

# **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

Cartografía  
Catastro urbano y rural.  
Cálculo electrónico.  
Diseño fotogramétrico electrónico  
de obras de Ingeniería.  
Estudios preliminares.  
Fotointerpretación.  
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 Avion Queen Air A-80 Mat. XB-XAK        | 4 Cámaras de Reproducción                                |
| 1 Avion Riley Rocket. Mat. XB-SAR         | 3 Unidades de Telémetro 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<br>coordenadas |
| Lectora-perforadora de tarjetas IBM. 1442 | 1 Estereoscópico Wild A-8                                |
| Unidad Impresora. IBM. 1132               | 1 Autógrafo Wild A-9                                     |
| 1 Cámara Fotogramétrica Zeiss MRK A       | 4 Aviogramas Wild B-8                                    |
| 1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-9         | 1 Balíptor 760, de 7 proyectores                         |
| 1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-8         | 3 Kelsh K-5, de 4 proyectores c.u.                       |
| 1 Cámara Fotogramétrica Wild RC-5         | 2 Multiplex de 8 proyectores c.u.                        |
| 3 Cámaras Fairchild                       |  |
| 4 Cámaras para fotografía oblicua         |  |
| 6 Cámaras Rectificadoras                  |  |

DIRECCION  
Av. Obrero Mundial Núm. 338 esq. con Pestalozzi.  
Teléfono: 43-38-30 con tres líneas directas y 19-87-45.  
Cable: AEROFOTO, MEXICO MEXICO 12, D. E.  
Servicios Aéreos: Ave. Santos Dumont Núm. 217

**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**

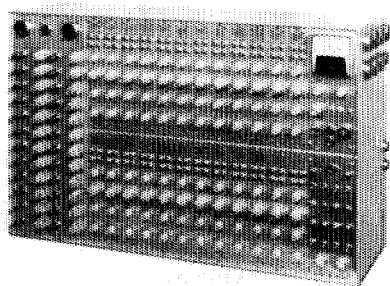
- Levantamientos :
- Sismológicos
  - Gravimétricos
  - Magnetométricos
  - Procesado de Datos Magnéticos
  - LORAC - Levantamiento Electrónico

**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



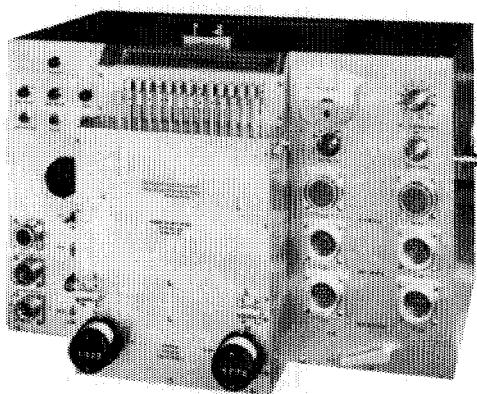
## FORTUNE T-1. SISTEMA DE AMPLIFICADORES SISMICOS TRANSISTORIZADOS PARA TRABAJOS DE REFLEXION Y REFRACTION.

**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 microvolts de entrada.

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



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

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

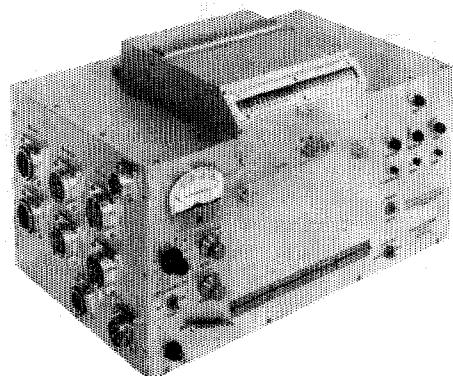
**SE AJUSTA A CUALQUIER SISTEMA DE TIRO** — No importa el sistema de tiro empleado, ya que mediante una barra universal de tendidos y gracias a medidores ajustables (calibrados en por ciento), es posible aplicar a cada traza la corrección dinámica adecuada.

### ESPECIFICACIONES DEL MODELO DC-2B.

Transportador de la cinta. Mediante tambor, cuyo diámetro es de 7.5". Número de canales. 24 sismicos, 2 ó 4 auxiliares. Tamaño de la cinta. 6 1/2 ó 7" de ancho por 24 1/2" de largo. Distancia entre pistas. 1/4" (de centro a centro). Velocidad de la cinta. 3.59" /segundo. Tiempo útil de grabación. 6 seg. (el tambor da una vuelta completa en 6 seg.). Corrección dinámica máxima. 150 miliseg. Característica del motor. De histeresis de 400 ciclos. Acoplado al tambor. 700 miliseg/segundo. Rango de corrección estática. ± 50 miliseg. Polarización (bias). 8 milicampares 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 milivoltios a través de 40 ohms.\* Salida (a 100% el nivel de grabación). 100 microvoltios a 30 ohms. Potencia requerida. 0.5 amper en vacío y 14 amperes con carga. Tamaño del transportador de la cinta. 15 × 19 × 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 girando 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 instantes de explosión, tiempo vertical y escala de tiempo. Tiene conexiones exteriores para diversos circuitos, tales como la acción de la presión a partir del instante de tiro, el arranque de la cámara, etc., todo ello a base de leyes. Para copiar 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 ó 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 6.6 seg.)

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

Polarización (bias). 8 milíampères a 8 kilociclos. Respuesta. De 5 a 200 cps.

Correcciones estáticas (opcional).  $\pm 100$  miliseg.

Relación de señal a ruido. 50 db RMS a RMS. Distorsión armónica total. (A 100% el nivel de grabación. 2.5%

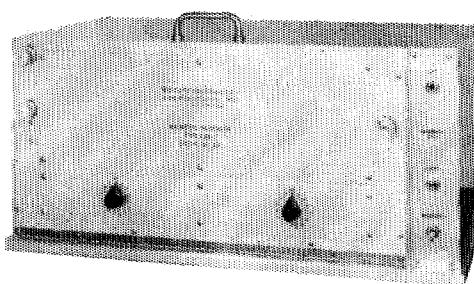
Alimentación cruzada. (Cross feed). Con entrada de 100%, -36 db a 10 cps.

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

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

Medida del transportador de la cinta. 11"  $\times$  18 1/2"  $\times$  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 uno, dos o tres tambores. También existe el tipo de un solo tambor ancho, con 54 cabezas de micropista, capaz de manejar, simultáneamente, una cinta ancha o dos cintas angostas.

Cada cabeza de micropista graba sobre un ancho de 0.008", teniendo para su control lateral hasta 20 posiciones, en forma manual o automática.

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

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

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

*Fortune*  
*Electronics, Inc.*

H. H. HAPPEL -- H. H. HAPPEL, Jr.  
2505 SOUTH BOULEVARD, HOUSTON, TEXAS

Representante en Europa:  
Techmation  
113 Rue Lamarck, París, Francia.

**Carlos Alemán S.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**

Interpretación de Arrecifes por medio de análisis de frecuencias por *John C. Fitton y James A. Long.*

Generalidades de los depósitos de azufre de la Cuenca Salina del Istmo de Tehuantepec.

Sumarios de artículos publicados en GEOPHYSICS.

Bibliografía del artículo “Que es la gravedad residual” por *D. C. Skeels.*

# ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

---

## *MESA DIRECTIVA PARA EL PERIODO 1967 - 1968*

Presidente: Ing. Jesús Basurto García.

Vice-Presidente: Ing. José Coffín Otero.

Secretario: Ing. Martín Cordero Baca.

Tesorero: Ing. Alberto Arroyo Pichardo.

Editor: Ing. Antonio Cordero Limón.

### Vocales:

Ing. Raymundo Acosta Ojinaga.

Ing. Héctor Larraga Nadal.

Ing. Miguel Salmón Herrera.

Ing. Alfonso Muriedas Pavón.

Ing. Roberto Hernández Maldonado.

Ing. Fabián Castillo Chavira.

Presidente Saliente: Ing. Alfonso Cornejo Toledo.

---

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. ANTONIO CORDERO LIMON

Av. Juárez No. 97, Despacho 302 - B.

Teléfono: 12-41-47.

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.

INTERPRETACION DE ARRECIFES  
POR MEDIO DE ANALISIS DE FRECUENCIAS

*Por John C. Fitton y James A. Long \**

INTRODUCCION

El éxito de esfuerzos exploratorios sísmicos en el Canadá depende en gran parte de la correcta interpretación de estructuras de arrecifes. En las secciones sísmicas, indicios de arrecifes tales como suaves pliegues, difracciones, anomalías de velocidad y la terminación y desaparición de reflexiones, son, con frecuencia, muy sutiles. Cuando ruidos o reflexiones múltiples obscurecen tales indicios, se hace difícil interpretar arrecifes con seguridad. Es por lo tanto importante que nuevos métodos de interpretación sean desarrollados para aumentar el grado de confianza interpretativa. Técnicas ópticas recientemente desarrolladas son muy promisorias en la detección y definición de estructuras de arrecifes. El objeto de este artículo es la discusión de una de estas técnicas: la aplicación de análisis óptico de frecuencia al problema de interpretación de arrecifes.

---

\* United Geophysical Corporation  
Pasadena, California

Los parámetros básicos de la energía sísmica incluyen tiempo de llegada, fase, amplitud y frecuencia. En el actual desarrollo del arte, nuestras interpretaciones se basan principalmente en los tiempos de llegada observados y en concordancias de fase. El empleo de amplificadores de funcionamiento binario, que registran amplitudes sísmicas con exactitud, permitirá un mejor uso de la amplitud como parámetro de interpretación. Aun cuando la frecuencia ha recibido mención en las publicaciones geofísicas en referencia a problemas con ruidos y filtración, su aplicación como parámetro en la interpretación no ha recibido mucha atención. Esto es sorprendente en vista de la importancia y utilidad de espectros de frecuencia en otros campos técnicos. Tal vez podríamos imputar este descuido aparente a la dificultad y costo que previamente se encontraba al presentar datos de frecuencia sísmica en una forma conveniente para su estudio. Técnicas digitales y ópticas modernas ahora hacen espectros de frecuencia fácilmente accesibles. Se está reconociendo más y más que la frecuencia es un importante parámetro interpretativo que debiese estudiarse rutinariamente por el geofísico en sus esfuerzos de llegar a un mejor entendimiento de su información sísmica. Los resultados del procesamiento de casi cien secciones sobre conocidos y sospechados arrecifes indican que importantes características diagnósticas de arrecifes habitualmente están presentes en el dominio de la frecuencia.

### EL ESPECTRO OPTICO

El sistema óptico LaserScan \* que se empleó en este trabajo es descrito por Dobrin y sus colaboradores (1965). Aunque este sistema se emplea principalmente para filtración de frecuencias y filtración direccional de información sísmica presentada en secciones, también proporciona, por medio de la simple inserción de un lente cilíndrico, un método conveniente para la obtención del espectro de frecuencias de cualquier intervalo de tiempo seleccionado en una sección sísmica de densidad o área variable. Jackson (1964) fue el primero en describir las técnicas para la formación de tales espectros, y Fitton y Dobrin (1967) han presentado los principios básicos para el uso de la información de frecuencia en la interpretación sísmica.

---

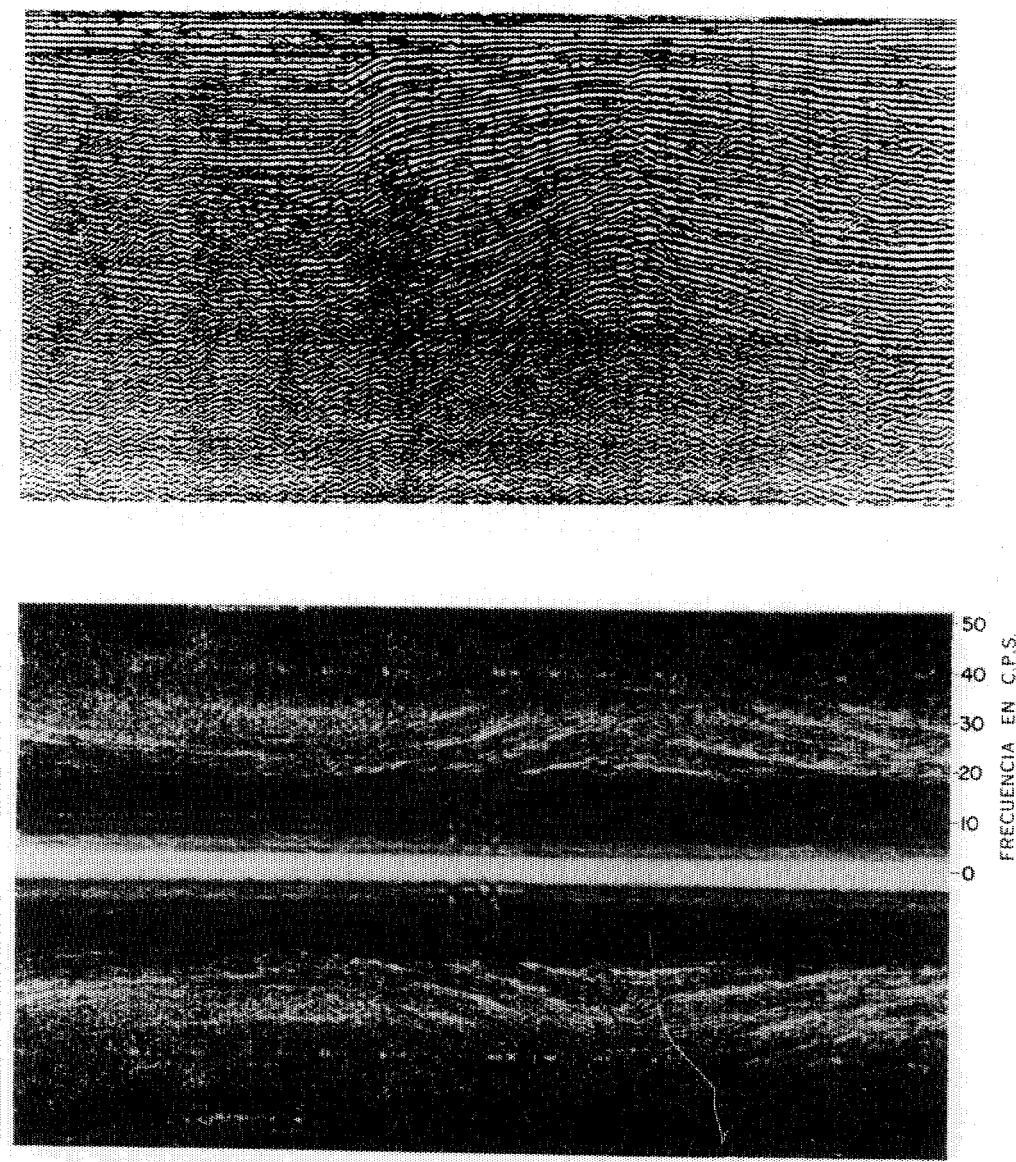
\* Marca Registrada de la Conductron Corporation

El espectro de frecuencias producido por el sistema LaserScan puede observarse directamente en una pantalla de televisión o puede fotografiarse por una máquina Polaroid o en película ordinaria. La Figura No. 1 muestra un ejemplo espectral de canales individuales y su relación a la información sísmica original. El espectro óptico consiste de un eje horizontal de luz no difractada, a una frecuencia de cero, y dos nebulosidades simétricas que representan imágenes mutuas de la distribución de frecuencias de los datos sísmicos, traza por traza, lateralmente a través de la sección. Las áreas de mayor luminosidad en el espectro corresponden a difracciones de las frecuencias predominantes. Las áreas más oscuras indican frecuencias relativamente carentes de energía. Siendo que la frecuencia es función directa de la distancia vertical desde el eje de cero frecuencia, puede agregarse una escala.

Es importante notar que el espectro de cualquier intervalo de tiempo en la sección puede obtenerse simplemente aislando la parte de la sección que deseamos analizar; esto es, cubriendo todo el resto de la sección. Tal "ventana" puede correrse hacia arriba o abajo sobre la sección o puede variarse en anchura. Variaciones en frecuencia pueden observarse directamente en el monitor de televisión a medida que la "ventana" se modifica. Esta presentación óptica del espectro es efectivamente la misma que se obtiene cuando el espectro de densidad de potencia se calcula por una computadora digital con una exactitud de menos de un ciclo por segundo y los resultados son presentados en forma de densidad variable semejante a la sección original misma. Por el momento, técnicas ópticas para análisis de frecuencias son sumamente más económicas que las digitales y más convenientes debido a las facilidades de control inherentes en un sistema óptico. El límite dinámico del resultado digital es, sin embargo, superior al obtenible por medios ópticos. Es de suponerse que, en el futuro, computadoras de alta velocidad y programas de presentación hagan del sistema digital de análisis de frecuencia, traza por traza, una realidad económicamente factible.

### EL PARAMETRO DE LA FRECUENCIA

El que la frecuencia de la energía sísmica esté relacionada con el subsuelo no es un concepto nuevo. Existen muchas referencias al respecto en diversas publicaciones. Shugart (1944) describió la influencia de las capas superficiales en la configuración del impulso sísmico. Clewell y Simón (1950) compararon a la tierra con un filtro electrónico, haciendo notar que coeficientes de atenuación y dispersión de las formaciones podrían medirse y utili-

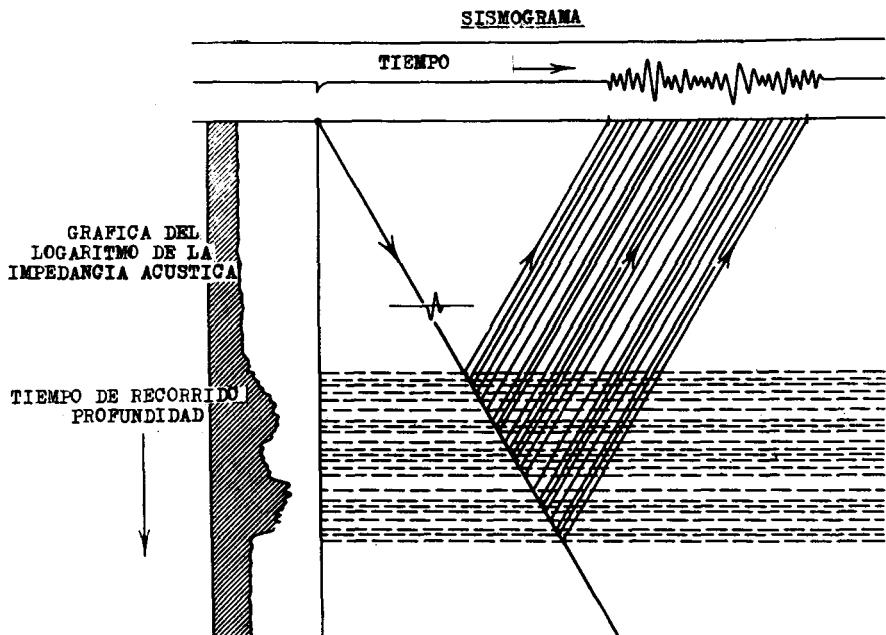


ESPECTRO OPTICO MOSTRANDO LA DISTRIBUICION  
LATERAL DE FRECUENCIAS EN UNA SECCION SISMICA

FIGURA 1

zarse en la interpretación. Jakosky y Jakosky (1952) describieron el procedimiento de la producción de la reflexión como un fenómeno de interferencia en cuanto que Woods (1956) relató experimentos con modelos que mostraban la relación entre estratificación y la frecuencia de eventos reflejados.

En su artículo acerca del síntesis de sismogramas, Peterson, Fillippone y Coker (1955) demostraron como reflexiones se producen por la estratificación de la tierra. Consideremos por un instante una sección sísmica idealizada, tal como una que resultase de un grupo de trazas sísmicas sintéticas sin múltiples. Cada traza consistirá de una serie de pulsos correspondiendo a un gran número de cambios en impedancia acústica dentro de la tierra como se demuestra en la Figura 2. Podemos suponer que el orden de estratos es esencialmente al azar



REFLEXIONES DE UN PULSO SISMICO PRODUCIDO POR UNA IMPEDANCIA ACUSTICA

FIGURA 2

dentro de una muestra grande de tal manera que la distribución de períodos de reflexión (y el contenido de frecuencias) sea una curva en forma de campana, para todo efecto plano, dentro la banda de aceptación del instrumental de registro. El espectro óptico de tal sección será blanca como lo demuestra la Figura 3a.

Si ahora reducimos el largo de la muestra —por ejemplo, a un medio segundo— el espectro de esta muestra puede exhibir ciertas frecuencias predominantes relacionadas con los espaciamientos más comunes de los estratos dentro de la correspondiente sección geológica. Este efecto se ilustra en la Figura 3b. Las frecuencias serán más altas con aumentos de velocidad y más bajas con disminución de velocidad. Un cambio lateral de velocidad, debido a compactación diferencial o a un cambio en litología que afecte un considerable espesor de la sección, aparecerá en el espectro como una alteración en frecuencia. Igualmente, si un apreciable adelgazamiento o engrosamiento estratigráfico ocurre dentro de este intervalo, el espectro mostrará correspondientes cambios en frecuencias. Nótese como los diferentes espaciamientos en los estratos en las posiciones I y J en la Figura 4 dan lugar a altas y bajas frecuencias, respectivamente. El espectro de frecuencias de un delimitado intervalo de tiempo en una sección sísmica puede de esta manera dar información acerca de apreciables cambios en espesores de estratos y en cambios de velocidad ocurridos dentro de la sección geológica correspondiente. Este espectro es análogo a un gráfico detallado isócrono del intervalo seleccionado y por ende es potencialmente importante en todo tipo de problema donde se usan planos isócronos.

Hemos considerado una sección idealizada sin ruidos producida por una fuente de impulso agudo. Las secciones sísmicas son generalmente más complejas. La fuente puede ser un pulso ancho, tal como se produce en un medio arcilloso, rindiendo información predominantemente de baja frecuencia. Puede ser un pulso agudo dentro de un medio calcáreo resultando en un registro de alta frecuencia y reducida penetración de la energía. Además, el espectro de frecuencia sísmica puede ser influenciado por varios tipos de ruidos, o al azar o coherentes, por múltiples, y por efectos de filtración próximos a la superficie. Si estas influencias indeseadas son muy fuertes, los resultados serán pobres en el dominio de las frecuencias así como lo son en el dominio del tiempo. Hay excepciones notables: si la pobre calidad se debe a eventos de interferencia tales como ruido coherente o múltiples, las franjas de frecuencia que estos eventos originan son frecuentemente separados en los espectros de limitados intervalos en tiempo, permitiendo su identificación e interpretación. En el caso de que la pobre calidad del registro se deba a malas correcciones estáticas, la información en el dominio de la frecuencia no será perjudicada.



