puede verse inmediatamente en una pantalla de televisión o en un microscopio, y es comparable a la impresión o gráfica de un sistema digital. Si el geofísico que supervisa el trabajo no está satisfecho con esta salida, puede rápidamente cambiar la entrada, o las posiciones, examinando un número de ellas, hasta llegar a la combinación que produzca el resultado que considere digno de grabación. El registro puede hacerse con "polaroid" para el revelado inmediato e inspección adicional con una lupa o sobre una película de alta resolución de 4 x 5 pulgadas, que puede revelarse posteriormente y amplificarse a cualquier escala.

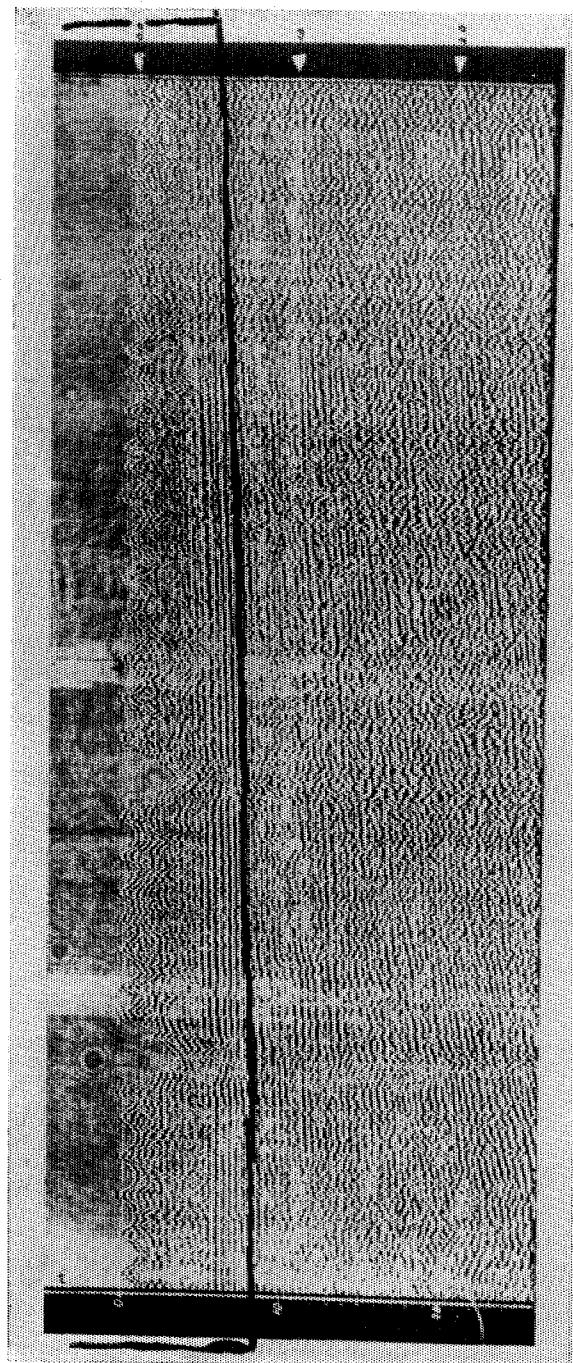


Fig. 42. Sección de la figura 36 después de haber eliminado eventos con trazamientos de 0 a 1 grado a la izquierda y de 0 a 11 grados a la derecha al mismo tiempo que frecuencias mayores de 32 cps.