DISTRIBUCION UNIFORME DE FRECUENCIAS EN UNA SECCION  
DE SISMOGRAMAS DE 5 SEGUNDOS

FIGURA 3-A

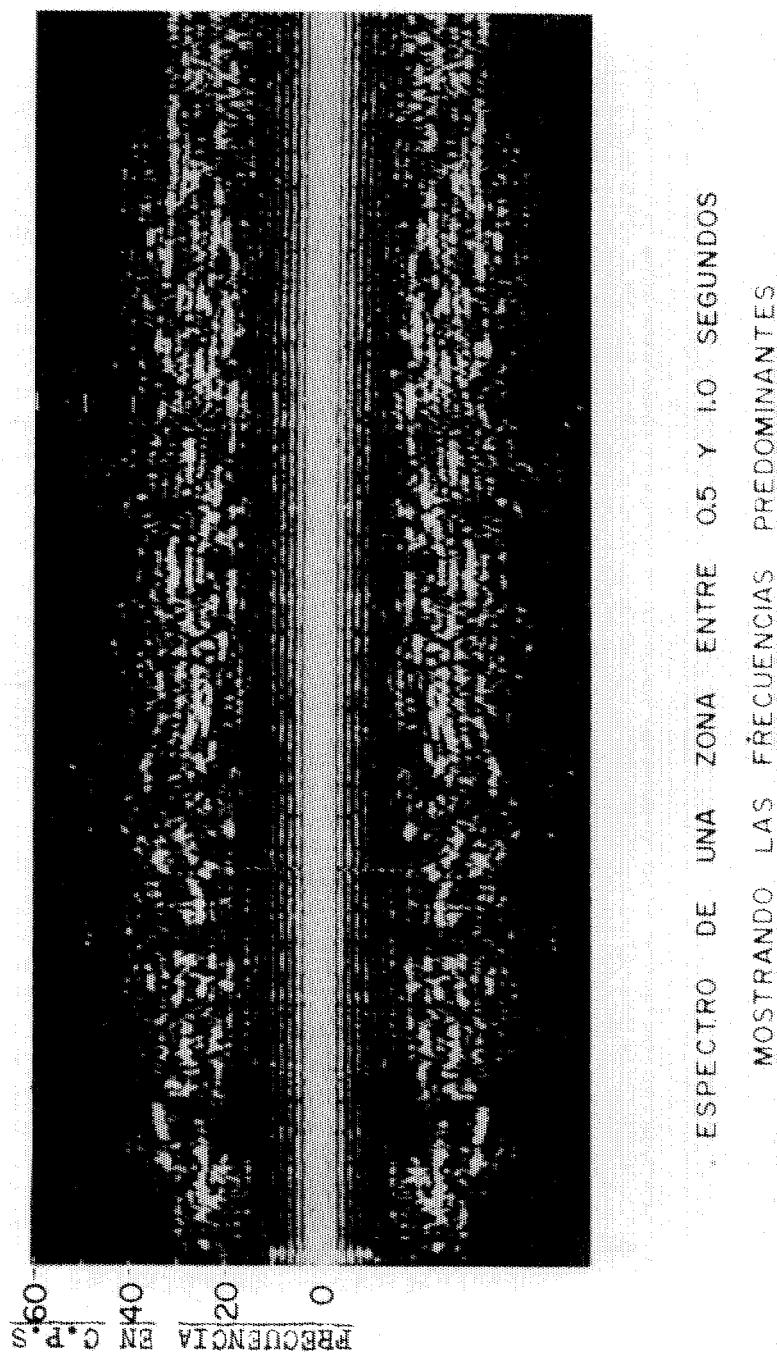
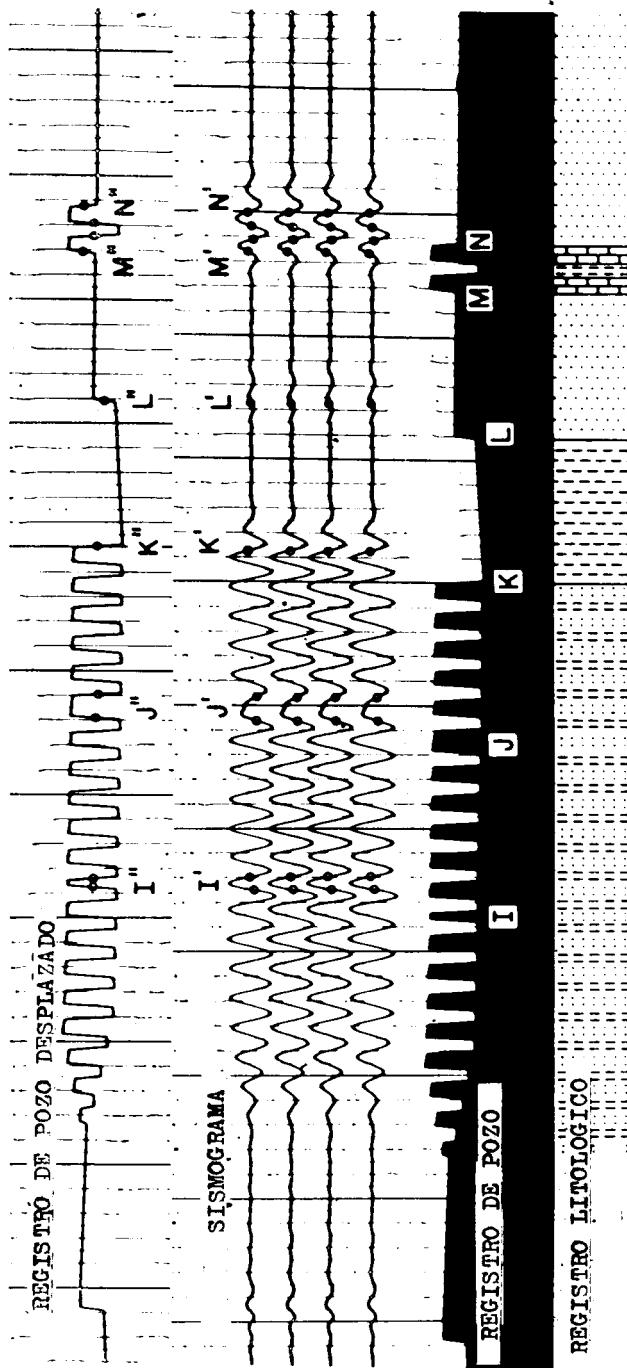


FIGURA 3-B



RELACION DE ESPESORES Y FRECUENCIAS

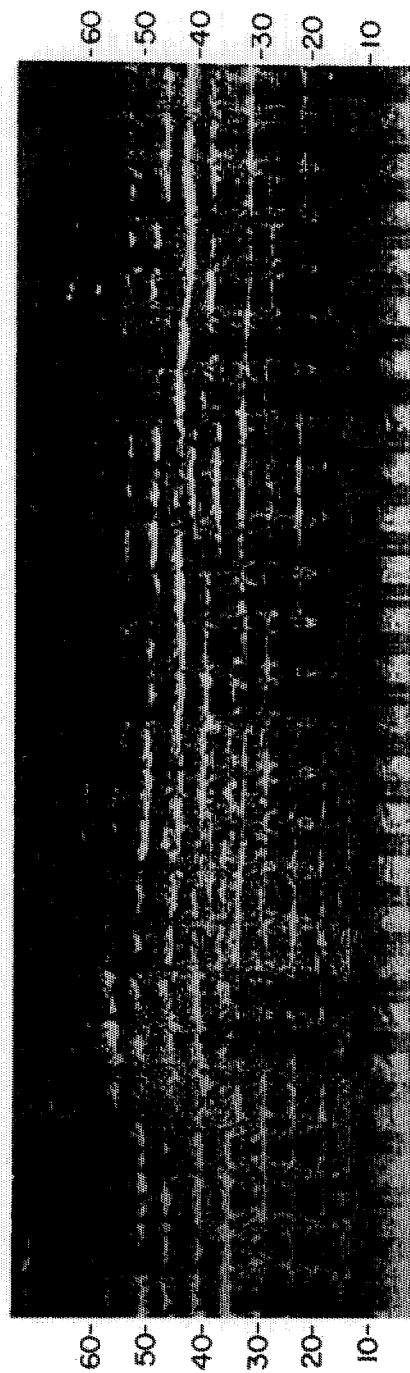
FIGURA 4

Efectos pronunciados de filtración próximos a la superficie pueden producir dificultades en la interpretación de los espectros de frecuencia. Resonancias, múltiples de la capa superficial o múltiples de los estratos superiores generalmente se verán en el espectro de la sección completa como franjas prominentes. Semejante espectro con fuertes franjas atribuibles a resonancia se muestra en la Figura 5. Es de dudarse en este caso que sea recuperable información útil del intervalo del espectro sin antes aplicarse deconvolución digital.

En el dominio de la frecuencia, así como en el dominio del tiempo, la interpretación basada en un pleno conocimiento del comportamiento de los ruidos es el principal medio de combatir estos problemas de interferencias. La mayoría de la información de frecuencia sísmica de las provincias de Alberta y Saskatchewan se prestan muy bien para interpretación, como lo será demostrado después en este trabajo.

### EL EFECTO DE ESTRUCTURAS DE ARRECIFES EN FRECUENCIAS SISMICAS

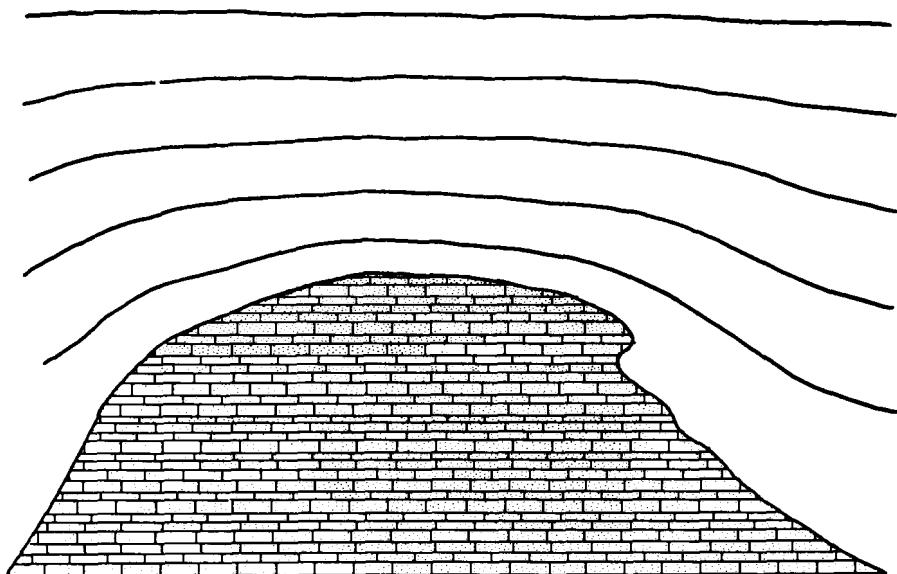
El adelgazamiento de los estratos así como las variaciones en velocidad que se encuentran sobre muchos arrecifes frecuentemente producen detectables diferencias de frecuencia entre datos sísmicos registrados a través de un arrecife y aquellos registrados sobre sedimentos alejados del mismo. Hemos visto tales diferencias al estudiar muchas secciones sobre conocidos arrecifes canadienses. La Figura 6 muestra, en forma esquemática, un típico arrecife. Debido a la compactación, erosión y depositación diferencial, los estratos sobre el arrecife normalmente son más delgados y suelen también tener una velocidad superior a aquellos alejados de la estructura. Arrecifes, consistiendo de calizas orgánicas desarrolladas desde el fondo del mar con crecimiento vertical, típicamente forman estructuras esqueléticas rígidas. Los depósitos que descansan sobre los arrecifes tienden a plegarse de acuerdo a los límites del arrecife. Compactación diferencial generalmente ocurre cuando el material rígido del arrecife es enterrado y rodeado por lodos, arcillas y arenas. Por consiguiente, deberíamos esperar, desde un punto de vista estadístico que reflexiones pro-



RESONANCIA EN UNA SECCION MARINA

FIGURA 5

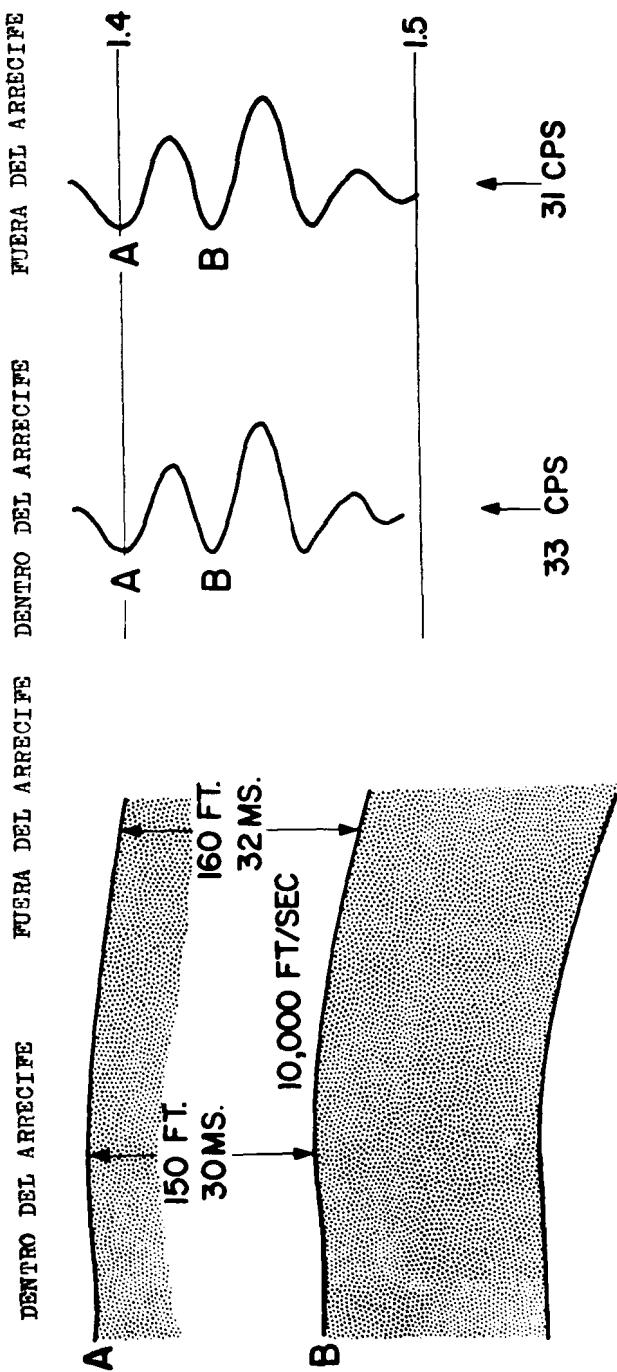
venientes de la región inmediatamente sobre el arrecife muestren una frecuencia generalmente superior sobre el cuerpo del arrecife que sobre sus flancos, un efecto que usualmente disminuye rápidamente en los intervalos de tiempo hacia la parte superior de la sección. Bajo el arrecife la secuencia sedimentaria debiera ser normal y no es de esperarse ninguna anomalía de frecuencia.



### ADELGAZAMIENTO DE ESTRATOS SOBRE UN ARRECIFE

FIGURA 6

La magnitud de la variación del espesor que produciría anomalías observables es relativamente pequeña. En la Figura 7 un ejemplo se muestra en el cual nos imaginamos un par de estratos con separación de 150 pies sobre el arrecife aumentando su espaciamiento a 160 pies fuera del arrecife. Si asumimos una velocidad de intervalo del orden de 10,000 pies por segundo, las reflexiones sobre el arrecife tendrán una frecuencia de 33 cps contra 31 cps para reflexiones de la misma formación distanciada del arrecife. Esto significa que una anomalía de frecuencia de dos ciclos se relaciona con el arrecife en el ejemplo citado.



VARIACIONES EN FRECUENCIA CON  
CAMBIOS EN ESPESOR DE ESTRATOS

FIGURA 7

Otro factor, no mostrado en el dibujo, que actuaría en el sentido de aumentar la anomalía de frecuencia es el cambio de velocidad. Además del adelgazamiento sobre el arrecife, debiésemos esperar un aumento en velocidad debido a la compactación diferencial. Bajo la hipótesis de que la velocidad de 10,000 pies/segundo aumentaría únicamente un 2% para convertirse en 10,200 pies/segundo. Sobre el arrecife, el tiempo de ida y regreso para los 150 pies sobre el arrecife se reduciría de 30 a 29.4 milésimas de segundo y la frecuencia resultante sería 34 cps en vez de los 33 cps. La anomalía total de frecuencia sería entonces tres cps en vez de dos.

Cambios del orden de dos a tres cps no serían fácilmente discernibles en una sección en tiempo. En el espectro óptico unidimensional, sin embargo, estos cambios son muy aparentes. La Figura 8 muestra la original y su espectro de un cuadro de frecuencias escalonadas donde las frecuencias cambian en saltos bien definidos como se indica. En el espectro, los cinco incrementos correspondiendo a saltos de dos ciclos son plenamente visibles. El espectro de frecuencia es independiente de buzamientos aparentes en la sección a tiempo, como lo muestra la Figura 9. Aquí un anticlinal representado por bajas frecuencias es interferido por eventos horizontales de alta frecuencia de lo cual se obtiene un espectro con dos franjas de frecuencia constante.

## ANALISIS DE FRECUENCIA COMO HERRAMIENTA PARA ENCONTRAR ARRECIFES

Investigadores hace tiempo buscan anomalías en las mediciones gravimétricas o de velocidad que pudiesen ser diagnósticas de la presencia de arrecifes. La frecuencia de reflexiones sísmicas es influenciada no solamente por incrementos en la velocidad y la densidad sino que también por el adelgazamiento de las capas sedimentarias, todo lo cual es de esperarse sobre arrecifes. Es por esto que el dominio de las frecuencias ofrece un camino diferente y potencialmente importante para detectar arrecifes con datos sísmicos. Consideremos ahora algunos ejemplos reales de arrecifes y examinemos el raciocinio que podría usarse en la interpretación de los espectros pertinentes.

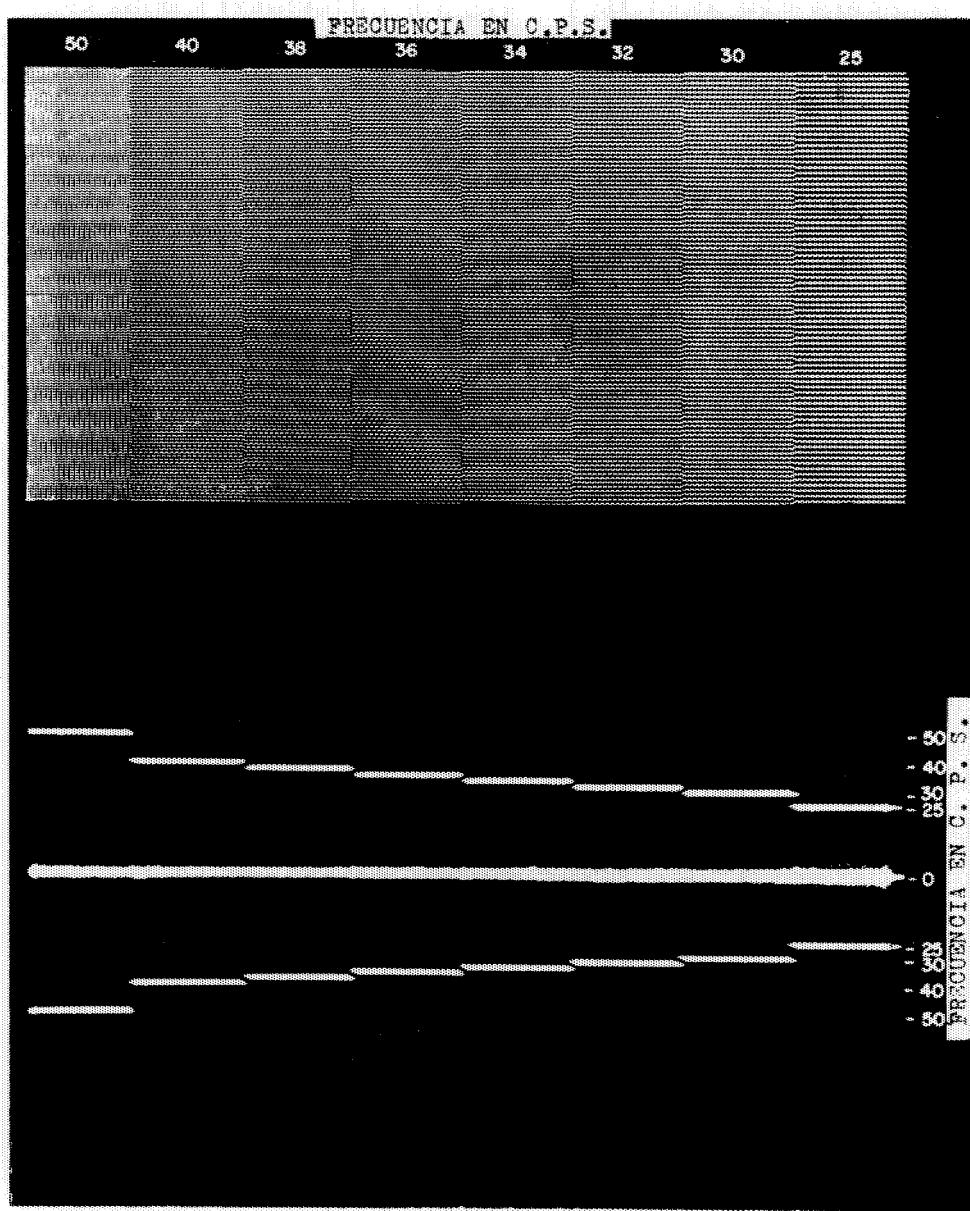


GRAFICO MOSTRANDO AUMENTOS EN FRECUENCIA Y  
SU ESPECTRO

FIGURA 8

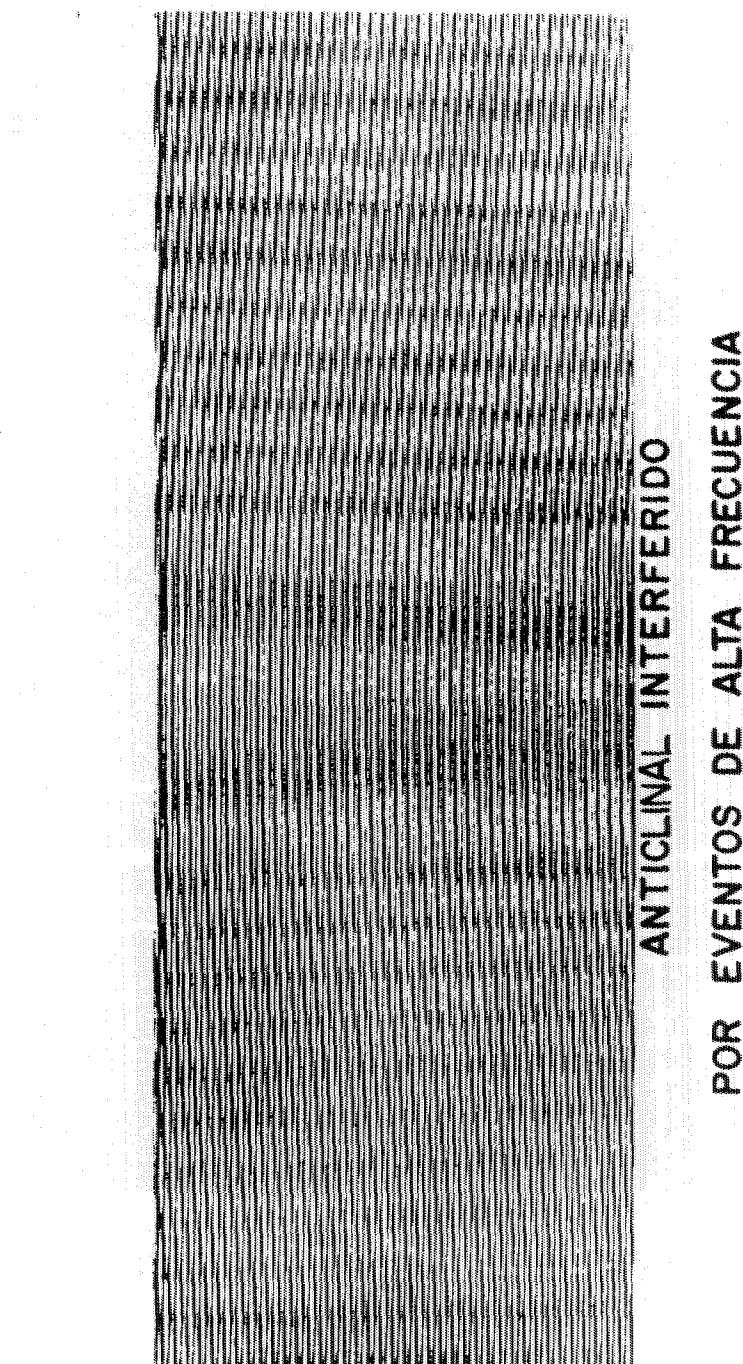


FIGURA 9-A

## FRECUENCIA INDEPENDIENTE DE BUZAMIENTOS APARENTES

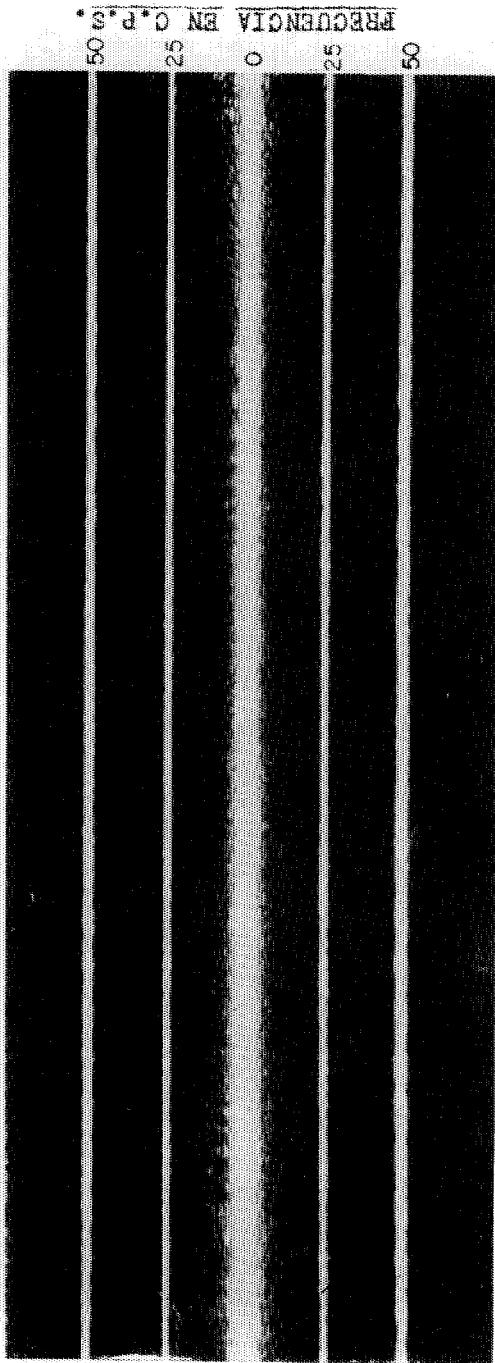
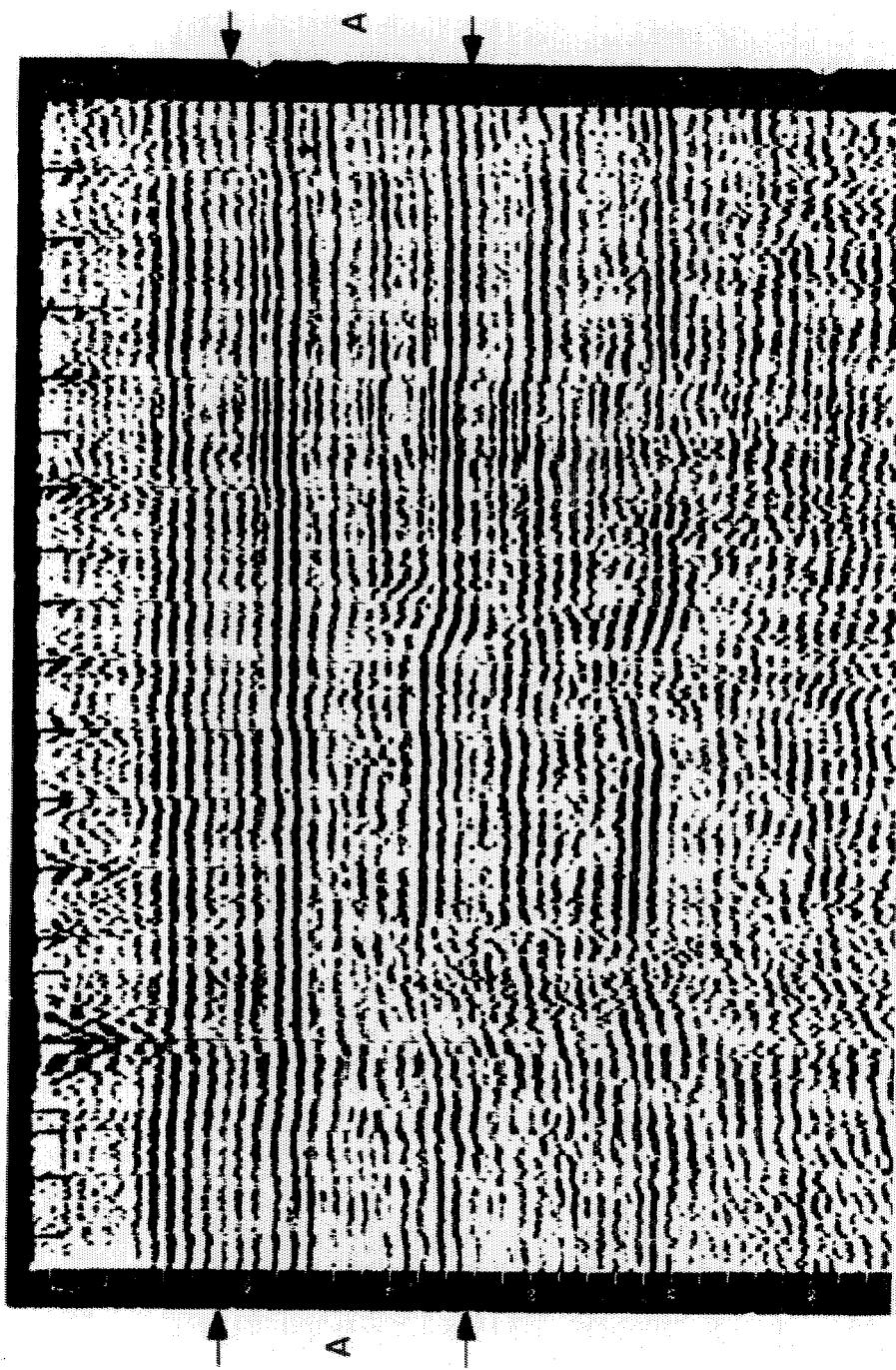


FIGURA 9.B

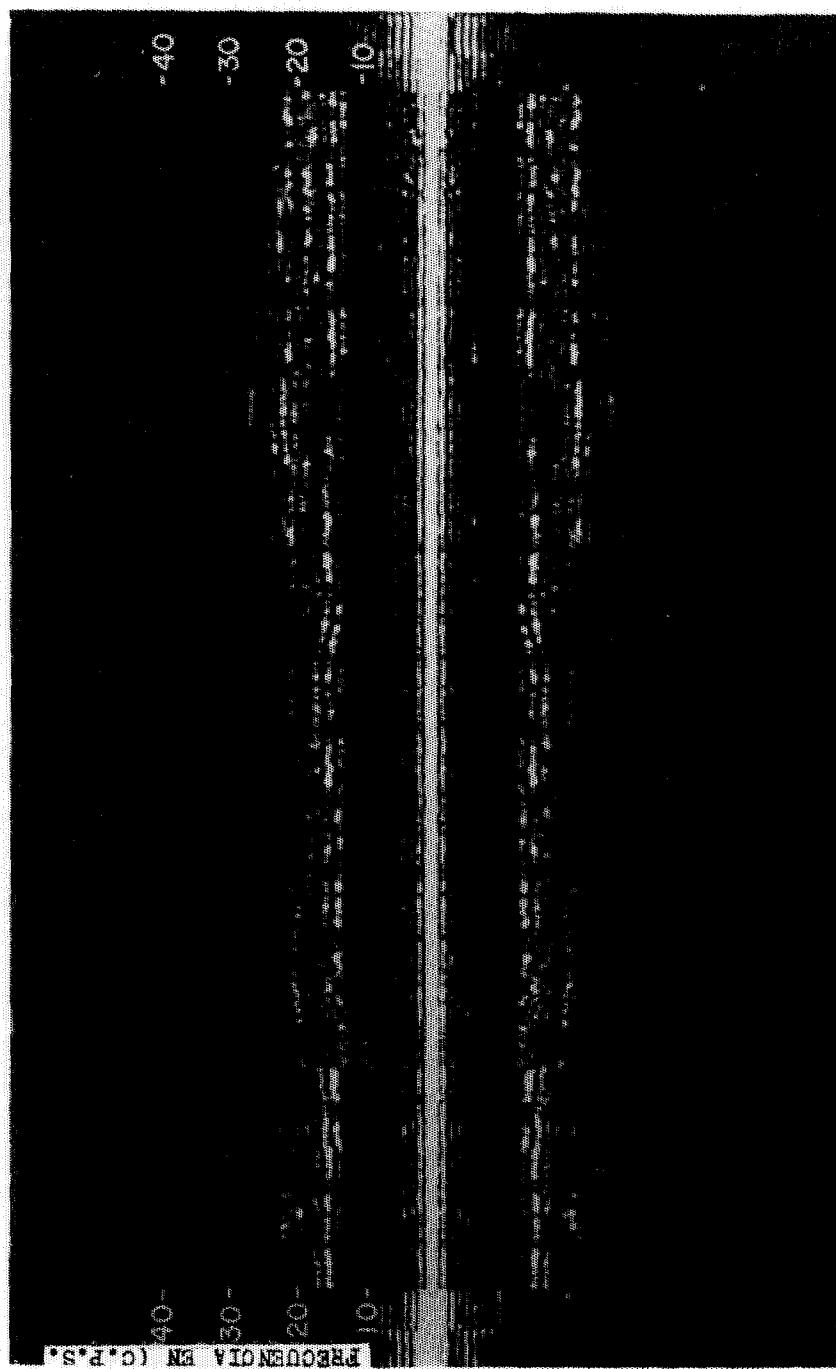
La Figura 10a es una sección clásica cruzando un conocido arrecife característico de Alberta. Levantamientos debidos a efectos de velocidad proporcionan en la sección a tiempo indicios de ambos márgenes del arrecife. La ventana "A" ha sido escogida con el propósito de que incluya el nivel del arrecife y un apreciable intervalo sobre éste. El espectro unidimensional de la ventana "A" (Figura 10b) indica un pronunciado aumento en frecuencia, tal como lo pronostica la teoría, en ambos lados cuando uno cruza el margen del arrecife hacia el arrecife mismo. Esta anomalía sugiere que la compactación y el adelgazamiento de las capas sobre el arrecife conocido, producen un aumento en la frecuencia de las reflexiones que sobre el nivel del arrecife se originan. Nótese también la abundancia de energía de alta frecuencia hacia el lado derecho de la sección. Esta zona puede relacionarse con el lado de la laguna del arrecife mientras que los más gruesos y homogéneos estratos hacia el mar dan origen a eventos de menor frecuencia. Esta desviación de frecuencia puede usarse como un factor adicional en la interpretación de arrecifes.

La Figura 11 muestra indicios de arrecife que hasta cierto grado han sido interferidos por múltiples secundarios. El nivel del arrecife se encuentra en el tercio inferior de la ventana "A". Un examen del espectro de la ventana "A" (Figura 12b) muestra un decidido aumento en frecuencia de la derecha hacia la izquierda, correspondiendo este aumento al margen derecho del arrecife. El margen izquierdo no está tan bien definido. A unos 29 cps se observa una franja de frecuencia que escasamente muestra alguna anomalía. Al interpretar esta franja, provisoriamente podríamos atribuirla a reflexiones múltiples o a energía que retorna de un nivel inferior al arrecife. Si rechazamos esta frecuencia con un filtro óptico de más o menos 2 cps de anchura, de inmediato relacionamos su origen en la sección a tiempo con ese evento de baja frecuencia hacia la parte inferior de la ventana "A". Entonces podemos correlacionar este evento con energía proveniente de abajo del arrecife, notándose que adelgazamiento de estratos no es de esperarse a este nivel y que la frecuencia de esta reflexión no sería afectado por la presencia del arrecife más arriba. El espectro de la ventana "B" muestra que la anomalía de frecuencia se extiende bastante hacia los sedimentos menos profundos, penetrando una gran discordancia. El espectro de la parte más superficial solo muestra una diferencia de aproximadamente un ciclo por segundo, pero esto es suficiente para ser potencialmente útil en la interpretación si los indicios más profundos fuesen ambiguos u obscurecidos por ruidos o múltiples.



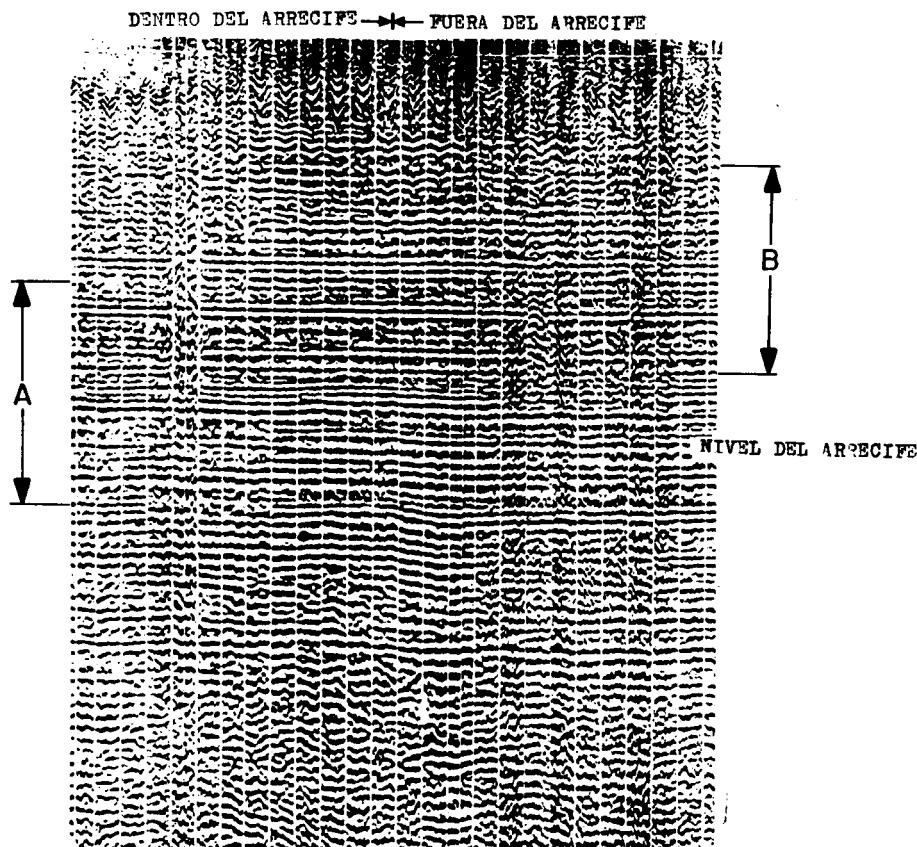
SECCION DE ARRECIFE EN ALBERTA, CANADA

FIGURA 10-A



**ESPECTRO DE LA ZONA A  
NOTESE EL AUMENTO DE FRECUENCIA SOBRE EL ARRECIFE**

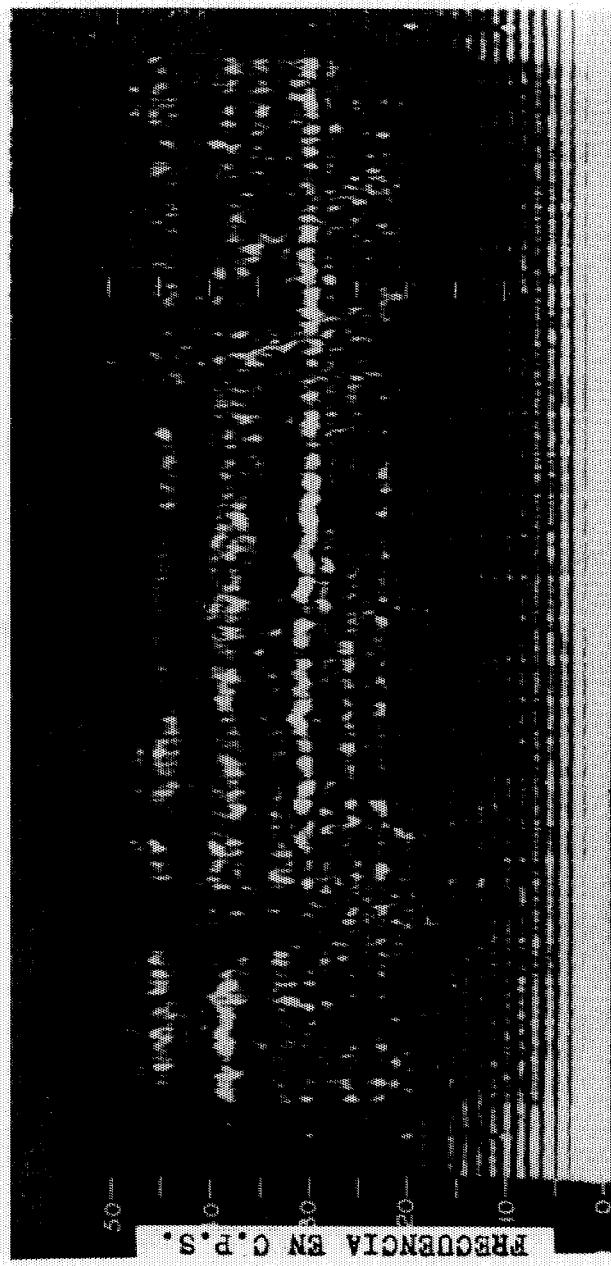
FIGURA 10-B



### SECCION DE ARRECIFE INTERFERIDA POR REFLEXIONES MULTIPLES

FIGURA 11

La Figura 13a muestra la sección, obtenida por el sistema "CDP", que condujo al primer pozo de descubrimiento en el Lago Rainbow del Canadá. A la altura del arrecife, como lo indica la sección, la litología pasa de una serie sedimentaria normal a una solución salina y finalmente a un gran arrecife hacia el lado derecho. La parte superior de los espectros de cuatro ventanas se comparan con el espectro de la totalidad de la sección en la Figura 13b. En el espectro de la sección completa ninguna anomalía es evidente. El espectro



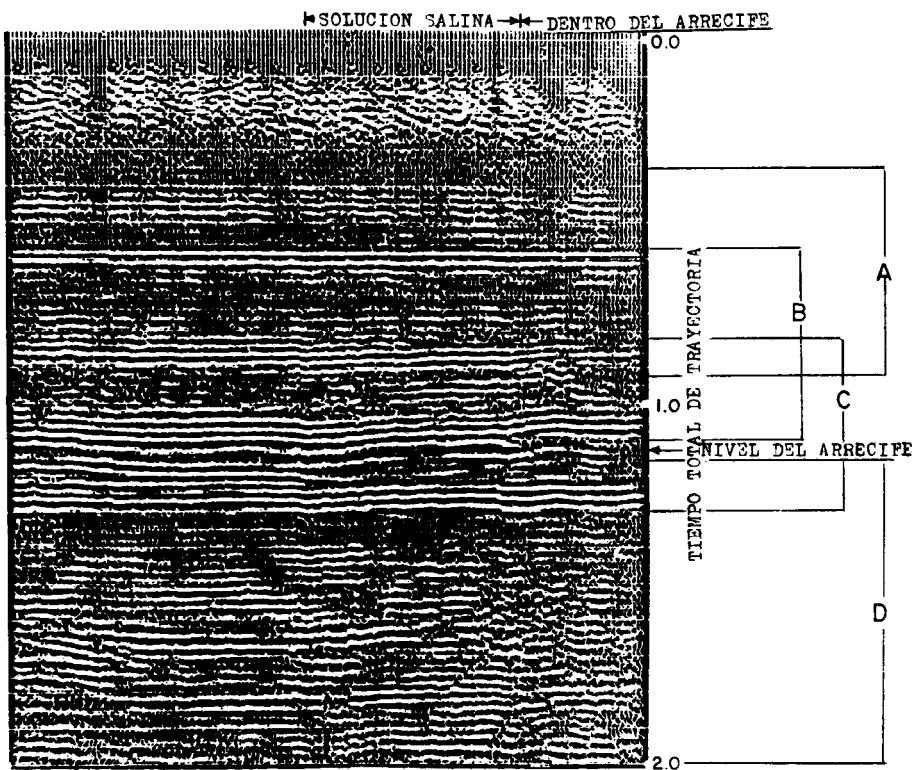
**NOTA SE ANOMALIA DE FRECUENCIA DE I CPS**

FIGURA 12-A

## BIEN DEFINIDO INCREMENTO DE FRECUENCIA SOBRE EL ARRECIFE EN LA ZONA B

FIGURA 12-B



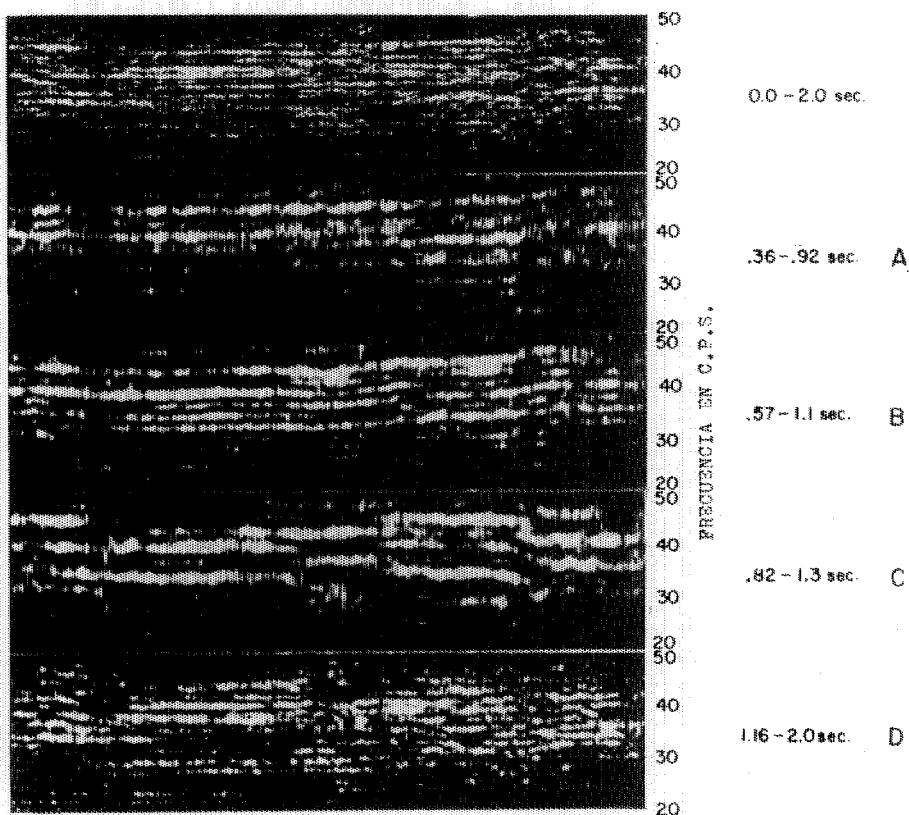


**SECCION SISMICA SOBRE UN ARRECIFE EN  
RAINBOW LAKE. CANADA**

FIGURA 13-A

de la franja “C”, que incluye el arrecife y los estratos superiores contiguos, muestra fuertes aumentos de frecuencia relacionados con los depósitos salinos y nuevamente con respecto al borde del arrecife. Este efecto no existe bajo el arrecife, como se puede ver en el espectro “D”. La anomalía disminuye hacia arriba como lo indican los espectros “A” y “B”, pero frecuencias altas perduran en la energía registrada sobre el arrecife.