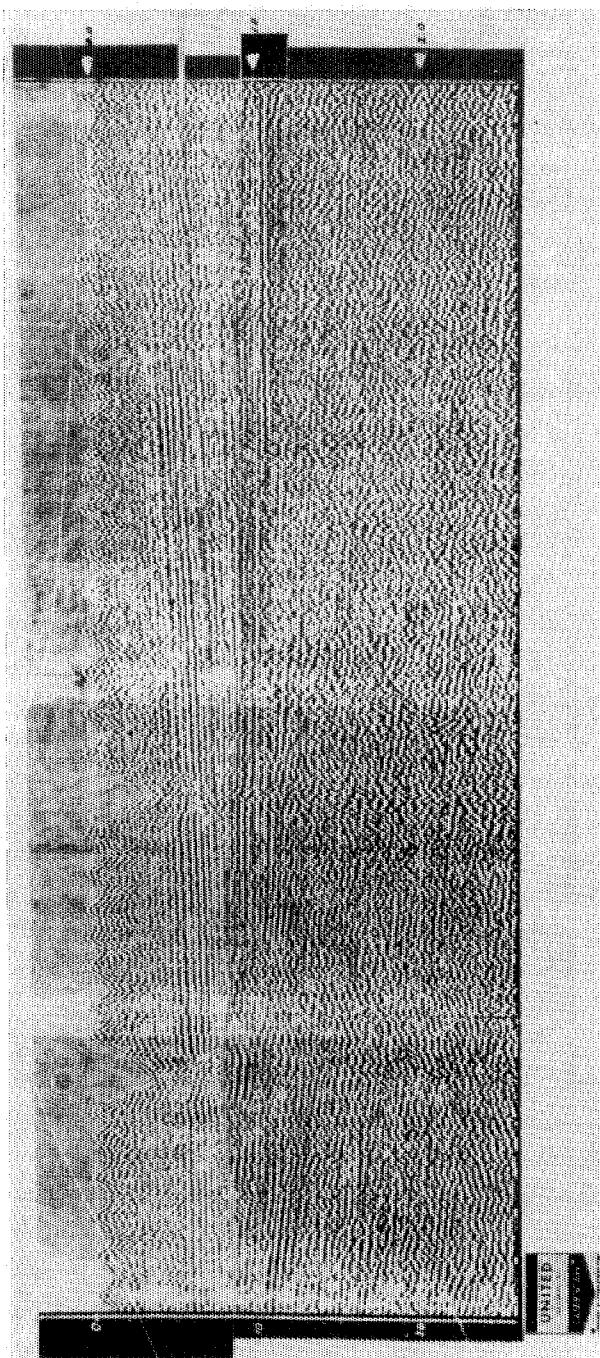


FIG. 43.—Sección compuesta seleccionando porciones de las secciones moradas en las figuras 29 a 42 indicando una intersección compleja de los datos iniciales en los cuales las reflexiones múltiples se suponen eliminadas en todos los niveles.

Para llevar más allá la analogía en el proceso óptico, el "programa" puede operar simultáneamente hasta mil canales de información. Normalmente se filtran veinte perfiles a la vez, pero bajo condiciones adecuadas pueden procesarse hasta cuarenta. El filtrado especial realizado en los ejemplos dados en este artículo, es esencialmente un proceso interpretativo. Deberá ser supervisado por un geofísico experimentado, familiarizado con las secciones obtenidas en el área o deberá proporcionarse de antemano toda la información que sea posible, concerniente a la geología y a los problemas geofísicos implicados.

La facilidad con la que el procesado óptico puede ser monitorizado, constituye una de sus mayores ventajas sobre las técnicas analógicas y digitales para el filtrado de frecuencias o sobretiempo. Los otros métodos requieren procedimientos de ensayo y error más o menos amplios, en el curso de los cuales, el geofísico pierde contacto con los resultados de sus operaciones.

El filtrado óptico es intrínsecamente más económico que el de tipo analógico o digital, por el hecho de que pueden procesarse al mismo tiempo, muchos cientos de canales de información en una sola operación. Con otras técnicas, el costo es, esencialmente, proporcional al número de trazas sísmicas que se están manejando; en el procesado óptico, generalmente cuesta lo mismo procesar una sección compuesta de veinte cintas, que un registro de una sola cinta, si la naturaleza del problema o la interferencia no cambia substancialmente en la sección. Si cambia, se necesitarán diferentes filtros, para diferentes partes de la sección, pero el costo de una fotografía de la misma sección filtrada en diferentes formas, es sólo ligeramente mayor que el costo de la fotografía que resulta de una sola operación de filtrado.

El rango dinámico disponible para el procesado óptico, es más limitado que para el trabajo analógico o digital, debido a las limitaciones intrínsecas de contraste de densidad, en el registro de densidad variable, o de resolución, en el del tipo de área variable. El rango dinámico real, depende de la calidad del registro fotográfico (modulación, elección de la película o papel, técnicas de revelado) cuando la sección se grafica inicialmente; pero es difícil obtener un rango mayor de 30 db con los procedimientos existentes para hacer secciones. Aún con la limitación presente, con el filtrado óptico, frecuentemente es

posible obtener información útil, que no es posible ver, en la sección sísmica original. Si la señal de reflexión es muy débil, comparada con el ruido, que no está en el rango dinámico en el que puede grabarse fotográficamente, la eliminación óptica de energía interferente, no hará visible la información deseada. Debido a las diferencias en rango dinámico, habrá secciones en las que el filtrado analógico o digital, muestren datos que no pueden obtenerse por el procesado óptico.