El siguiente ejemplo (Figura 14a) es nuevamente de la área del Lago Rainbow. La sección consiste de registros con un 100% de cobertura únicamente. La sección cruza una zona donde una capa de sal se espesa bruscamente cerca de los límites de la sección, continuándose con espesor lo más alto a



**ESPECTROS DE ZONAS ARREGLADOS EN SERIE  
NOTESE INCREMENTO DE FRECUENCIA SOBRE  
EL NIVEL DEL ARRECIFE A LA DERECHA**

FIGURA 13-B

través del centro de la sección. Aunque un arrecife no está implicado aquí el principio de un aumento en frecuencia de reflexiones, regresadas de capas delgadas, depositadas sobre un área alta, es bien demostrada en la Figura 14b. A medida que la sal adelgaza y por ende va en solución en ambos cuerpos de la estructura, las frecuencias en el espectro "B" muestran una disminución conforme. Este espectro favorece reflexiones regresadas de un intervalo inmediatamente superior a la sal. El espctro "A" bastante arriba de la sal indica una convergencia de las franjas de frecuencia hacia la izquierda, lo cual sugiere un adelgazamiento general de los estratos hacia la derecha. No se ven anomálos

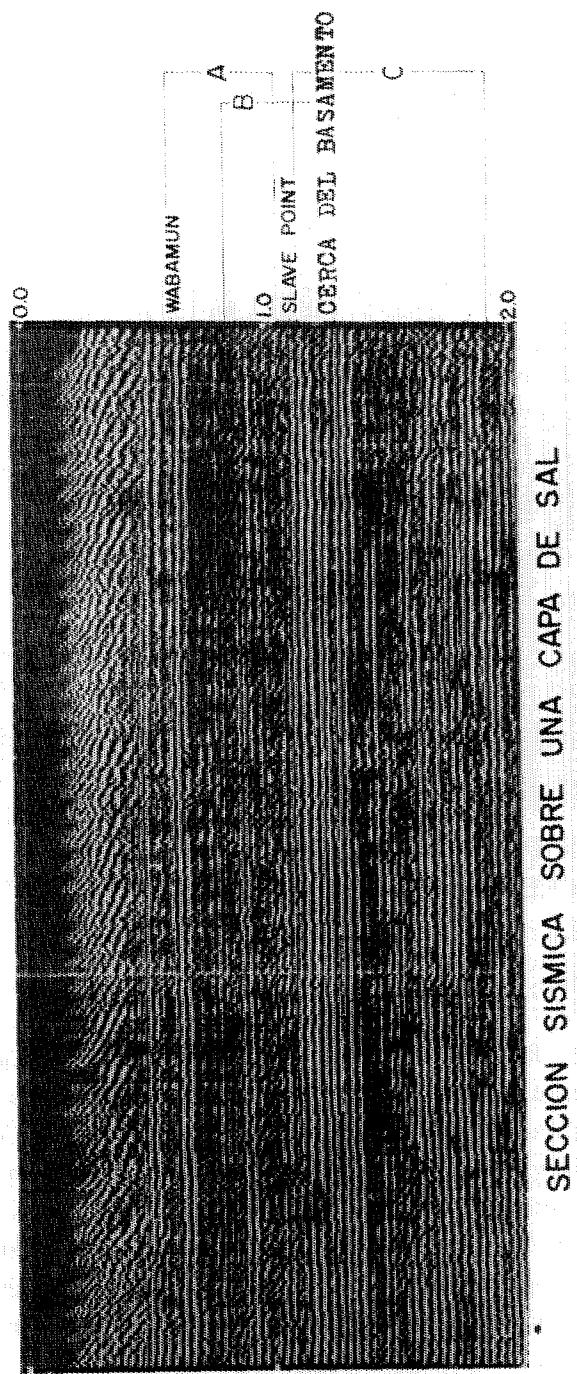
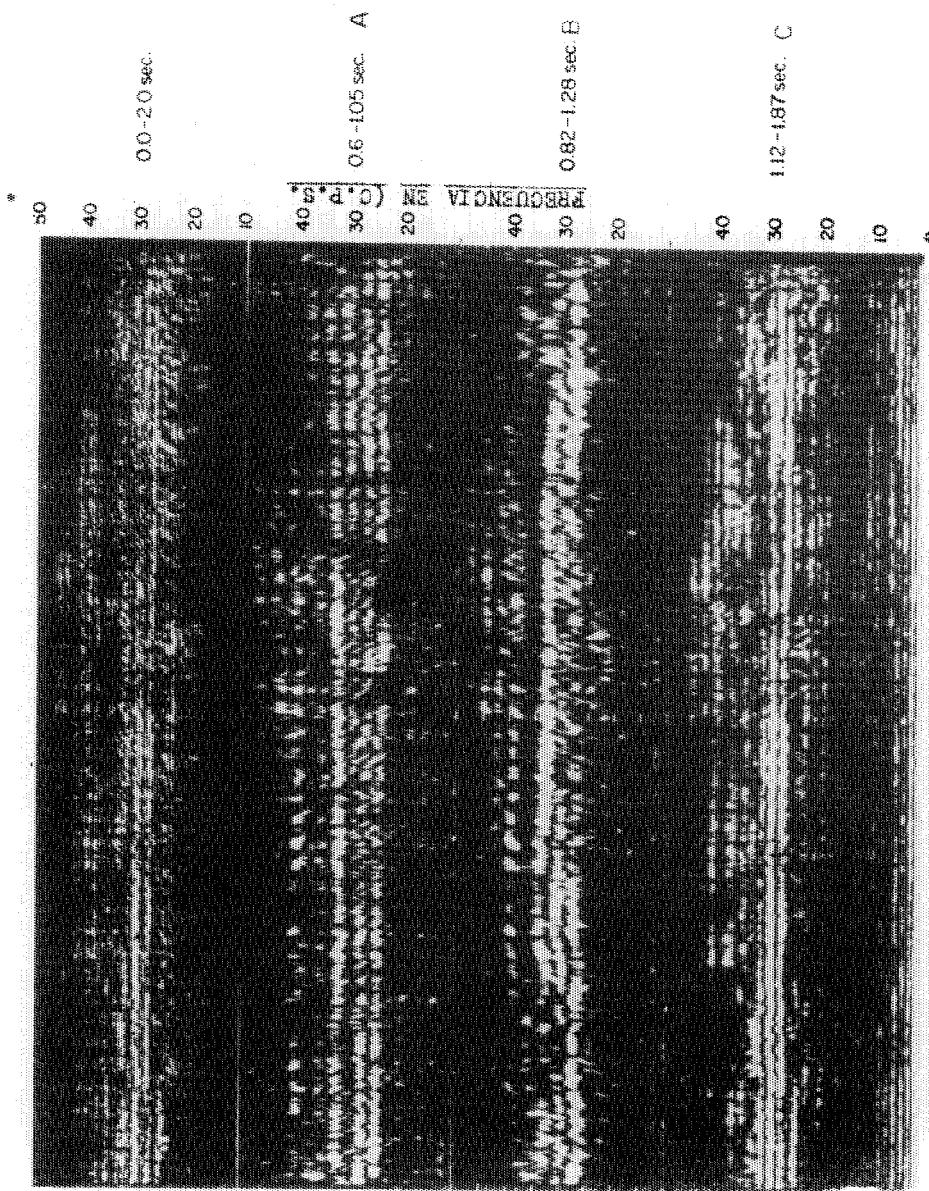


FIGURA 14-A



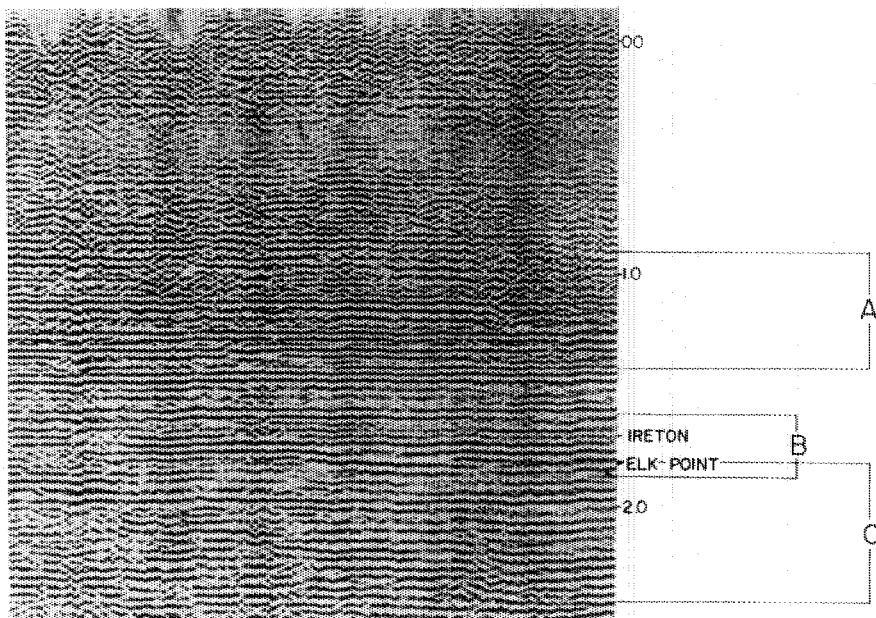
OBSERVESE INCREMENTO DE FRECUENCIA SOBRE EL NIVEL DE LA SAL Y LA AUSENCIA DE ESTE EFECTO EN LOS ESPECTROS MAS SUPERFICIALES ASI COMO MAS PROFUNDOS

FIGURA 14-B

aumentos de frecuencia. El espectro "C", concentrado en la zona baja del nivel de sal no muestra anomalía alguna, tal como era de esperarse. Perforaciones se han efectuado a ambos lados de esta estructura confirmando la interpretación tal como la indican los espectros de frecuencia.

En los ejemplos anteriores nos hemos preocupado con estructuras de arrecifes que han sido interpretables en las secciones a tiempo, aunque la anomalía en frecuencia contribuye apreciablemente al grado de confianza. Ahora abordaremos dos ejemplos donde la interpretación de arrecifes en la sección a tiempo en sí es más difícil. En ambos de estos casos no hay certeza de que los supuestos indicios de arrecifes en las secciones a tiempo puedan o no atribuirse a efectos de interferencia de múltiples.

Prueba de arrecifes en la sección mostrada en la Figura 15 es muy débil debido a interferencias de reflexiones múltiples a la altura de la Formación Ireton. Un borde de arrecife, sin embargo, fue interpretado en la sección



SECCION SISMICA AL TRAVES DE UN  
CONOCIDO ARRECIFE DEL TIPO DEVONIANO LEDUC

FIGURA 15-A

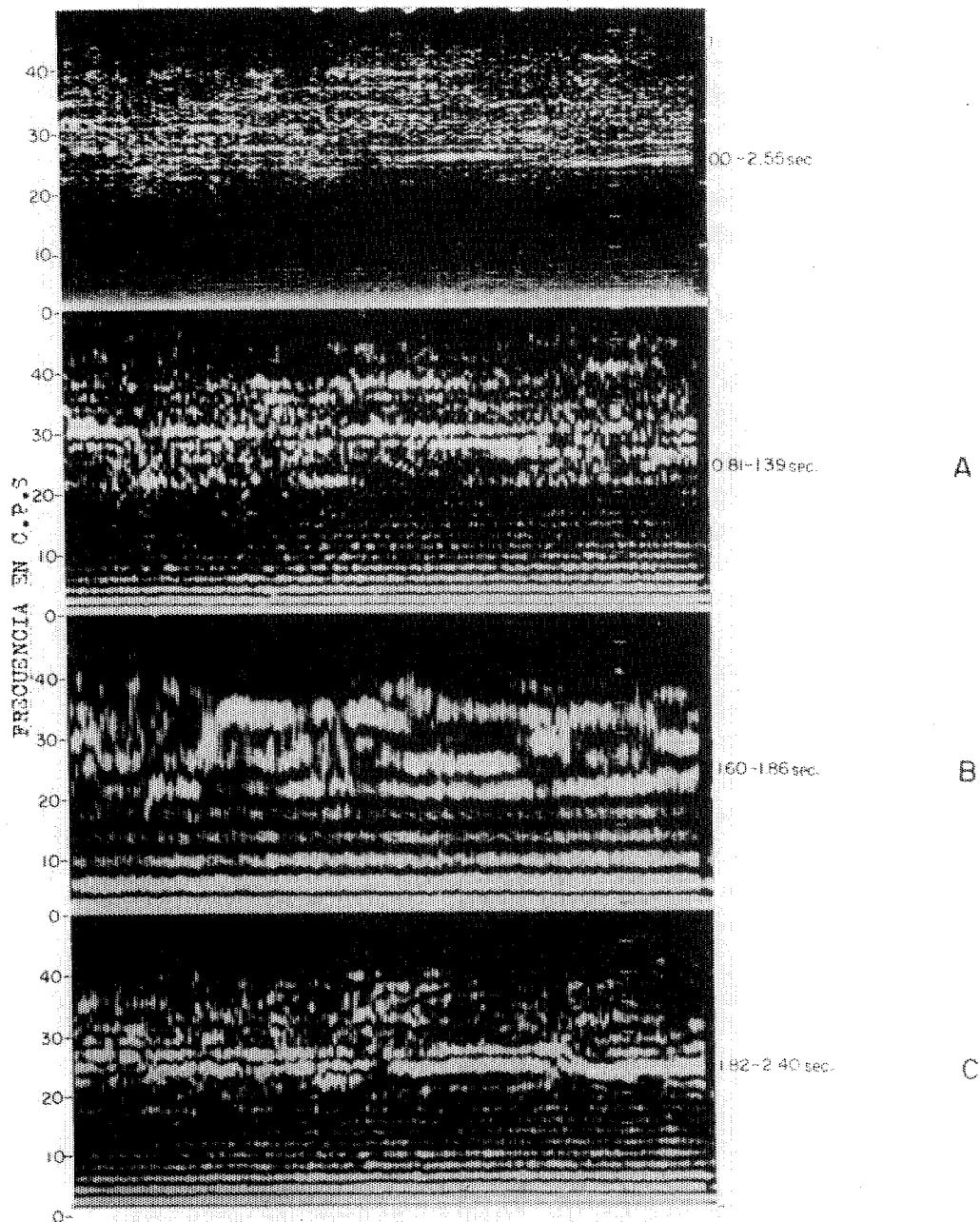
a tiempo, próximo al sitio marcado con un (1), el cuerpo del arrecife yaciendo hacia la derecha. Esta interpretación fue confirmada por el taladro. La serie de espectros en la Figura 15 (a y b) muestra evidencia que confirma la interpretación de un borde de arrecife: un cambio anómalo de frecuencia en el espectro "B" y uniformidad de frecuencias en los espectros "A" y "C", arriba y abajo del arrecife, respectivamente. Estos tres espectros indudablemente hubiesen aumentado el grado de confianza en la interpretación original.

Perforaciones posteriores indicaron una etapa de formación de arrecifes más reciente en el lado izquierdo de la sección. Según los datos de perforación, el arrecife parecía aumentar en espesor de 300 pies cerca de la posición (1) hasta unos 800 pies a la izquierda de la posición (2) pero es de dudarse que este cambio pueda interpretarse correctamente en base de un solo análisis de frecuencia. La interpretación de espectros de frecuencia relacionados con formas de arrecifes no comunes, así como condiciones sedimentarias irregulares, no solamente requiere considerable experiencia, sino que también el máximo de control sísmico posible.

En la sección a tiempo mostrada en la Figura 16 los indicios de arrecife fácilmente podrían pasar desapercibidos debido a interferencias de reflexiones múltiples. El espectro "B" en la Figura 16 (a y b) muestra bien definidos indicios de arrecife: un alto en frecuencia del orden de 3 cps en la franja principal de energía y una decidida escasez de energía de baja frecuencia en conjunto con una concentración de bien altas frecuencias en la vecindad del cuerpo de arrecife interpretado. La ausencia de semejantes cambios anómalos en los espectros restantes de la serie reforza la intrprétación de un arrecife al nivel de la Ireton. Debido a lo inconcluso de los datos originales en la sección a tiempo, esta área no ha sido perforada todavía.

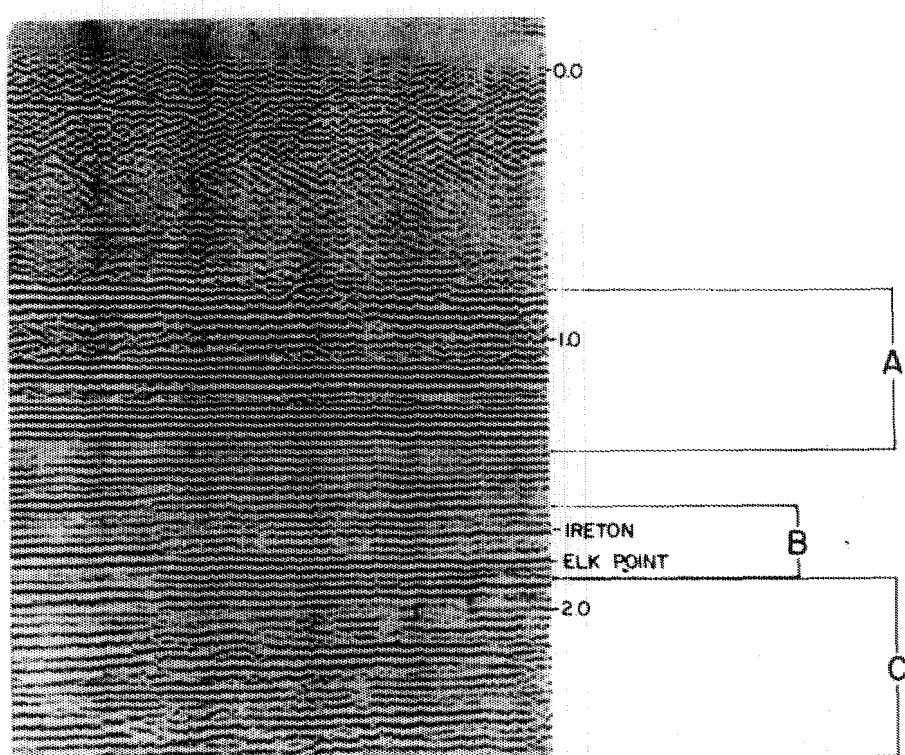
## CONCLUSIONES

Indicios de arrecifes en las secciones sísmicas frecuentemente son sutiles y elusivos. Nuestras investigaciones y resultados sugieren que mucha evidencia de arrecifes permanece desapercibida en el dominio de la frecuencia. Espectros de secciones sísmicas parecen tener un futuro importante como herramienta



**ESPECTROS MOSTRANDO LA ANOMALIA DEL ARRECIFE**

FIGURA 15-B

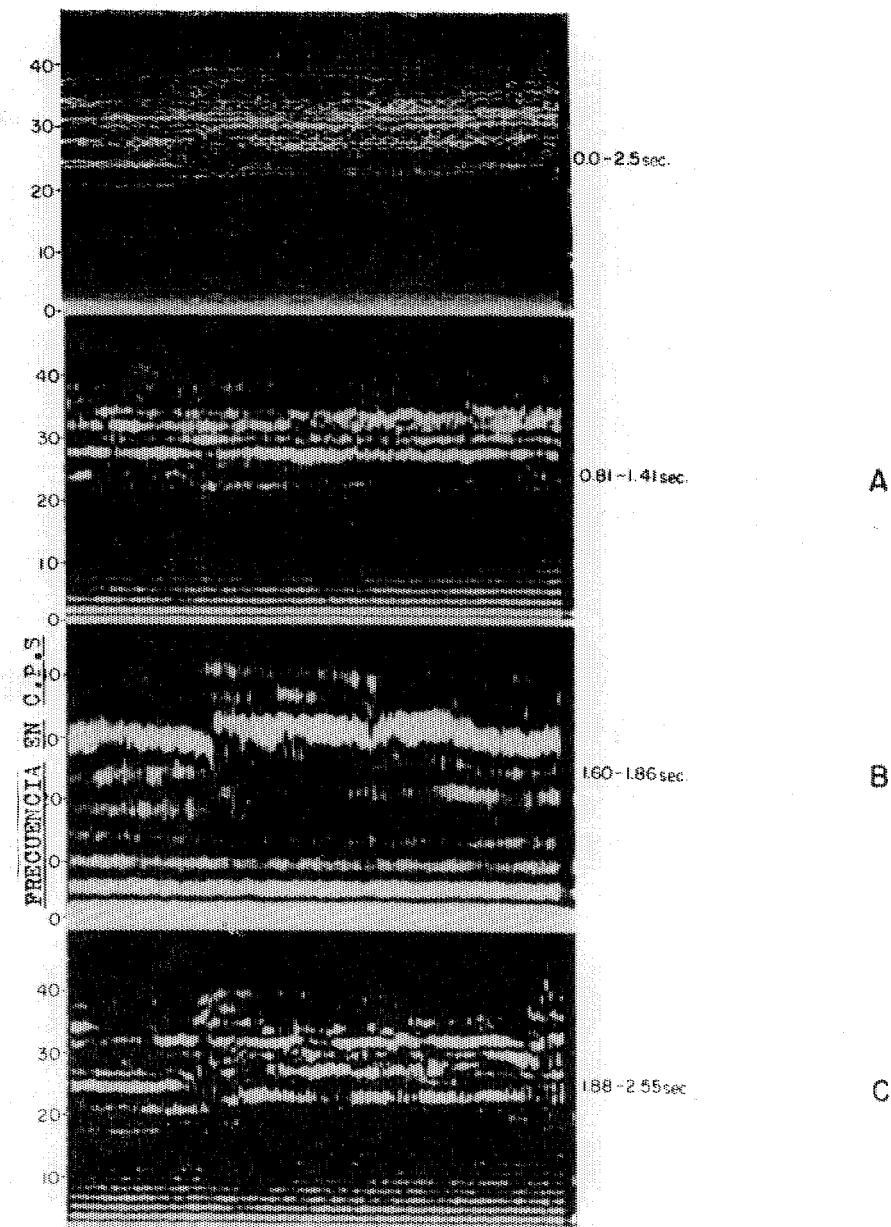


## SECCION SISMICA CRUZANDO UN POSIBLE ARRECIFE DEVONIANO

FIGURA 16-A

adicional en la interpretación de estructuras de arrecifes. Pueden también contribuir a una presentación más convincente de los datos durante la selección final de ubicaciones para perforar.

En un sentido más amplio, el uso de espectros sísmicos constituye una nueva forma de ataque a muchos problemas interpretacionales que confrontan al sector de exploración. El análisis de frecuencia puede proporcionar un concepto todo nuevo de ver datos sísmicos, uno tal vez de trascendente significado.



ESPECTROS CON UNA ANOMALIA DE ARRECIFE BIEN DEFINIDO

FIGURA 16-B

*AGRADECIMIENTOS*

*Los autores desearían expresar sus agradecimientos al Sr. W. R. Angus de la Angus Petroleum Consultants, Ltd., al Sr. A. E. Pallister de la Pallister Consultants, Ltd., a las varias compañías petroleras y en especial a la revista Geophysics por haber permitido la exhibición de secciones tan esenciales a la presentación de este trabajo. También deseáramos agradecer al Dr. Milton B. Dobrin por su ayuda y consentimiento para la presentación de ejemplos e ideas previamente publicados bajo su coautoría.*

**BIBLIOGRAFIA**

- Clewell, D. H., and Simon, R. F., 1950, Seismic wave propagation: Geophysics, v. 15, pp. 50-60.
- Dobrin, M. B., and Fitton, J. C., 1967, Optical processing and interpretation: Geophysics, (to be published).
- Dobrin, M. B., Ingalls, A. L., and Long, J. A., 1965, Velocity and frequency filtering of seismic data using laser light: Geophysics, v. 30, pp. 1144-1178.
- Fitton, J. C., and Patterson, S. O., 1966, Optical frequency analysis with applications to marine ringing problems: Presented at the 41st annual meeting of the Pacific Section A. A. P. G., S. E. G., S. E. P. M. at Long Beach, California.
- Jackson, P. L., 1965, Analysis of variable density seismograms by means of optical diffraction: Geophysics, v. 30 pp. 5-23.
- Jakosky, J. J., and Jakosky Jr., J. J., 1952, Frequency analysis of seismic waves: Geophysics, v. 17, pp. 721-738.
- Peterson, R. A., Fillippone, W. R., and Coker, F. B., 1955, The synthesis of seismograms from well log data: Geophysics, v. 20, pp. 516-538.
- Shugart, T. R., 1944, Frequency discrimination in the low velocity zone: Geophysics, v. 9, pp. 19-28.
- Woods, J. P., 1956, The composition of reflections: Geophysics, v. 21, pp. 261-276.