Una dificultad inherente en el procesado óptico, es el "ruido óptico". El polvo en las lentes o burbujas en el vidrio óptico, usado para varios elementos del sistema, puede causar efectos de difracción, que aparecerán en la fotografía final, como círculos o anillos de luz. Esos efectos son particularmente prominentes con luz laser. Los anillos producidos por polvo, pueden eliminarse tomando las precauciones adecuadas durante el proceso; pero las mejores lentes disponibles, tienen burbujas microscópicas que no producen efectos adversos con luz ordinaria, pero que aparecen cuando se usa luz laser. La selección de lentes que tengan el mínimo de imperfecciones, ayuda a reducir este tipo de ruido, hasta el punto de que apenas sea notable en la sección final.

En resumen, el proceso óptico de datos sísmicos, ofrece una promesa excepcional, como herramienta práctica para la exploración petrolera. El desarrollo de esta técnica, posible gracias al laser, da un ejemplo más, de cómo el geofísico de exploración está haciendo el máximo uso posible de todas las nuevas herramientas de la tecnología moderna.

---

#### A G R A D E C I M I E N T O S

Aunque muchas personas trabajaron con los autores en el desarrollo y aplicación del sistema descrito en esta publicación, debe hacerse mención especial del Dr. R. A. Peterson de United Geophysical, que dirigió inicialmente, nuestra atención al procesado óptico y quien contribuyó con muchas ideas valiosas. Estamos en deuda con R. B. Galeski de United Geophysical de Canadá, por sugerir la presentación elemental de la óptica de difracción que hemos usado. También se agradece con aprecio, las contribuciones de S. O. Patterson y Otto Schoenberg, ambos de United.

LA CONVENCION DE LA "SOCIETY OF EXPLORATION GEOPHYSICISTS"

SERA DEL 6 AL 10 DE NOVIEMBRE DE 1966.

---

---

La 36a. Convención Anual Internacional de la "Society of Exploration Geophysicists" tendrá verificativo en el Hotel "Shamrock Hilton" de la ciudad de Houston, del 6 al 10 de Noviembre de 1966, en lugar del 13 al 17 de Noviembre del mismo año, como se había venido anunciando.

El Comité Organizador quedó constituido en la forma siguiente:

*Presidente General*, Chester Sappington, Vice-Presidente de Ray Geophysical Division of Mandrel.

*Finanzas y Vice-Presidente*, Ben R. Howard, Mobil Oil Co.

*Investigación*, Dr. F. A. Van Melle, Shell Development Co.

*Programas*, Dr. Franklyn K. Levin, Humble Oil & Refining Co.

*Programas de Minas*, H. V. W. Donohoo, Texas Gulf Sulphur Co.

*Exhibidores*, Robert C. Herron, Gulf Oil Corp.

*Alojamiento*, T. P. Ellsworth, Consultor.

*Publicidad*, Robert B. Baum, Seismograph Service Corp. and Bettye Athanasiou, Geo Space Corp.

*Publicaciones*, Jack C. Weyand, Sidney Schafer and Co.

*Registro*, Bird G. Swan, Continental Oil Co.

*Recepción*, H. L. Richardson, Chevron Oil Co., Geophysical Division.

*Eventos Especiales*, Curtis C. Bratt, Phillips Petroleum Co.

*Festejos*, C. Hugh Broussard, Independent Exploration Co.

*Programa de Damas*, Mrs. Vernal D. Clark.

Para mayor información por favor sírvase dirigirse a:

Bettye Athanasiou-Co.-, Presidente de Publicidad

Geo Space Corporation

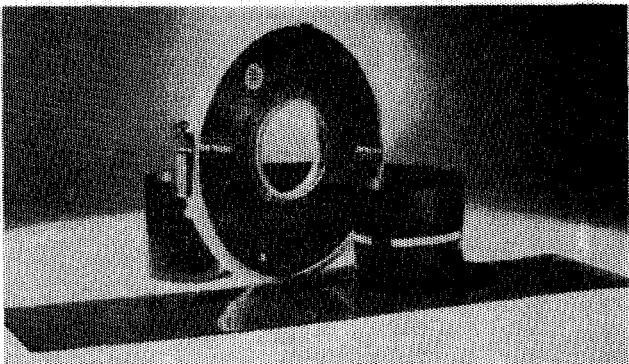
5803 Glenmont Drive

Houston, Texas 77036

MO 6 - 1611

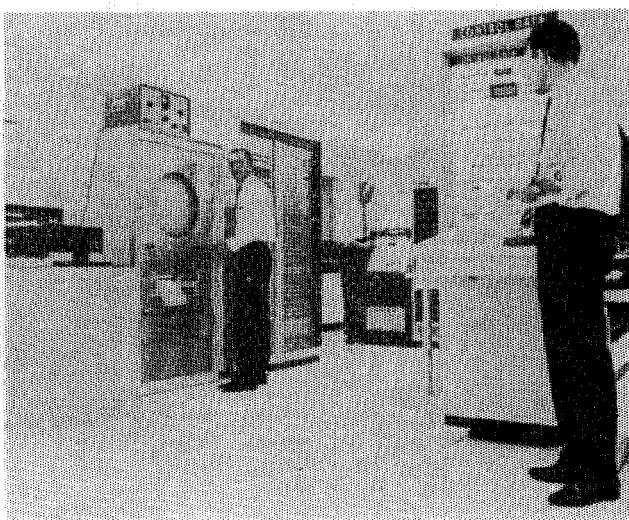
Petty procesa  
cintas como estas

(Grabaciones Sismológicas,  
analógicas o digitales hechas  
por usted o por Petty)



en estas  
computadoras

(El muy completo centro de  
Proceso de Petty en San Antonio,  
Texas, incluye un sistema de  
Computación CDC, asociado con  
equipo de conversión ADA, de  
máxima capacidad sísmica  
y un grupo experimentado de  
programación Geofísica)



con

## programas sofisticados

(Punto Común de Reflección,  
apilamiento, deconvolución  
de reverberación filtrado de  
face O, etc.)

Para encontrar más aceite, lo  
invitamos a usar los 40 años de  
experiencia de Petty,  
en Exploración Geofísica.



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

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

## **EXPLORACIONES :**

GEOHIDROLOGICAS

PETROLERAS

GEOFISICAS

MINERAS

## **ESTUDIOS :**

CORROSION SUBTERRANEA

MECANICA DE SUELOS

AGUA SUBTERRANEA

REG. ELEC. EN POZOS

TOPOGRAFICOS



## **FABRICACION Y VENTA DE EQUIPOS:**

RELACION DE CAIDAS DE POTENCIALES

REGISTROS ELECTRICOS DE POZOS

RESISTIVIDAD ELECTRICA

POLARIZACION INDUCIDA

SOLICITE INFORMES A: SAN JUAN DE LETRAN 475-B-103

CIUDAD TLATELOLCO — MEXICO 3, D. F.

# **EXPLORACIONES,**

**S. A.**



Iturbide No. 36 Desp. 201

Tel. 10-15-64

MEXICO, 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 -  
IV - V Y VI CORRESPONDIENTES A LOS AÑOS DE 1960 -  
1961 - 1962 - 1963 - 1964 Y 1965 EMPASTADOS EN KERATOL  
CON SUS INICIALES GRABADAS EN ORO.