# GENERALIDADES DE LOS DEPOSITOS DE AZUFRE DE LA CUENCA SALINA DEL ISTMO DE TEHUANTEPEC

Por el Ing. Rubén Pavón \*

## INTRODUCCION

El presente trabajo se preparó con la finalidad de dar a conocer algunos aspectos de los depósitos de azufre que se presentan asociados a los domos salinos del Istmo de Tehuantepec.

Inicialmente se hace una somera descripción de la Cuenca Salina del Istmo, destacando las características de los altos salinos contenidos en el tercio Occidental, por ser los de mayor atractivo desde el punto de vista azufre.

Condensamos la hipótesis biogenética sobre el origen de los casquetes y el azufre contenido en ellos, para un mayor entendimiento del problema que planteamos en cuanto a lo irregular de los depósitos comerciales del metaloide.

Se comenta la exploración realizada a la fecha en el Istmo y lo reportado por ella, haciendo una descripción de cada domo o estructura salina contenadora de azufre y estableciendo las superficies tan relativamente pequeñas que se requieren para constituir un yacimiento comercial de este mineral.

Como complemento se presentan también aspectos de la explotación, los resultados registrados, finalizando con recomendaciones y conclusiones sobre el tema presentado.

---

\* Comisión de Fomento Minero.

## ANTECEDENTES

La exploración de principios de siglo realizada por las compañías petroleras en el Istmo de Tehuantepec, constituyó la primicia para el conocimiento y desarrollo de una de las zonas de mayor interés económico en nuestro país.

Si bien estos trabajos iniciales se concentraron en la búsqueda de hidrocarburos, varios de los pozos barrenados en la primera década de esta centuria atravesaron formación azufrosa, constituyendo este hecho la base para que posteriormente, en la década de 1940-50, se promoviera el desarrollo de la exploración azufrera, cuya culminación está registrándose en el presente año.

Se puede indicar que antes de 1967 fueron siete las empresas que con mayor o menor intensidad exploraron diferentes áreas por azufre en el Istmo de Tehuantepec; las siete descubrieron yacimientos de ese mineral, alcanzándose el nivel económicamente explotable en cinco de ellas y retirándose las dos restantes por incosteables. De estas cinco empresas cuatro se han mexicanizado acorde a las leyes vigentes y en este año de 1967 han iniciado sus trabajos con el mismo propósito de explorar azufre, nueve compañías también mexicanizadas.

## LA CUENCA SALINA DEL ISTMO

Localizada en la planicie costera del Golfo de México en la región Sur del Estado de Veracruz y media Occidental de Tabasco, su extensión no ha quedado definida satisfactoriamente al permanecer inciertos sus límites Norte, por extenderse hacia la plataforma continental y el límite Oriental que a la fecha se prolonga hasta el domo de Medellín al Oriente de Villahermosa (Figura 1). El límite Sur lo constituyen las estribaciones de la Sierra Madre del Sur y el Occidental una línea común a la carretera transístmica en su tramo Acayucan-Campo Nuevo, prolongada al NE hasta la Laguna del Ostión y penetrando a la plataforma continental del Golfo de México.

Con base en los datos proporcionados fundamentalmente por Petróleos Mexicanos se le puede estimar a la Cuenca una superficie de 20,000 Km<sup>2</sup> aproximadamente, con un eje Norte-Sur de 90 Km y Este-Oeste de 300 Km, sin reparar en las variaciones de sus bordes.

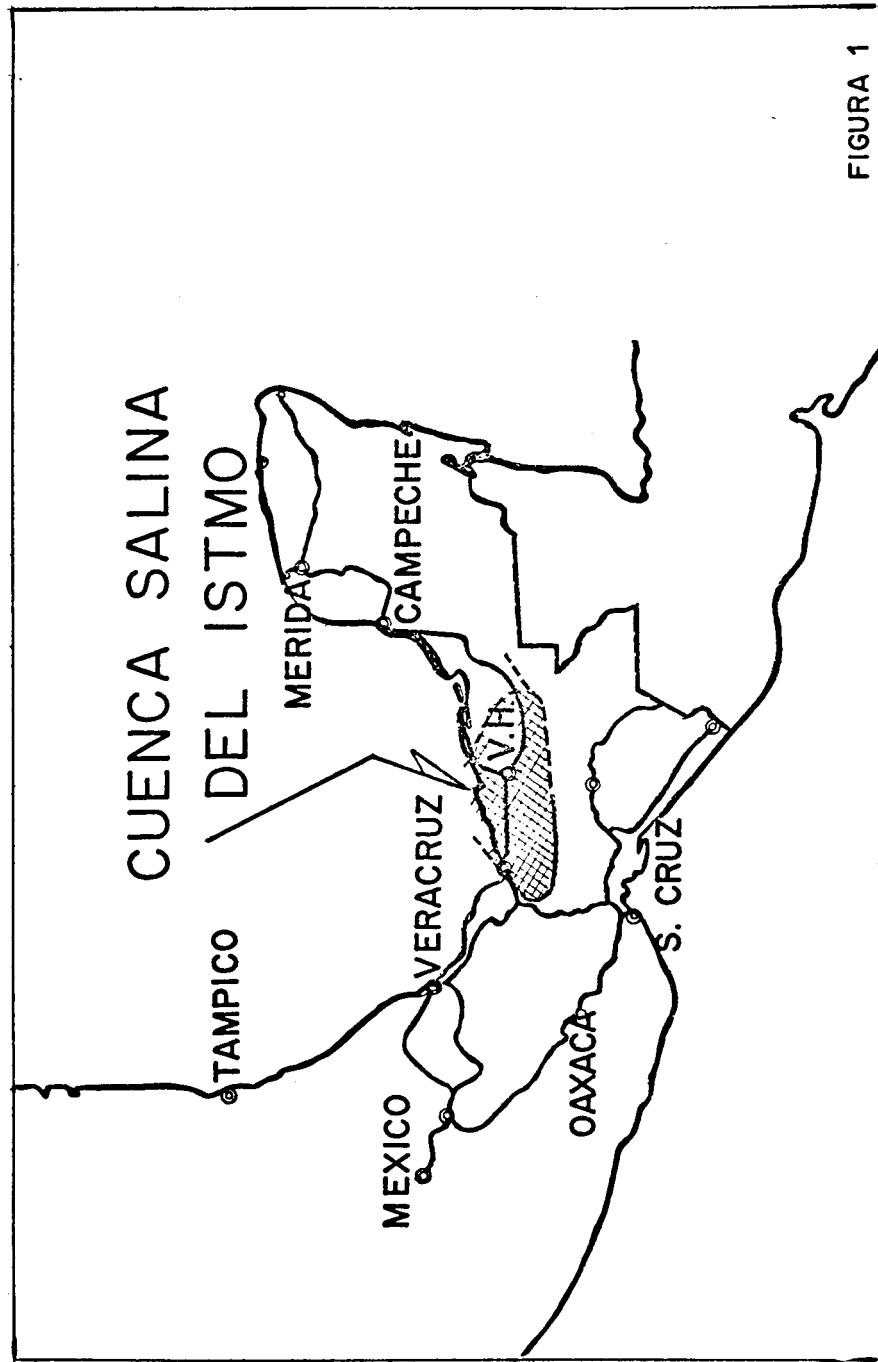


FIGURA 1

Como en toda exploración de este tipo los trabajos desarrollados han consistido en geología superficial, geofísica y perforación de pozos. Actualmente se estima que han sido perforados más de cuatro mil quinientos pozos entre petroleros y azufreros dentro de la Cuenca. Por azufre al 30 de Septiembre pasado se habían barrenado 2,900 pozos.

Con esta información se ha determinado la estratigrafía detallada de la zona, identificándose sedimentos dentro de la Cuenca que van del Pleistoceno al Jurásico los que no relataremos mayormente al considerar que han sido suficientemente descritos por varios autores y por lo tanto debidamente conocida la columna estructural, así como las discordancias en áreas particulares.

Ha sido aceptado darle a la sal una edad Triásico-Jurásica y la estratificación de ella poco se conoce en virtud de que contados barrenos se han profundizado lo suficiente para obtener una mayor información de su núcleo que permita determinar sus características litológicas y petrográficas.

La excepción a esta falta de exploración la constituyen los pozos perforados por Petróleos Mexicanos en Tuzandépetl, Soledad y Pajaritos, así como la exploración que por sales de potasio realiza el Consejo de Recursos Naturales no Renovables en la "Isla de Tancamichapa". Con base en la información obtenida de estos sondeos se ha determinado que está constituida en su mayoría por cloruro de sodio con una cantidad menor de residuos insolubles; estas impurezas varían para las diferentes capas y diferentes áreas pero conservan un promedio entre el 2 y 10% y estando constituidas estas impurezas en un 99% por anhidrita. La sal se ha encontrado interestratificada por capas de espesor variable de lutitas y arenas principalmente en su cima. A la fecha se desconoce el espesor de la sal pero se ha estimado superior a los 3,000 m. En el pozo Tuzandépetl N° 5 se perforaron 2,590 m de sal sin atravesarla. También se ha estimado que en algunas áreas la sal se ha levantado más de 2,500 m.

## LOS DOMOS SALINOS DEL ISTMO

Estando también suficientemente expuestas la Geología Histórica y la Geología Estructural de la Cuenca Salina del Istmo (H. Contreras, G. P. Salas, M. Alvarez, etc.), no deseamos sino hacer resaltar las características

especiales de su tercio Occidental en el que la sal forma amplios levantamientos salinos (Figura 2), muy próximos a la superficie, lo que constituye un atractivo para la exploración azufrera que tiene limitaciones de profundidad en cuanto a la explotación del metaloide.

En la figura indicada se pueden observar los extensos "domos" de Jáltipan, Almagres, Medias Aguas, Moralar, Manatí, etc., que a escasos 500 m de profundidad se unen, constituyendo una sola masa salina con altos y depresiones locales, orientados los ejes de dichos altos en sentido NE-SW. Estas estructuras salinas tan someras se prolongan al SE hasta los "domos" de Cascajal, San Pedro, Pedregal y Laguna Nueva.

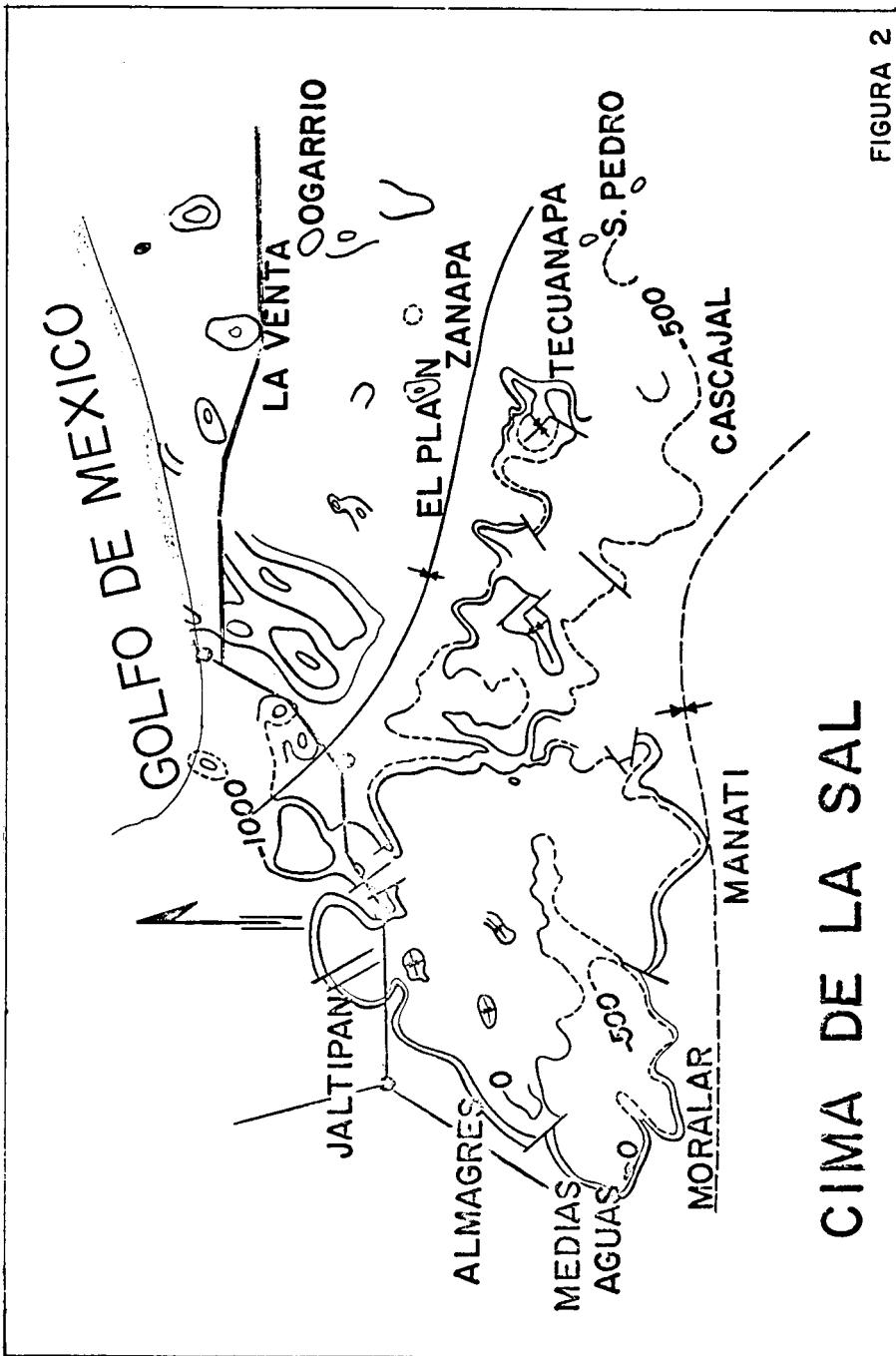
Contrasta esta morfoogía salina con la que se presenta al Norte, próxima al Golfo de México, y al Noroeste y Oriente hacia donde la sal se hunde, constituyéndose domos individuales bastante parecidos a los conocidos en la Costa del Golfo de los Estados Unidos.

La separación entre estos dos tipos de estructuras salinas queda definida por una línea NW-SE que hacemos pasar al Norte de la ciudad de Minatitlán, paralela a los plegamientos de la Sierra Madre del Sur y que se prolonga hasta el flanco Norte del domo de Laguna Nueva.

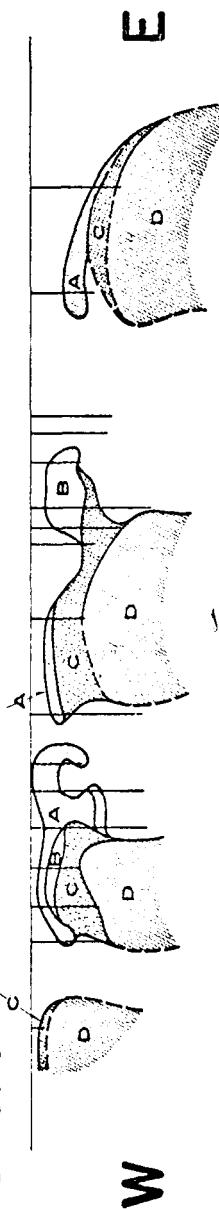
Al Norte de este sinclinal regional las culminaciones de los domos salinos yacen a más de 500 metros de profundidad, con excepción del de Zanapa, el que por cierto se presenta como un domo típico constituido por una verdadera columna de sal que se eleva posiblemente por más de 3,000 m hasta quedar a escasos 100 metros de la superficie. Al Sur los altos salinos culminan a profundidades no mayores de 150-200 m.

En ocasiones estas culminaciones son pequeñas y exageradamente próximas entre sí, como se presenta en los denominados "domos" Amezquite (Figura 3) de los que se hablará más adelante.

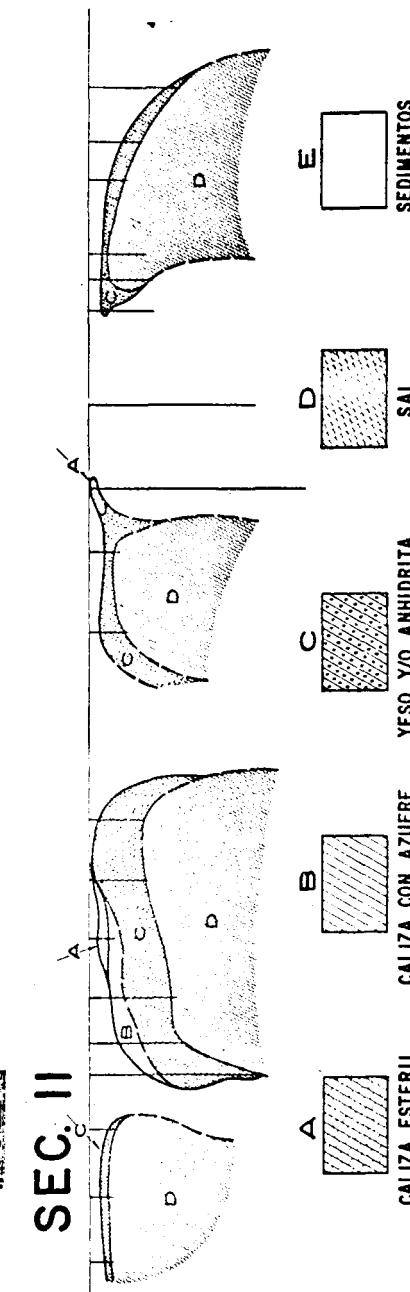
Actualmente se tienen conocidos unos 75 domos salinos, los que en su gran mayoría se localizan en la mitad Occidental de la Cuenca Salina.



SEC. I

**"DOMOS" AMEZQUITE**

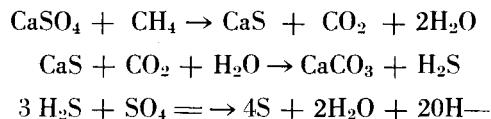
SEC. II



## LA FORMACION DEL CASQUETE Y ORIGEN DEL AZUFRE

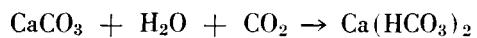
Por trabajos realizados por Ralph E. Taylor, Hanna y Goldeman se ha demostrado que la acumulación residual de la anhidrita contenida en la sal motivó la formación de un casquete sobre la masa salina de ese sulfato insoluble. Este fenómeno se presenta cuando el domo salino crece atravesando sedimentos y poniéndose en contacto con acuíferos que disuelven la sal, quedando cristales de anhidrita como residuo. Estos cristales son compactados y recristalizados para formar el casquete de anhidrita masiva y que hidratada dá lugar al yeso.

Experimentos realizados en laboratorio han demostrado que la anhidrita se reduce en presencia de los hidrocarburos, cuya existencia se ha comprobado en los casquitos, formándose *caliza* y *azufre* según las reacciones siguientes tan conocidas:



Se ha experimentado con hidrocarburos más pesados que el metano con resultados positivos. Cabe indicar que para que estas reacciones ocurran y se logre acumular azufre en las cantidades que se conoce, es necesario disponer de altas temperaturas (600-700 °C) lo cual fue imposible se presentara en los sedimentos.

Para satisfacer este requerimiento se ha demostrado que bacterias anaerobias queman hidrocarburos como fuente de energía, usando azufre en lugar de oxígeno como captador del hidrógeno. Los productos finales son ácidos sulfídrico y calcita. El H<sub>2</sub>S reacciona más lentamente con el ión sulfato produciéndose azufre elemental y agua. El azufre disuelto en agua saturada con H<sub>2</sub>S se transforma en polisulfuro y puede precipitarse posteriormente como azufre cristalino. También se ha observado que el CO<sub>2</sub> redisuelve parte de la calcita produciéndose cavernas en el casquete.



La ausencia de azufre en casquetes calcáreos posiblemente se deba a escape del  $H_2S$ , reaccionando en ocasiones con fierro por ejemplo, por lo que es común encontrar pirita y marcasita en la caliza.

Este proceso ha sido comprobado con la química nuclear, estudiando los cuatro isótopos estables del azufre pero preferentemente la relación  $S^{32}/S^{34}$  en anhidrita de la sal, del casquete y en el azufre elemental de los depósitos. Igual estudio se hizo con los isótopos del carbón, tanto del casquete como de los hidrocarburos de la Costa del Golfo y comparándola con la reacción  $C_{12}/C_{13}$  de la caliza sedimentaria obteniéndose una conclusión determinante.

Por lo arriba explicado, la hipótesis del origen biogénético de los depósitos azufrosos es la actualmente aceptada.

Como corolario sobre este particular señalaremos que en el Sureste de México se han cortado casquetes de más de 400 m de espesor con un contenido de azufre neto de más de 30 m (Figura 4).

Es de sumo interés hacer notar que los casquetes calcáreos con azufre se han encontrado en el Istmo prácticamente desde la superficie (Amezquite y Texistepéc) hasta profundidades mayores a los 3,000 m (Pozo Panal No. 8 y San Ramón 1A). Si bien como quedó expresado líneas atrás la explotación Frasch tiene limitaciones, esta información nos aumenta notablemente el intervalo con posibilidades, refutando hipótesis restrictivas en cuanto a la profundidad.

## LA EXPLORACION AZUFRERA

Dos de las compañías azufreras actualmente en operación y una extinta, iniciaron sus trabajos en la década de los cuarenta y concentraron sus esfuerzos en desarrollar las manifestaciones de azufre reportadas por los pozos petroleros perforados a principios de siglo en los domos de San Cristóbal, Jáltipán, y Amezquite. Las dos que aun permanecen operando han logrado desarrollar los más importantes depósitos azufrosos del Istmo.

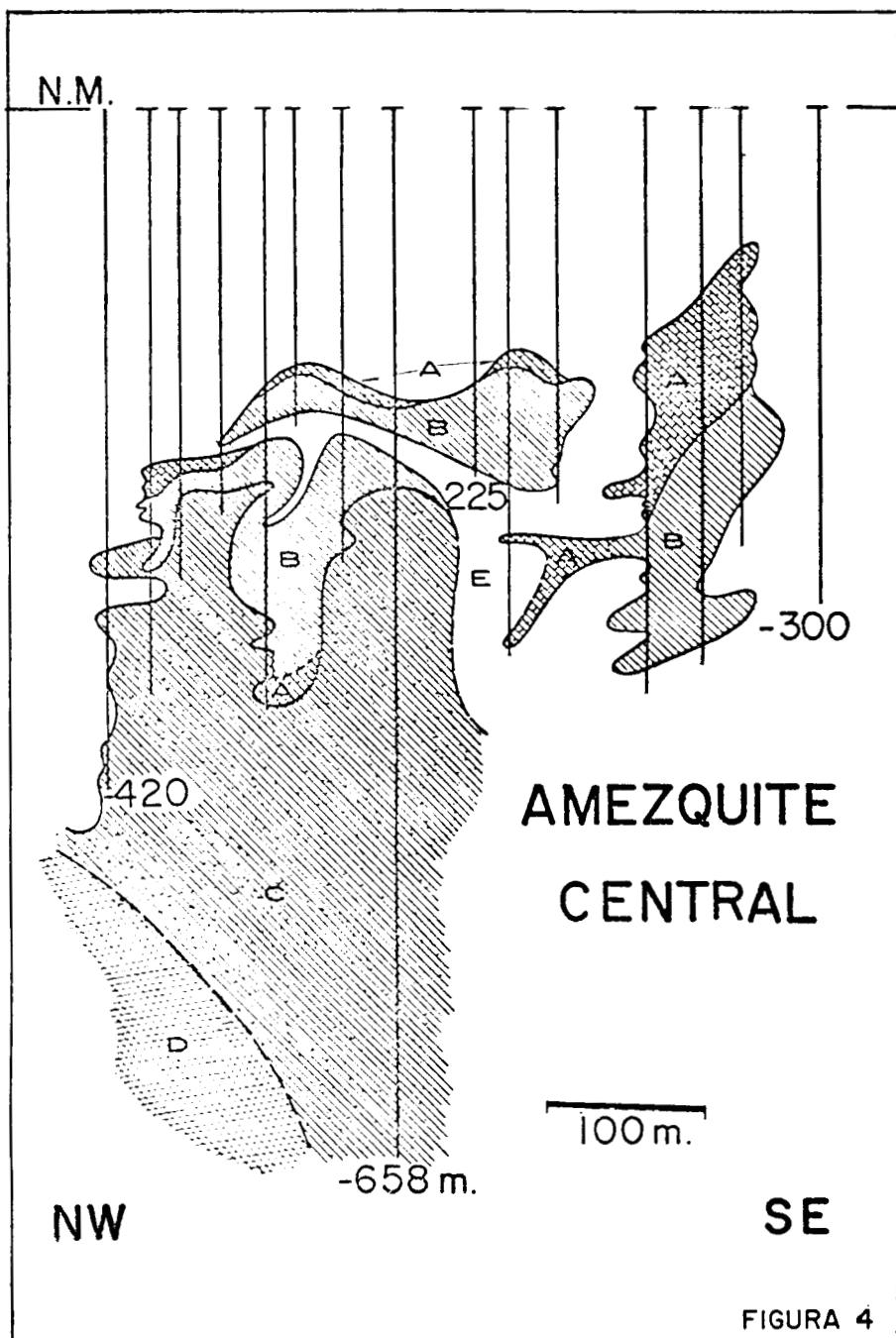


FIGURA 4

En cambio para la Cía. Exploradora del Istmo, S. A. fue necesario iniciar una exploración geofísica, principalmente gravimétrica, previa recopilación de los trabajos de geología superficial y del subsuelo realizados en una extensa superficie con fines petroleros, sentándose la base para probar con la barrena las estructuras salinas definidas.

Siempre se ha considerado que la exploración por pozos realizada por esta Empresa en la mayoría de los "domos" que obraron en su poder fue insuficiente, posiblemente ocasionada por la idea de descubrir otro yacimiento, semejante al ya conocido en esas fechas en el domo de Jáltipan, así como haber dispuesto de relativamente poco tiempo para efectuar más perforaciones.

Como una prueba de esta aseveración se tienen los resultados alentadores que ha obtenido recientemente una de las nuevas empresas en un área devuelta por Exploradora del Istmo, así como el hecho de que varias de las áreas bajo las cuales se sabe existen altos salinos y fueron también devueltos por esta Empresa, han sido solicitadas en concesión por las nuevas empresas.

Al analizar Nettleton los resultados obtenidos con las mediciones gravimétricas observó que eran diferentes a los de la Costa del Golfo de Texas y Louisiana, debido a la diferente naturaleza de los sedimentos situados arriba y alrededor de la masa salina, encontrándose que la densidad de dichos sedimentos tienen un promedio de 2.2 muy semejante a la densidad de la sal. En Texas y Louisiana la sal es más ligera que los sedimentos, observándose anomalías negativas cuando se tiene un domo salino.

Igualmente Nettleton señaló que la ausencia de anomalías negativas en las estructuras profundas del Norte de la Cuenca se debió a no tenerse contraste entre la sal y los sedimentos y por lo tanto no se produjeron las fuerzas fluctuantes que tienen gran importancia en la formación de los domos de sal y que éstos se formaron posiblemente por movimientos tectónicos normales, lo que originó las formas alargadas que tienen y orientadas NE-SW. Esto se confirma con la geología superficial, la que define muy aceptablemente los domos someros (Jáltipan, Almagres, etc.).

Esta particularidad de la gravedad observada en la Cuenca del Istmo se considera favorable para localizar casquetes gruesos someros, puesto que el contraste de la densidad de éstos de mayor densidad, con los sedimentos, será relativamente grande y la gravedad sobre el domo está menos perturbada por las masas salinas.

Cuando la gravimetría reportaba anomalías interesantes se hicieron líneas de sismología de refracción para obtener la configuración salina. Con estos trabajos se interpretó que la profundidad de la sal entre altos salinos no era mayor a 1,000 m, mientras que la sal en los sinclinales entre domos de la Costa del Golfo americana, es cuando menos de 3,000 m.

Este hecho mancomunado con la forma alargada que presentan los altos salinos ha motivado que se le denomine como estructuras y no domos "pier-cement".

La exploración geofísica hecha por Exploradora del Istmo en una amplia zona de la Cuenca Salina reportó resultados medianamente satisfactorios debido a que como se indicó anteriormente, pocos fueron los altos salinos que se probaron exhaustivamente con la barrena y todos los que se exploraron encontraron casquete formado principalmente por anhidrita y/o yeso; notándose también que por lo general la Compañía localizó sus pozos en las cimas de las estructuras, dándole mínima importancia a los flancos en los que actualmente se han descubierto los mayores contenidos de azufre.

Un ejemplo de la bondad del método gravimétrico para definir casquete en estructuras someras se presenta en la Figura 5. En ella puede observarse que los máximos de la gravedad residual (1.2 miligales) que tuvieron en Texistepec, al probarse con la barrena reportaron espesores gruesos de casquete, tanto en la parte central del Lote que está muy somera (entre 0 y —100 m), como al Oriente que se encuentra al casquete a mayor profundidad (entre —150 y —300 m). Afortunadamente además de comprobarse esta anomalía se encontró parte del casquete constituido por caliza con azufre comercial.

Por el contrario, la anomalía negativa que se observa en la parte media inferior (—1.2 miligales) se ha comprobado que es una depresión local tal y como lo indica la configuración de la cima del casquete que también se presenta en esta figura.

Resultados semejantes en cuanto a la determinación de gruesos espesores de casquete someros se obtuvieron en Cabritos (con la mayor anomalía registrada: 5.8 miligales), Almagres, Medias Aguas, Moralar, Soconusco, El Encanto, Yucatecal, etc. Sin embargo, a la fecha no se ha descubierto azufre comercial en ninguno, pero actualmente se está realizando nuevas exploraciones en varios de ellos.

## GRAVEDAD RESIDUAL vs. ESPESOR

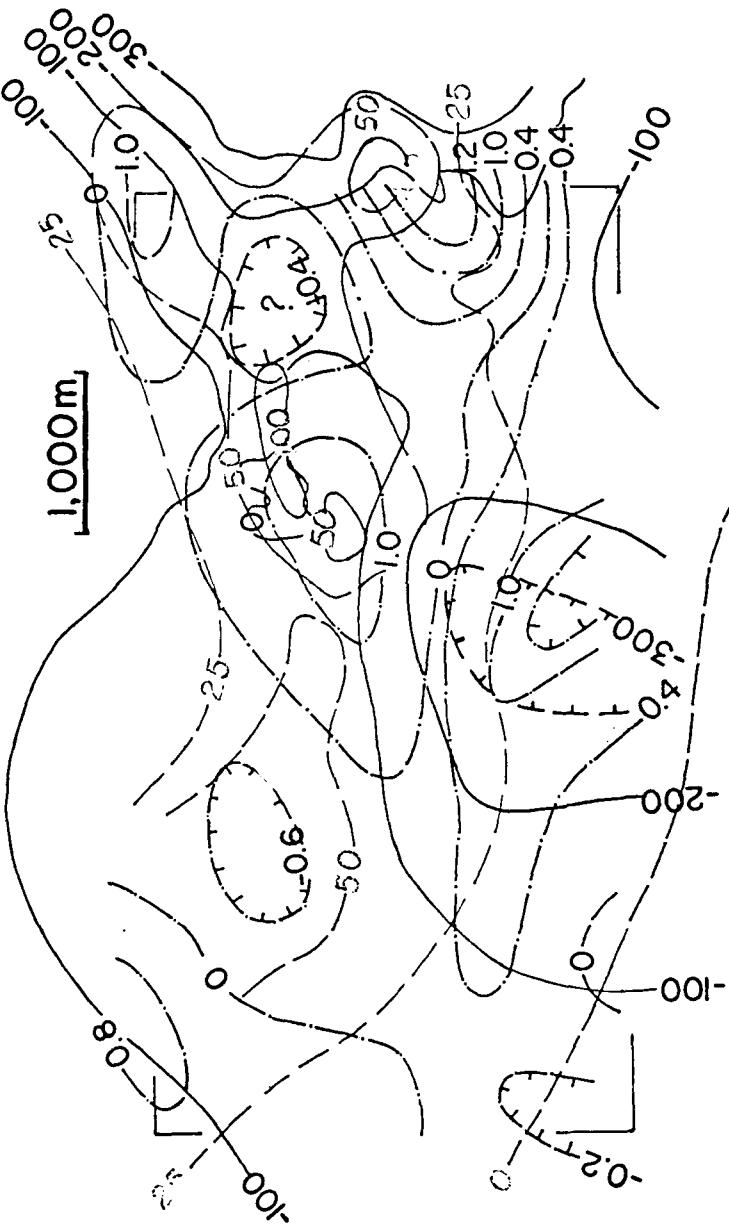


FIGURA 5

Con el propósito último indicado, algunas empresas realizaron nuevos trabajos geofísicos con mayor detalle tanto de refracción como gravimétricos, empleando el método analógico o digital para interpretar conjuntamente los valores observados. Para mejorar resultados en ocasiones se trata de determinar directamente la velocidad de propagación en las diferentes capas del subsuelo, así como sus densidades.

Desafortunadamente este tipo de exploración indirecta no determina la presencia del azufre en el subsuelo, requiriéndose la barrenación de pozos para probar la estructura.

De gran ayuda han resultado para afinar la interpretación, la información proporcionada por pozos anteriormente perforados y los que se están barrenando exprofeso en diferentes altos salinos.

Por otra parte y esta es la finalidad principal de este escrito, deseamos hacer resaltar las características tan especiales y a la vez propias de los depósitos de azufre conocidos en la Cuenca Salina del Istmo de Tehuantepec, puesto que de un mayor conocimiento de ellos derivará un perfeccionamiento en la búsqueda de nuevos depósitos y posiblemente se concebirán nuevos métodos que auxilien en esta búsqueda que actualmente resulta tan onerosa.

## LOS DEPOSITOS AZUFROSOS

Encontrándose el azufre comercial y explotable por el sistema Frasch asociado a la caliza, derivados ambos del casquete de anhidrita y/o yeso y el que a su vez se originó de la masa salina, ocasiona que su presencia en los domos o estructuras salinas sea sumamente irregular, tanto en el sentido vertical como horizontalmente y que aunado a presentarse en estado sólido los yacimientos azufrosos requieren de una área mínima para constituirse en depósitos económicamente costeados, lo que dificulta en grado sumo su descubrimiento.

## DOMO DE JALTIPAN

Para ilustrar lo antes indicado, analicemos primeramente el Domo de Jáltipan que es a la fecha en donde se localizan las mayores reservas de azufre de México y que presentamos en la figura 6. Definida la estructura por la configuración en la cima de la sal, en ella se han situado las cinco áreas mineralizadas a la fecha conocidas y cuya independencia está comprobada.

DOMO DE JALTIPLAN  
CIMA SAL

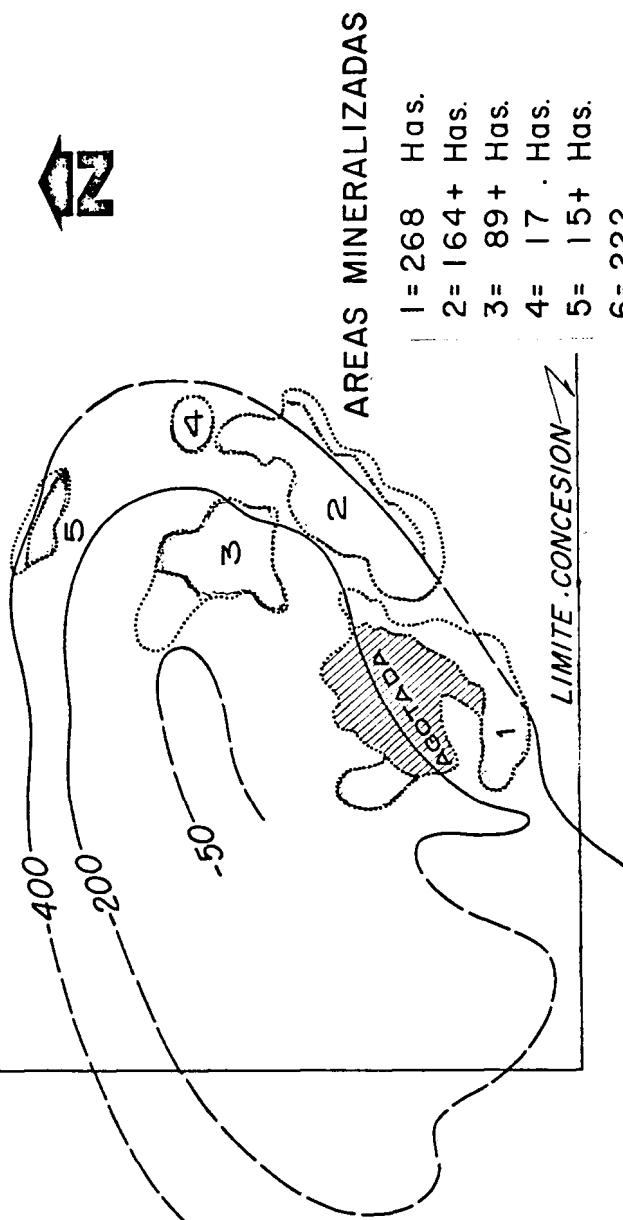


FIGURA 6

En el cuadro se han indicado las superficies de cada una de ellas y para dar idea de su contenido de azufre citaremos que del Área 1, la única que se ha explotado según se hace resaltar como zona agotada, a la fecha se han extraído más de 12.9 millones de toneladas en un período de trece años. El espesor promedio de caliza en esta Área es del orden de 30 m y el espesor máximo de azufre neto cortado por un pozo barrenado en ella es de 21 m.

Las posibilidades de las Áreas 2, 3 y 5 aún no se definen como se indica en la misma Figura 6. En total se han perforado aproximadamente 800 pozos dentro de esta Concesión.

En general se puede asentar que esta estructura es muy regular y que la secuencia del casquete no presenta mayores complicaciones, como puede observarse en la Figura 7. Lo que sí conviene hacer resaltar son los gruesos espesores de formación azufrosa que se presentan en el flanco del domo, interdigitado en ocasiones por yeso y/o anhidrita, de ahí nuestra recomendación de que un buen número de pozos lleguen hasta la sal. Estas secciones corresponden al Área 1 de la que antes se habló y están orientadas NW-SE.

También se puede observar en esta figura que cuando está próximo el borde del domo o en la cima de la estructura, dentro del casquete se presentan intercalaciones de lutita a las que se les ha determinado una edad más reciente de la que se supone tienen los casquitos, por lo que se han interpretado como provenientes de los bordes o de la parte superior de la estructura.

Cabe indicar que no en todas las lutitas atravesadas dentro del casquete se encuentran fósiles; comúnmente se presentan unas lutitas negras a las que no ha sido posible determinarles la edad y que junto con el almagre normalmente encontrado antes de cortar la formación salina se han interpretado tentativamente como depositadas en la Cuenca al mismo tiempo que las evaporitas.

## DOMOS DE AMEZQUITE

En la Figura 8 se presentan los depósitos de azufre que se han localizado dentro de la Concesión Mezquital. Los que se observan más amplios apenas si cubren una superficie de 45 Has., habiéndose producido del que aparece en la parte inferior derecha más de 3.3 millones de toneladas de azufre.

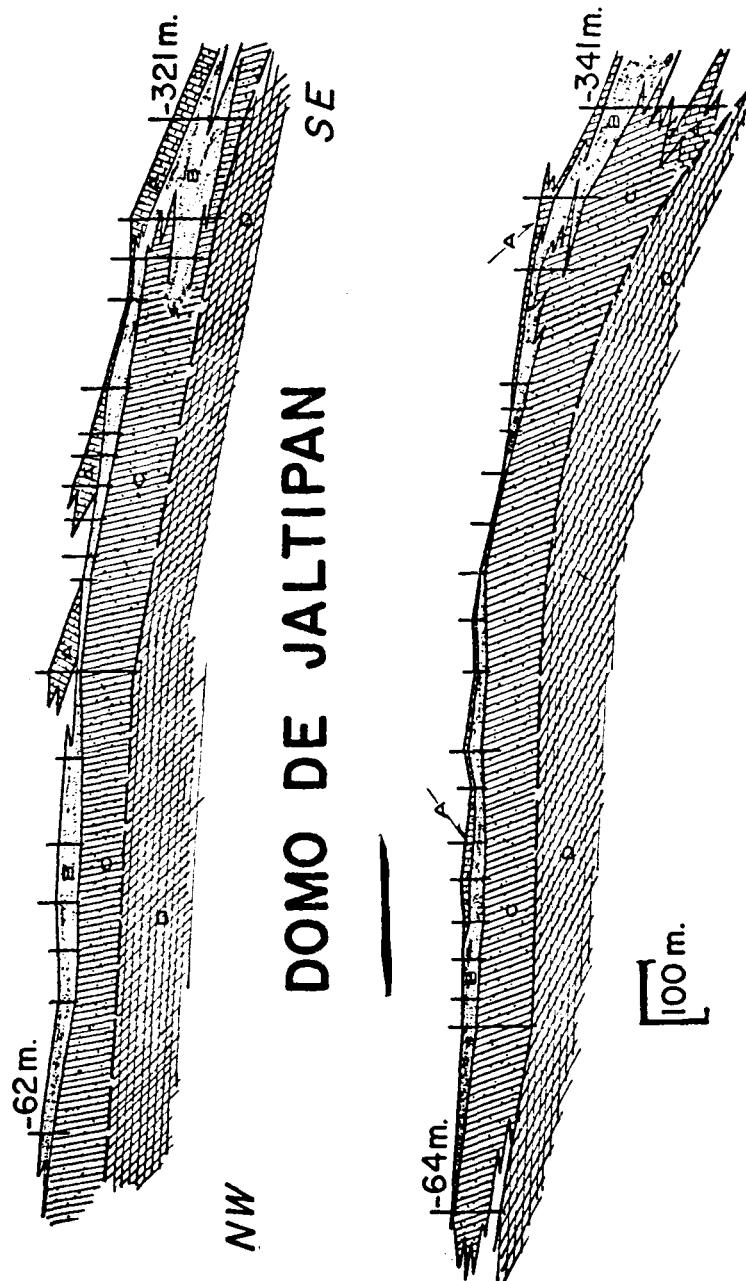


FIGURA 7

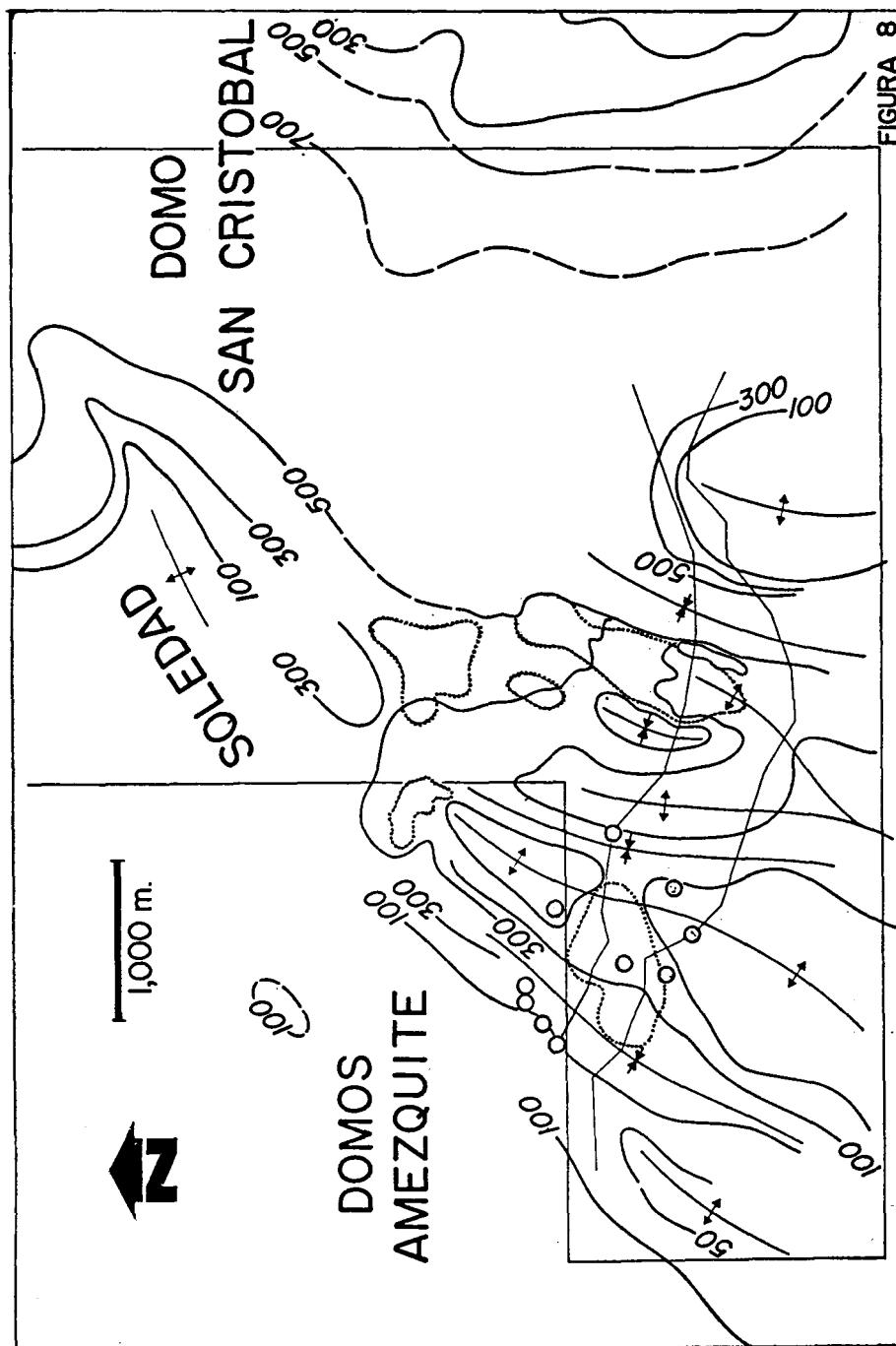
La configuración que se presenta es de la cima del casquete, pudiéndose observar que se han interpretado cuatro altos salinos en escasos 6 Km en el sentido Este-Oeste.

Antes de continuar sobre este particular, deseamos aprovechar la misma Figura 8 para hacer notar la dificultad que presenta descubrir los depósitos de azufre. En efecto, antes de conocerse el depósito de la izquierda se habían perforado los nueve pozos que se indican en la Figura 8 con círculos y en los que no se cortó formación azufrosa, sino hasta perforar el pozo que por coincidencia se localiza en el centro de lo que posteriormente se desarrolló como un depósito azufroso con los límites señalados. Debe repararse en que la exploración inicial realizada por dichos pozos, no obstante su recomendable distanciamiento, no había sido suficiente, por lo que es de pensarse en la necesidad de que antes de condenar una área ésta se haya barrenado exhaustivamente. Cabe indicar que cuatro de esos pozos habían cortado interesantes espesores de caliza estéril.

Continuando con la interpretación que se hizo de los cuatro apófisis salinos en Amezquite, las trazas de las secciones que aparecen en la Figura 8 corresponden a las presentadas en la Figura 3 y en la que se puede observar que la citada interpretación se basó en los datos reportados por suficientes pozos que en ellas se indican.