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

# **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.**

# IV CONVENTION

de la

ASOCIACION MEXICANA

DE GEOFISICOS

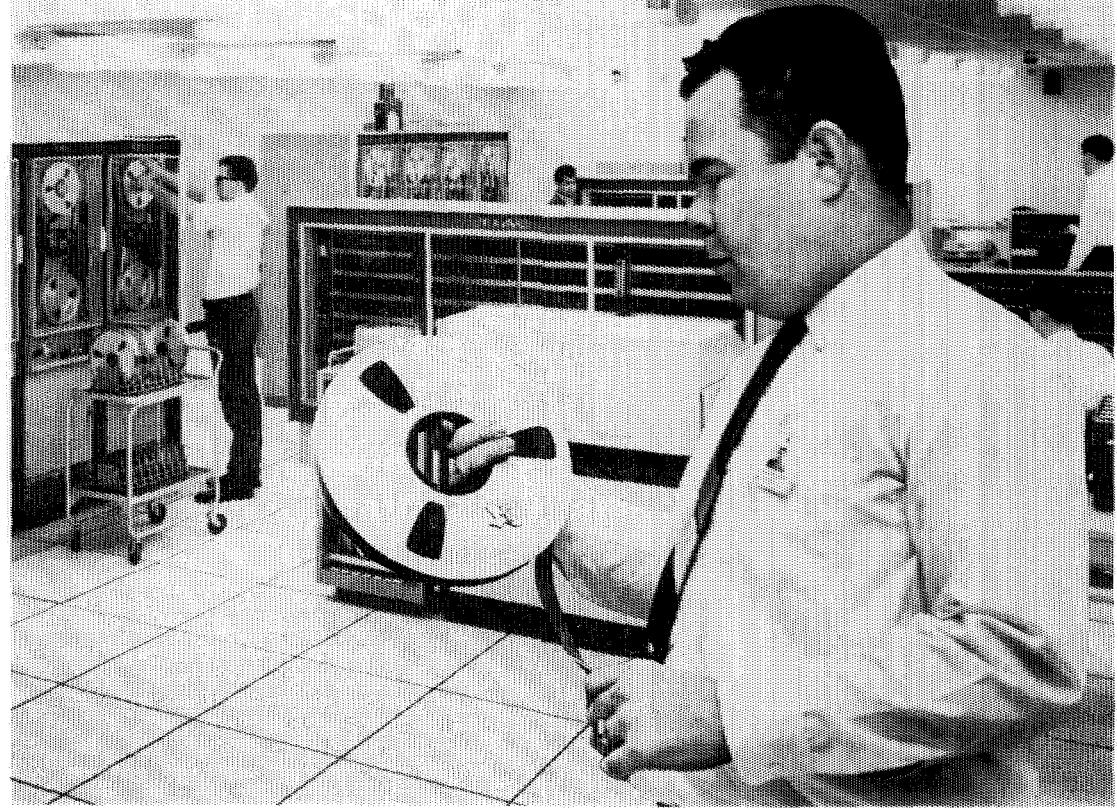
DE EXPLORACION

en

Coatzacoalcos, Ver.



NOVIEMBRE DE 1967



## Su trabajo: PRODUCCION SISMICA!

**Procesos solicitados: PROGRAMAS AEN-O, DCN-1, DPG-0**

La cinta que Carlos Bissell se prepara a montar en un centro GSI de procesamiento, contiene registros de una de las líneas principales de su levantamiento marino. La oficina de interpretación necesita una sección después de que los sismogramas han sido editados (eliminadas trazas ruidosas, cambio de polaridad, etc.), corregidos por desplazamiento horizontal, desconvueltos y reunidas las trazas de profundidad común. Usted tiene prisa por ver los resultados en el informe semanal. Ahora es el momento en que Carlos tiene que producir.

¿Qué le ayuda a Carlos a producir? Primero, él conoce su trabajo. Ha sido entrenado para ello y tiene más de cinco años de experiencia en producción sismica, 12 meses de esta aquí mismo, en este centro. Segundo, trabaja con equipo digital de alta velocidad, probado en producción y específicamente diseñado para procesar datos sísmicos. Tercero, tiene a su mando una biblioteca completa de alta eficiencia, programas de producción para aprovechar la potencia elaboradora del TIAC. Sobre todo, él está respaldado por hombres de la mayor, experiencia digital en producción sísmica—

Programadores, geofísicos de área, sísmólogos, investigadores y gerentes de operaciones.

Con todo este apoyo, Carlos tiene que producir. Es su levantamiento y Ud. quiere su información geofísica libre de ruido y múltiples, y desconvuelta.

GSI está entregando producción sísmica digital en todo el mundo. Carlos podría hacer este mismo trabajo al igual que otros en centros de procesamiento sísmica digital pertenecientes a GSI en Dallas, Nueva Orleans, Midland, Houston, Londres, Calgary y en otros que se abrirán próximamente.

GSI significa producción geofísica, sísmica digital o analógica, gravimetría, magnetometría, acumulación de datos de campo, procesamiento o interpretación.

Estamos obligados a ello. Es nuestro trabajo.

**GSI**

de Mexico S. A. de C. V.

AVENIDA JUAREZ 119, DESPACHO 42.  
MEXICO CITY, 1, D.F.