Además puede observarse en la sección superior, o Nº 1, que en ocasiones los casquetes se presentan asimétricamente colocados sobre la sal y “flotando” sobre los sedimentos. También nótense lo pequeño de estas intrusiones salinas en las que a la fecha no se ha determinado su conexión a profundidad, no obstante haberse profundizado un pozo a más de 1,000 m.

En el levantamiento más oriental de la Sección 2, la Cía. de Azufre Veracruz, S. A., perforó dos pozos que penetran buen intervalo en la sal e inclusive uno de ellos se terminó en lutita suponiéndose que se debió a la recumbencia que normalmente tienen las intrusiones salinas (“overhang”) y así ha quedado interpretado.



Un detalle del “domo” productor de Amezquite fue presentado en la Figura 4 cuando se habló de los gruesos espesores de casquete y azufre cortados en él quedando pendiente hacer mención a las intercalaciones tan irregulares de lutitas que se han observado en el casquete, llegando en ocasiones a dividir el cuerpo calcáreo. Esta separación ha sido comprobada en la explotación, pues habiéndose producido azufre de la sección superior, la inferior se ha encontrado posteriormente sin calentar en su mayor parte.

Otra sección paralela a la anterior se presenta en la Figura 9, la que comprende uno de los contados pozos que han llegado a la formación salina en este levantamiento. El cuerpo de caliza que aparece a la derecha de la figura, aflora al Sur de esta sección y constituye el llamado “Cerro de Cal”, elevándose a más de 45 m sobre la superficie del terreno. Este hecho aparentemente desfavorable no impidió que se produjera azufre económicamente costeable en áreas vecinas a él.

### DOMO DE TEXISTEPEC

El descubrimiento de azufre hecho por Exploradora del Istmo en lo que ahora se ha definido como estructura de Texistepec y cuya perforación se basó en la interpretación geofísica anteriormente descrita, ocasionó que dos compañías solicitaran terrenos colindantes a los de aquella empresa, lográndose definir nuevos depósitos de mineral los que hemos señalado en la Figura 10.

La estructura de Texistepec cubre una superficie de aproximadamente 15,000 Has, estando la mayor parte de ella comprendida por la cima, por ser una estructura bastante plana con pequeños apófisis y depresiones locales. Los bordes Occidental y Noroccidental son los únicos que a la fecha se han definido con un buzamiento muy marcado, contrariamente al flanco Sur y al Oriental donde la pendiente es suave y a una profundidad no mayor de 200 m vuelve a levantarse para formar los altos vecinos de Almagres, Tatagapa y La Cié nega. Al Noroeste se separa del domo de Jáltipan por una posible falla orientada NE-SW localizada ligeramente al Sur del FF. CC. Nal. de Tehuantepec.

En la mayor parte de los 366 pozos perforados por las tres empresas que han explorado esta estructura se encontró casquete sobre la masa salina, por lo general constituido por yeso y/o anhidrita.

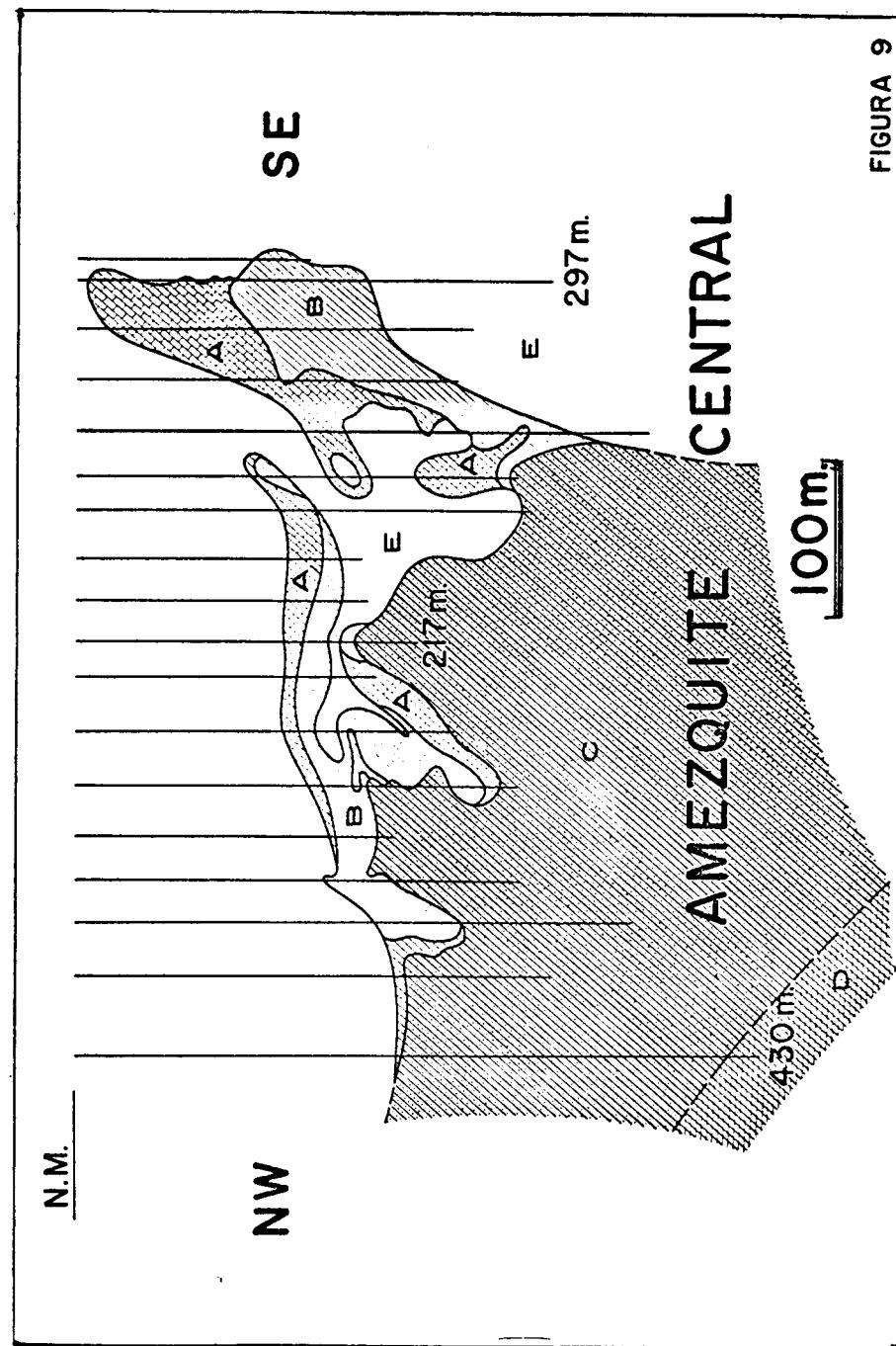
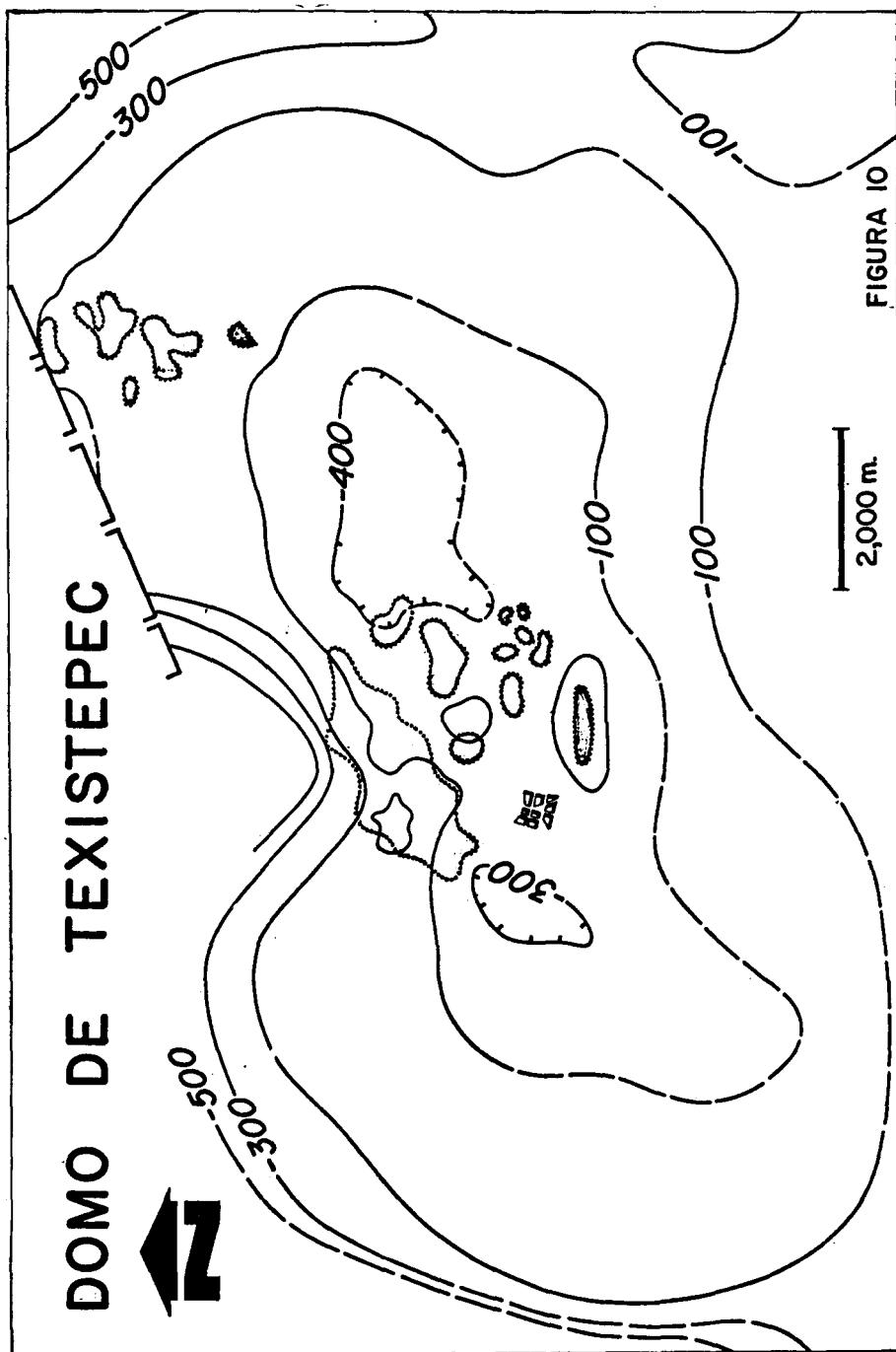


FIGURA 9



Los desarrollos calcáreos se presentan aislados constituyendo los múltiples bolsones de mineral señalados en la figura que se analiza. Los cinco que se observan al NE yacen a una profundidad que varía de 15 a 100 m B.N.M., siendo de 35 m el máximo espesor calcáreo atravesado y de 4.7 m el espesor mayor de azufre neto. El cuerpo de casquete calcáreo es continuo pero irregular en espesor y en contenido del metaloide, se extiende por no más de 40 Has., la caliza a la fecha conocida.

Características semejantes se presentan en los pequeños depósitos que aparecen al Sur, pero yaciendo a mayor profundidad (200-400 m) y con más alto contenido del metaloide.

Presentándose las características de todos estos depósitos muy parecidas en cuanto a contenido de mineral, espesores, etc., las mayores reservas de esta estructura quedan comprendidas obviamente, dentro del área que aparece con una mayor extensión (250 Has.), y que en su gran mayoría está en poder de la Cía. Exploradora del Istmo, S. A.

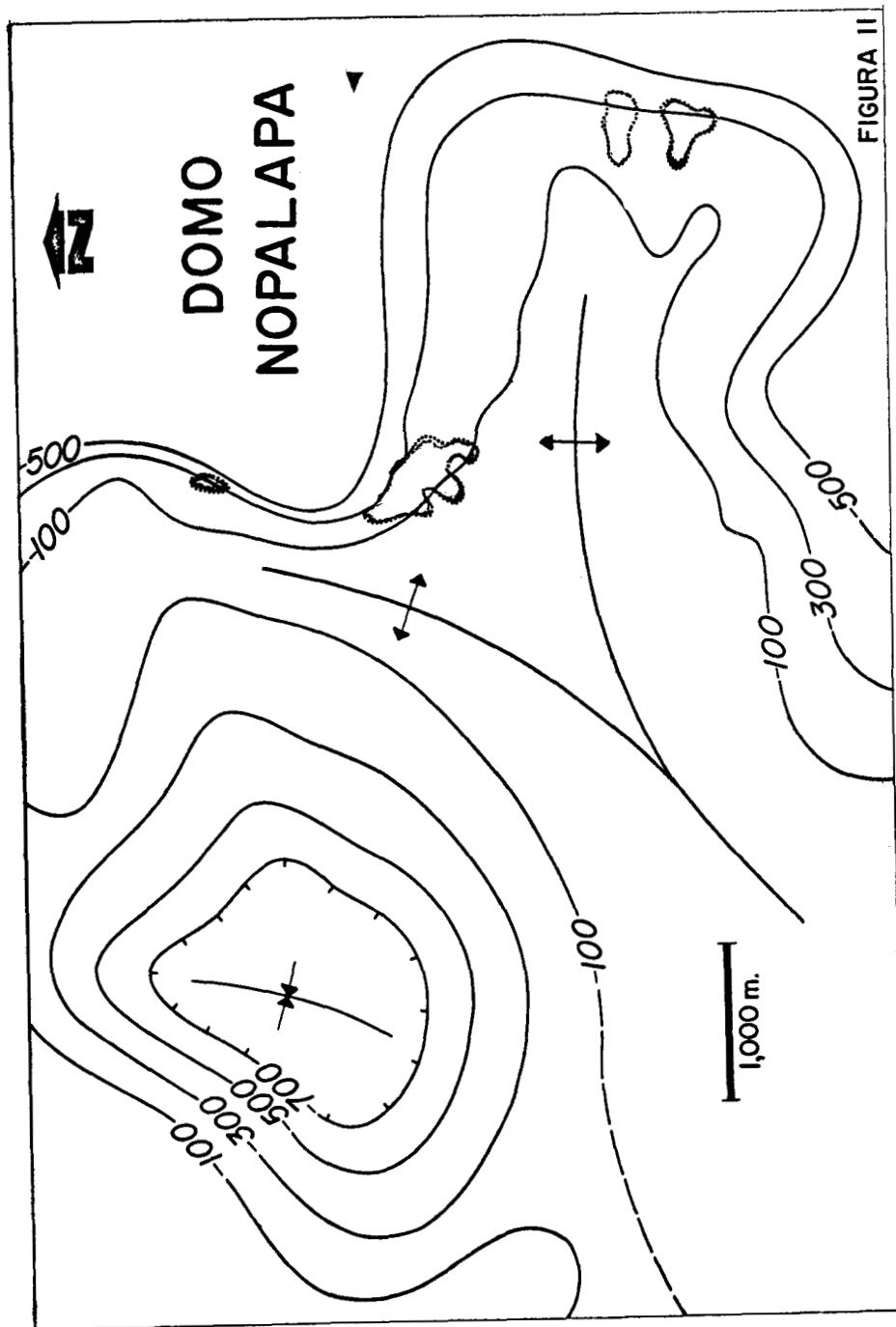
### DOMO DE NOPALAPA

Explorado también por la empresa arriba señalada, la perforación de pozos se concentró en la parte Oriental de esta estructura y en la que se tienen localizados unos 500 pozos incluyendo los de explotación (Figura 11).

El depósito que se observa mayor (al centro) y del que se han extraído más de 325,000 T.M. de azufre, cubre escasamente una superficie de 15 Has. Dentro de esta área se tienen 250 pozos perforados, estando aún pendiente de explorar parte del flanco NE en donde se han cortado gruesos casqueteros de caliza con azufre.

El espesor promedio de caliza de este depósito es del orden de 35 m, y los máximos espesores de azufre neto del orden de 10 m.

Los otros tres depósitos son de menor importancia pero su contenido de azufre no deja de ser interesante, al tenerse una planta vecina con la que se puede tratar de explotarlos.



Consideramos que este esquema de la Figura 11 da idea cabal de lo problemático que es descubrir azufre por la forma tan irregular y concentrada como se presenta sobre las masas salinas. De los 500 pozos apuntados como perforados en este domo, más de 300 se barrenaron para descubrir y definir los depósitos que se indican, perforándose los restantes como consecuencia de la explotación a que se sometió el área principal.

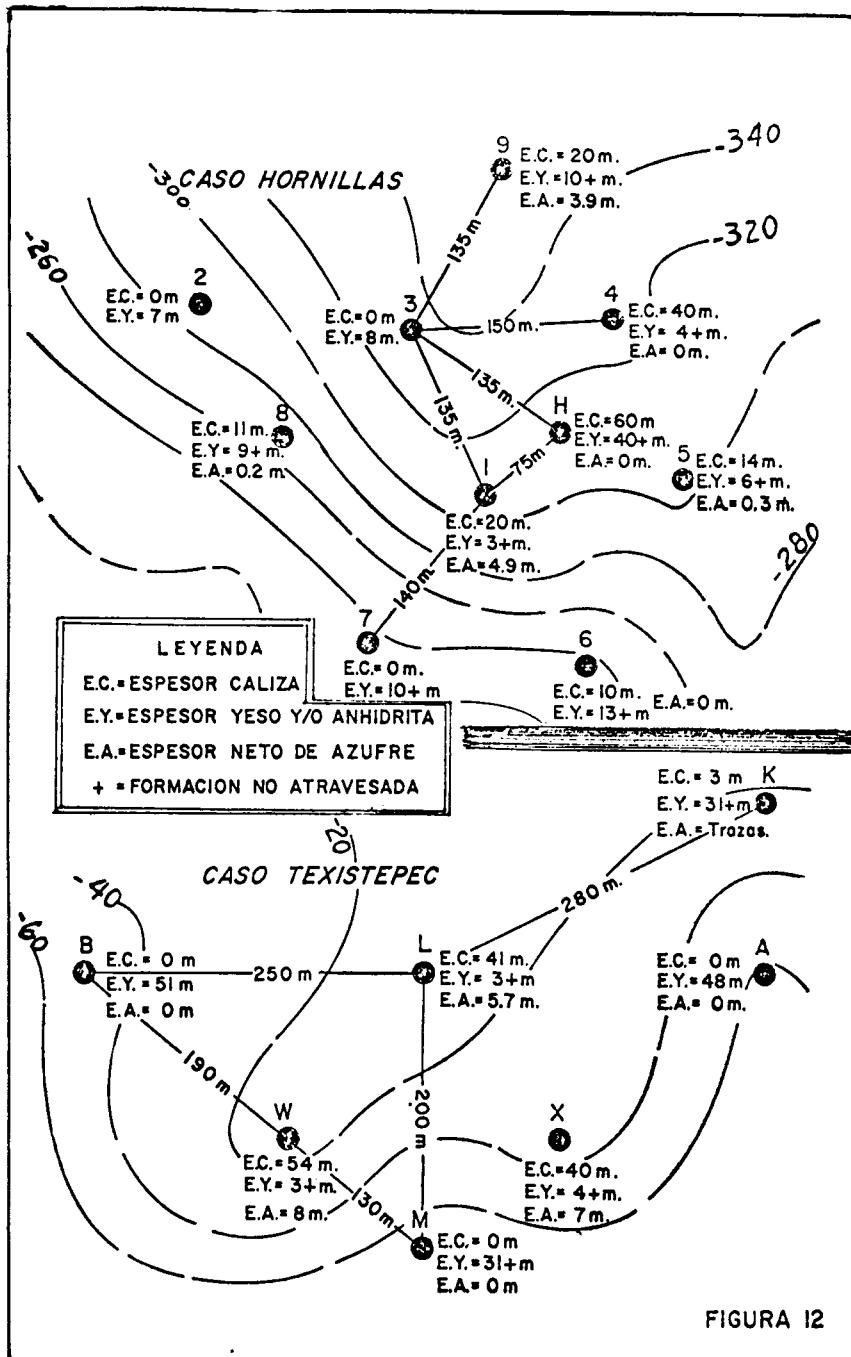
No obstante lo anterior, a la fecha aun no se consideran agotadas las posibilidades de que dentro de la estructura de Nopalapa se descubran nuevos depósitos azufrosos. Esta situación dá idea de la exploración requerida antes de condenar una estructura salina.

## DOS CASOS TIPICOS

Habiéndose relatado la forma en que fue descubierto uno de los depósitos de Amezquite, para dar una idea más clara de los problemas que se presentan en la exploración azufrera debido, como ha quedado señalado, a la irregularidad de las formaciones que contienen el azufre, en la Figura 12 presentamos dos casos típicos sobre este particular.

En la parte superior de la citada Figura 12 se puede observar el caso que hemos denominado Hornillas (domo de Texistepec), en el cual se tienen los pozos 1, 5, 8 y 9 con un espesor de caliza y contenido de azufre variables y próximos a ellos (menos de 150 m) los sondeos 2, 3 y 7 en los que no se encontró caliza sino únicamente delgados espesores de anhidrita antes de llegar a la sal. En cambio los pozos H, 4 y 6 no obstante tener gruesos espesores de caliza, ésta resultó estéril no presentándose ni trazas de azufre. Obsérvese en especial el pozo H que estando a 75 m del pozo 1 (en el que se tuvo un promedio de 25% de azufre en la caliza cortada) resultó con 60 metros de caliza totalmente estéril. También obsérvese que de este mismo pozo H al número 3, separados 135 m, el casquete sobre la sal varía de 8 metros, que fue lo total cortado en el sondeo 3, a más de 100 m encontrados en el pozo H.

En el esquema se ha señalado la configuración en la cima del casquete a fin de hacer notar que no existe ninguna situación estructural especial que justifique geológicamente esta irregularidad.



En el caso Texistepéc presentado en la mitad inferior de la misma Figura 12 se tienen como primeros pozos perforados los denominados A y B que se localizan a 500 m uno del otro y en los que no se encontró casquete calcáreo. Posteriormente se perforaron los sondeos K y L, localizándose este último entre los pozos A y B y cortando 41 m de caliza con 5.7 m de azufre neto. Inmediatamente se perforó la localización M, 200 m al Sur, en la que no se encontró caliza. Estos cuatro pozos descritos formaron parte de la exploración que la Cía. Exploradora del Istmo realizó en 1953.

Al reanudar estos trabajos en el presente año se barrenaron los pozos W y X que se localizan a 130 m del M y en ambos se cortaron densos espesores calcáreos con un alto contenido de azufre. En este caso también las condiciones estructurales no justifican las variaciones que se señalan.

Ejemplos como estos dos descritos son comunes en la explotación azufrera y la explicación científica de ellos no se ha encontrado en forma satisfactoria y convincente.

## LA EXPLOTACION DEL AZUFRE

La explotación del azufre contenido en los casquitos asociados a los domos salinos se hace con el empleo del denominado Sistema Frasch, el cual consiste, en términos generales, en la inyección de grandes volúmenes de agua sobrecalentada ( $165^{\circ}\text{C}$ ) al subsuelo con el fin de fundir el azufre contenido en la caliza y en estado líquido bombearlo a la superficie por medio de aire a presión.

La inyección del agua caliente a la formación azufrosa se logra mediante pozos equipados con cuatro tuberías concéntricas incluyendo la de ademe, usándose las otras tres para inyectar el agua, para conducir el azufre fundido y la menor para inyectar el aire comprimido.

Con el fin de evitar presiones indeseables en la formación, ésta se debe drenar tratando de extraer el mismo volumen de agua que se inyecta y a la menor temperatura posible para aprovechar al máximo su poder calorífico.

Este drene se realiza también con el empleo de pozos equipados especialmente, haciéndose el bombeo del agua con aire a presión o usando bombas eléctricas de pozo profundo. Estos pozos de drene normalmente se localizan flanco abajo de la estructura, puesto que la explotación se hace en ese sentido, efectuándose un "barrido" de la cima o parte alta del depósito hacia los flancos.

La explotación del azufre se lleva a cabo con el concurso simultáneo de varios pozos tanto de producción como de drene, dependiendo su número de la capacidad de la planta de fuerza y de las condiciones particulares de cada yacimiento.

La "dosificación" de los elementos que se inyectan por los pozos al yacimiento y el registro de la producción de cada uno de ellos, se efectúa en las llamadas Estaciones de Control (Relay Station) en la que cada pozo se controla por un sistema de válvulas, manómetros, medidores, etc.

Para la generación de los elementos requeridos en la explotación Frasch (vapor, agua caliente, aire comprimido, energía eléctrica, agua fría, lodo, etc.), se hacen necesarias instalaciones costosas como son presas de almacenamiento de agua, equipo de tratamiento químico de las mismas para bajar su dureza, calderas para la generación de vapor, compresores, generadores de energía eléctrica, aprovisionamiento de combustible, conducción de los elementos al área por explotar, tratamiento de las aguas de drene, almacenamiento del azufre producido, refinación ocasional del mismo, y finalmente carga, transporte y embarque del metaloide.

Conscientes de que sobre este particular se puede discurrir largamente, nuestra intención es tan solo bosquejar este aspecto de la Industria Azufrera, dando a continuación algunas cifras que den una idea de la explotación del azufre.

En el Istmo de Tehuantepec se han construido cinco plantas azufreras de las cuales tres están en operación en este momento y las otras dos se consideran obsoletas. La capacidad de generación de agua sobrecalentada de las tres primeras es de aproximadamente  $44,000 \text{ m}^3/\text{día}$ ; esto equivale a  $0.5 \text{ m}^3$  por segundo.

En los domos de Jáltipan y Amezquite se requieren aproximadamente 5 y 7 m<sup>3</sup> respectivamente de agua caliente para producir una tonelada de azufre. Para calentar ese equivalente de agua a 165°C es necesario consumir en la planta de Jáltipan aproximadamente 115 m<sup>3</sup> de gas y en la de Salinas 0.7 barril de petróleo.

La producción diaria promedio en el presente año es de aproximadamente 5,000 T.M. Las ventas de azufre se hacen en estado líquido y sólido.

### RECOMENDACIONES

Habiendo sido la finalidad de este trabajo tratar de mostrar la forma en que el azufre se presenta en el Istmo de Tehuantepec y conscientes de lo costoso que resulta la búsqueda del metaloide por los métodos tradicionales, es nuestra intención crear una inquietud de la que fluyan nuevas ideas y procedimientos que ayuden en esta búsqueda tan intensa que actualmente se realiza.

Se ha hablado de métodos geoquímicos y eléctricos como posibles herramientas en este trabajo, pero a la fecha muy poco se ha experimentado y los resultados reportados no son nada concluyentes.

Es conveniente que la exploración geofísica enfoque el problema particular del azufre asociado a los domos salinos del Istmo y no se considere como una simple aplicación de la técnica petrolera o se supongan erróneamente condiciones semejantes a las observadas en la Costa del Golfo de Estados Unidos.

La demanda actual de azufre en el mercado mundial cuyo crecimiento en 1966 fue de aproximadamente el 10% con respecto al año anterior, implica activar los trabajos de exploración que realizan las nuevas empresas para aprovechar el alto precio que actualmente tiene el metaloide.

En forma especial se recomienda aprovechar la información que esta exploración está reportando con otros fines inherentes, como son la determinación de hidrocarburos, arenas sílicas, fosfatos, óxidos de fierro, dolomitas, bauxitas, calizas, yeso, sodio, cloro, potasio, magnesio, bromo, litio, etc.

## CONCLUSIONES

*Primera.*—Conscientes de las limitaciones del proceso Frasch en la explotación de azufre asociado a los domos salinos, la zona de mayor interés por este metaloide se circunscribe al tercio Occidental de la Cuenca Salina del Istmo, en la que se tienen los altos salinos más someros pero de los que tanto nos falta por conocer.

*Segunda.*—Dada la irregularidad con que el azufre se presenta en los casquetes y la superficie relativamente pequeña que se requiere para constituir un depósito comercial, a la fecha ninguna estructura o domo salino del Istmo puede conceptuarse sin posibilidades de contener azufre comercial, por lo que la potencialidad de la Cuenca es una interrogante por definir.

*Tercera.*—Debiendo ser tan detallada la exploración azufrera, los métodos actuales empleados resultan muy costosos por lo que debe tratarse de ensayar nuevos procedimientos que faciliten este cometido.

*Cuarta.*—La explotación a que han sido sometidos los yacimientos azufrosos del Istmo de Tehuantepec a reportado magníficos resultados, compitiendo favorablemente con la registrada en Estados Unidos así como con el azufre elemental obtenido del gas amargo.

*Quinta.*—La mexicanización de esta Industria contribuirá marcadamente en el desarrollo de nuestro País, constituyéndose como una nueva fuente de trabajo que demanda aceleradamente el concurso de técnicos y trabajadores nacionales en su estructuración y expansión.

---

## SUMARIOS DE ARTICULOS PUBLICADOS EN "GEOPHYSICS"

*Vol. XXXIII, No. 1, Febrero de 1968. (Con permiso de publicación  
otorgado por la Society of Exploration Geophysicists)*

---

### FILTROS MULTICANAL OPTIMOS DE VELOCIDAD

*R. L. Sengbush y M. R. Foster.*

Se han desarrollado sistemas óptimos que corresponden a los sistemas subóptimos de discriminación de sobretiempo (moveout) presentados previamente por varios autores.

Los datos sísmicos en la traza se supone que son la señal aditiva  $S$  con sobretiempo  $\tau_1$ , el ruido coherente  $N$  con sobretiempo  $\tilde{\tau}_1$  y el ruido incoherente  $U_1$ , expresado por

$$I_1(t) = S(t - \tau_1) + N(t - \tilde{\tau}_1) + U_1(t)$$

en donde  $S$ ,  $N$  y  $U_1$  son procesos fortuitos estacionarios independientes y de segundo orden, y  $\tau_1$  y  $\tilde{\tau}_1$  son variables fortuitas con funciones prescritas de densidad de probabilidad. La estimación de la señal  $\hat{S}$  se produce filtrando cada traza con su correspondiente filtro  $G_1$  y sumando las salidas

$$\hat{S}(t) = \Sigma_i G_1(t)^* I_i(t)$$

Escogemos el sistema de filtros  $\{G_1\}$  para hacer óptima la estimación de la señal en el sentido de Wiener (error cuadrático medio mínimo del conjunto de señales).

Para los casos especiales que se discuten, los sobretiempos son funciones lineales del número  $l$  de la traza determinada por el  $\tau$  sobre tiempo/traza para la señal y el  $\tilde{\tau}$  para el ruido. De esta manera, el sistema óptimo está determinado por las densidades de probabilidad de  $\tau$  y  $\tilde{\tau}$  junto con las relaciones señal/ruido  $R_N(f)$  y  $R_u(f)$  de los espectros de potencia. En comparación, los sistemas subóptimos están controlados completamente por el corte  $\tau_c$  sobretiempo/traza. Los eventos cuyo sobretiempo/traza queda dentro de  $\pm \tau_c$  de sobretiempo/traza que se espera para el echado, se aceptan, y aquellos que quedan fuera de este límite se suprimen. Los sistemas subópticos pueden ser derivados de los sistemas óptimos escogiendo densidades de probabilidad para  $\tau$  y  $\tilde{\tau}$  que sean uniformes dentro de los límites anteriores y dejando que  $R_u$  sea muy grande. Los sistemas óptimos han incrementado la flexibilidad sobre los sistemas subópticos, debido al control sobre las funciones de densidad de probabilidad y las relaciones de espectros de potencia, y permiten una mayor supresión de ruido en regiones seleccionadas del espacio  $f - k$ .

## CARACTERISTICAS DE FILTROS OPTIMOS MULTICANAL DE APILAMIENTO

*James N. Galbraith, Jr. y Ralph A. Wiggins.*

Una gran clase de operaciones de proceso sísmico implican la combinación lineal de varias trazas de tal manera que ciertos eventos de "señal" se enfatizan sobre otros eventos de "ruido". Si los eventos de ruido están distribuidos fortuitamente entre trazas, entonces la simple adición de las trazas representa la mejor técnica posible para suprimir el ruido. Sin embargo, en muchos casos un evento de ruido en una traza también ocurrirá en puntos relativamente bien determinados de otras trazas vecinas. Para estos casos, los filtros lineales multicanales ofrecen mejor discriminación contra el ruido organizado que con la simple adición de trazas.

Tales filtros multicanal pueden ser diseñados con solo un conocimiento de los tiempos relativos de llegada para los diferentes eventos de señal y ruido, sin conocimiento alguno de las formas reales de los eventos. Además, el filtro puede ser especificado para tomar en cuenta tales contingencias como la presencia de ruido fortuito, ganancia variable entre trazas y variaciones fortuitas del tiempo relativo de llegada entre trazas.

Una vez que estos parámetros han sido especificados, se puede calcular el filtro lineal óptimo. Un conjunto de cálculos de prueba ha proporcionado un juego de generalizaciones que ayudan en el diseño de este tipo de filtro, e indica que los filtros lineales multicanal óptimos pueden ser muy superiores a la adición directa para una amplia clase de ruido organizado.

#### EXCITACION PREFERENTE DE CONTACTOS REFRIGENTES

#### MEDIANTE EL USO DE UN TENDIDO DE FUENTES

*Stanley J. Laster y A. Frank Linville.*

Normalmente, el método para aislar la energía refractada críticamente de un solo contacto ha sido el arreglo de una distancia tal de punto de tiro a detector para hacer que una determinada refracción sea la primera en llegar. La energía subsecuente, asociada con el mismo contacto y de otros contactos, más la energía dispersa, produce un patrón complejo de interferencia después de la primera entrada, que con frecuencia no se puede interpretar. Sin embargo, los datos recibidos pueden ser procesados mediante técnicas de agrupamiento para separar estos eventos interferentes. La técnica presentada aquí implica el uso de un tendido o grupo de fuentes, con cada elemento del mismo registrado separadamente y combinado digitalmente para proporcionar, a su vez, excitación preferente de cada uno de los contactos refringentes de interés. Los registros de campo para una geometría de una sola fuente y receptor han sido procesados para separar la energía interferente de dos contactos refringentes, a tal grado que el evento secundario puede ser usado para configurar. El proceso del agrupamiento también facilita el estudio de los eventos dispersos de arriba subsecuente.

## APLICACION DEL DINOSEIS EN CANADA

*L. M. Codfrey, J. D. Stewart y F. Schweiger.*

Se llevó a cabo un programa experimental para determinar si un sistema sísmico formado por un Dinoiseis, un registrador digital y proceso digital, era adecuado para resolver problemas exploratorios en Alberta y Saskatchewan. Varias millas de datos se recogieron de tres áreas: Edson, Alberta; Bellshill Lake, Alberta, y Saskatchewan Central.

Existen ciertos aspectos que deben ser considerados cuando se usa una fuente superficial de baja potencia y baja frecuencia. Estos son reducción de ruido ambiente y coherente, resolución de eventos reflejados, y penetración del subsuelo. Se atacan en diferentes lugares del sistema total mediante el uso de procedimientos de campo y técnicas de proceso cuidadosamente diseñados. Los métodos de ataque incluyen el apilamiento de pulsos múltiples tomados en cada punto de tiro, la selección de la fuente apropiada y de los tendidos de detectores, el cubrimiento múltiple del subsuelo, y la aplicación de la deconvolución así como el filtrado de velocidad y frecuencia en la secuencia de proceso.

Después de procesar los datos experimentales, se obtuvo una igualación entre las trazas con Dinoiseis en Saskatchewan Central y un sismograma sintético con un ancho de banda de 20 a 65 ciclos por segundo. En Bellshill Lake y en Edson, las secciones procesadas de Dinoiseis fueron comparables a las secciones procesadas de dinamita, indicando que los datos de Dinoiseis eran adecuados para resolver los problemas geológicos en ambas áreas.

Los resultados son prometedores, y junto con los factores económicos favorables, garantizan el aprovechamiento futuro del Dinoiseis en Canadá.

## ESTUDIOS SISMICOS DE ALTA RESOLUCION EN POZOS EN EL LABORATORIO LAWRENCE DE RADIACION

*R. C. Carlson, R. T. Stearns, H. B. Berens y J. R. Hearst.*

Se han desarrollado métodos para medir los tiempos de propagación de una onda acústica inducida por una explosión, dentro de 0.1 milisegundo.

Estos métodos se han usado para medir velocidades acústicas por distancias de 10 a 150 metros con alta precisión. Los métodos son utilizables en pozos secos. Han sido usados en riolita, toba, dolomita, aluvion y lutita para medir velocidades entre 700 y 5,000 metros por segundo. Se lograron errores estadísticos del orden de  $\pm 2$  a 5 por ciento en la mayoría de los casos. Se concluye que la precisión de tales mediciones está limitada solo por la transmisión de frecuencias del medio, no por la instrumentación.

## UN FILTRO ESPACIO-TIEMPO PARA MODELOS SISMICOS

*Anthony F. Gangi y David Disher.*

Se ha diseñado y construido un filtro espacio-tiempo para usarse con tendidos o agrupamientos de transductores en modelos sísmicos. El filtro permite operaciones espacio-tiempo en tiempo real. Los ajustes para cambiar los parámetros del filtro se ejecutan de manera sencilla. El aparato puede considerarse como una utilización analógica de las técnicas empleadas en el "filtrado digital".

El operador espacio-tiempo es capaz de manejar diez entradas espaciales (transductor receptor), y cada entrada puede ser filtrada hasta con 20 puntos de filtro de retroalimentación y de alimentación hacia adelante. Los operadores de tiempo se componen de líneas eléctricas de retardo con constantes concentradas y derivaciones cada 0.5 microsegundos, con retardos totales disponibles de hasta 28 microsegundos. Las salidas de las derivaciones de la línea de retardo se apilan en un circuito sumador de amplificador operacional. La respuesta de frecuencia del aparato es de aproximadamente 10 000 a 500 000 hertz, que cubre la banda de frecuencia normalmente empleada en sismología bidimensional.

Se han realizado algunos experimentos simples para demostrar la utilidad del dispositivo. Estos experimentos son: a) Operaciones de tiempo con alimentación hacia adelante, b) Operaciones de tiempo con alimentación hacia adelante y con retro-alimentación, c) Operaciones espaciales con alimentación hacia adelante, y d) Operaciones espacio-tiempo.

## ANALISIS DE CORRELACION DINAMICA

*William A. Schneider y Milo M. Backus.*

Se describe una técnica de análisis con computadora para usarse conjuntamente con datos sísmicos de reflexión tirados para apilamiento convencional de punto de reflejo común (CDP), con el fin de suministrar una medida variable con el tiempo de las relaciones de energía entre las trazas del CDP. Este análisis de energía puede ser interpretado para dar una estimación de la contribución relativa de las reflexiones primarias y múltiples contra el tiempo de registro, sus funciones de velocidad, y la fracción de energía sin correlación que esté presente.

Estos datos, además de su valor interpretativo, proporcionan un modelo variable espacio-tiempo de los campos de señal y de ruido para uso en el diseño de filtros óptimos de apilamiento CDP.

El corazón del método se basa en correlaciones cruzadas calculadas entre trazas CDP de numerosas ventanas cortas secuenciales de datos a lo largo de la traza. Estas son promediadas sobre un conjunto de miembros similares obtenidos a lo largo de la línea de perfiles, y manipuladas para producir una estimación aceptable de la amplitud máxima de la correlación cruzada y del retardo, sobre la cual se basan las asignaciones primarias y múltiples de velocidad y energía.

La técnica se ilustra con datos marinos de séxtuple apilamiento del Golfo de México, para demostrar cómo puede emplearse en la práctica como una herramienta valiosa de análisis para el geofísico de exploración.

*Volúmen No. XXXIII, No. 2, Abril de 1968.*

REGISTRO DE ONDAS TRANSVERSALES EMPLEANDO METODOS  
DE SEÑALES CONTINUAS

PARTE I — DESARROLLO INICIAL

*J. T. Cherry y K. H. Waters.*

En años recientes se ha encontrado posible el registrar reflexiones de ondas transversales, y de ondas transversales que viajan horizontalmente, em-

pleando métodos de señales continuas. Este estudio muestra el desarrollo del equipo y el trabajo de campo realizado durante la investigación. El trabajo inicial, con una versión de un vibrador con peso oscilante, mostró que podrían registrarse reflexiones de ondas transversales. Este hecho proporcionó el ímpetu para hacer modificaciones al equipo a fin de vencer las dificultades debidas a la falta de energía y a la falta de ancho de banda de frecuencia. Se dan ejemplos que muestran la flexibilidad del sistema para proporcionar comparación entre las ondas superficiales que viajan horizontalmente, inducidas y registradas por las diferentes combinaciones de fuentes vibradoras y tipos de geófono y sus orientaciones relativas. La selección de frecuencias por los diferentes modos se ilustra bien.

Para la mayoría de los ejemplos de reflexión, la relación media de velocidad de onda transversal a velocidad de onda longitudinal en los primeros millares de pies se encuentra próxima a 0.5.

Finalmente, para completar el desarrollo inicial, se describe la versión del vibrador de ondas transversales y del sistema de registro que fue usado para la mayor parte del trabajo adicional. Con objeto de hacer más fácil la comparación de los registros de reflexión de ondas P y ondas SH, este sistema permite una compresión de 2:1 para la escala de tiempos de las ondas transversales, así como una relación de 2:1 de la salida de frecuencia entre los sistemas vibradores P y SH. Se presentan algunos ejemplos de perfiles de reflexión SH obtenidos con este sistema.

## REGISTRO DE ONDAS TRANSVERSALES EMPLEANDO METODOS DE SEÑALES CONTINUAS

### PARTE II — EXPERIMENTACION POSTERIOR

*E. L. Erickson, D. E. Miller y K. H. Waters.*

El énfasis en esta investigación de ondas transversales se puso en determinar la calidad general de los datos que podría ser obtenida en diferentes

áreas, y en si tal calidad era consistente con el objetivo principal de extraer información de los datos de ondas transversales que no podía ser obtenida de los datos de las ondas longitudinales.

Se presentaron los datos de pozo para demostrar que la fuente de vibraciones SH genera una onda transversal polarizada horizontalmente que se propaga hacia abajo. Las velocidades transversales fueron determinadas para intervalos de profundidad de doscientos a trescientos pies, pero no se pudo establecer correlación absoluta alguna entre  $V_s/V_p$  y la litología. En la sección sedimentaria más profunda el valor  $V_s/V_p$  tiene un promedio de cerca de 0.5, pero en la capa de intemperismo, o de baja velocidad, la relación puede ser tan pequeña como un sexto.

Todos los problemas de registro de reflexiones que surgen en los fenómenos de propagación de ondas en la capa de baja velocidad, son generalmente mucho peores para ondas SH que para ondas P debido a las muy bajas velocidades SH en dicha capa. Sin embargo, usando grandes tendidos de fuentes y receptores, y diferentes técnicas de proceso, se obtuvieron registros interpretables de reflejos SH en casi todas las áreas de prueba. Ha sido posible obtener una profundidad de penetración casi igual a la correspondiente a los registros de ondas longitudinales, con algunas reservas. La calidad relativa por obtenerse ha resultado impredecible.

Se presentan algunas secciones de reflexiones SH con las correspondientes secciones de reflexiones P. Algunos de esos ejemplos de campo muestran diferencias definidas entre las correspondientes reflexiones P y SH. Tales diferencias representan nueva información que potencialmente puede ser útil para el geofísico de exploración.

#### UNA DECONVOLUCION ESTADISTICAMENTE OPTIMIZADA

*W. R. Burns.*

Hay muchos errores inherentes involucrados en el proceso de deconvolución. De interés aquí es un análisis de uno de ellos. En particular, se calculan los errores resultantes de la seudo incoherencia de los registros sísmicos.

Estos errores están presentes aun suponiendo que muchas de las hipótesis en el proceso de deconvolución sean correctas. Tales hipótesis son en sí mismas peligrosas. Los errores así calculados representan las condiciones más optimistas.

Se deriva una técnica para calcular la cantidad útil de deconvolución usando la información de error. Se aplica la técnica, se dan los resultados, y se discuten las dificultades prácticas; Se encuentra que la técnica es de fundamental interés como un dispositivo de aprendizaje y una herramienta de investigación. Sus complejidades en la actualidad limitan su uso en proceso rutinario. Se encuentra, sin embargo, que produce información que no puede ser obtenida objetivamente de otra manera.

## SINTESIS DE UN MEDIO ESTRATIFICADO A PARTIR DE SU RESPUESTA DE TRANSMISION ACUSTICA

*John F. Claerbout.*

Un método directo (no iterativo) se presenta para determinar un medio acústico estratificado a partir del sismograma debido a una onda plana, limitada en el tiempo, incidente del medio espacio inferior. Se demuestra que un lado de la autocorrelación del sismograma debido a una fuente impulsiva en profundidad es el sismograma debido a una fuente inimpulsiva en la superficie. Esto transforma el problema de reflexiones acústicas como lo resolvió Kunetz. Tanto la función de tiempo de fuente profunda como la estratificación pueden ser determinadas de un sismograma superficial.

## EXPERIMENTOS SISMICOS CON TENDIDOS VERTICALES

*Robert B. Roden.*

Se realizaron experimentos con tendidos verticales de sismómetros de 1963 a 1965. Se obtuvieron datos de calidad excepcionalmente alta mediante sismómetros especiales de pozo profundo de 1 ciclo por segundo y técnicas de grabación digital directa. Los tendidos estudiados experimentalmente constaban de hasta 7 sismómetros de componente vertical y extendidos hasta profundidades tan grandes como 3.1 kilómetros.

Las señales de ondas longitudinales observadas a profundidad están generalmente distorsionadas debido a la interferencia entre ondas incidentes y reflejadas de la superficie. Se demuestra que las salidas de dos o más instrumentos de pozo profundo pueden ser combinadas para reconstruir las formas de onda de la señal. Se obtuvieron pequeñas mejoras adicionales por la aplicación de filtros óptimos muticanal a las salidas del tendido vertical, pero las mejores relaciones señal-ruido obtenidas nunca fueron de más de 6 db, arriba de aquellas obtenibles de sismómetros individuales de pozo profundo localizados en puntos de interferencia constructiva de la señal.

Los resultados obtenidos del análisis de datos experimentales apoyan la hipótesis de que la atenuación severa del ruido sísmico con la profundidad es una característica de solo los lugares en donde el ruido ambiente es muy intenso en la superficie. Se concluye que las mejoras en la calidad de registro, que se pueden obtener con la aplicación de procesos de tendidos verticales en lugares ruidosos, no son probablemente mayores que las mejoras que podrían resultar de la cuidadosa selección de un sitio quieto.

## DETERMINACION DE LA DISTORSION DEL SISTEMA SISMICO Y SU COMPENSACION USANDO FILTROS DIGITALES

*Russell L. Gray, J. Hans Leitinger y John C. Hollister.*

La distorsión es inherente al registro de datos sísmicos. Aunque alguna distorsión sirve a un propósito útil, la distorsión de los eventos sísmicos disminuye la resolución aminorando la efectividad del sismógrafo como herramienta exploratoria. Este artículo describe una técnica experimental-computacional para determinar la distorsión introducida por un sistema registrador sísmico. La técnica utiliza una mesa vibratoria piezoelectrica para obtener pares apropiados entrada-salida de los cuales se calcula la respuesta impulsiva de velocidad del sistema. La distorsión introducida por el sistema se compensa con filtros digitales que se diseñan en el dominio de las frecuencias. Se logra una casi completa compensación de fase diseñando filtros con características de fase que se acercan aproximadamente a las características negativas de fase

del sistema sísmico. Una compensación completa de amplitud se impide debido a consideraciones prácticas. El grado de compensación de amplitud que se estima factible se controla por el contenido relativo de frecuencias de señal y ruido. Los ejemplos sintéticos que simulan los datos de campo indican que los filtros aproximados de compensación son efectivos para remover mucha de la distorsión introducida por el sistema registrador sísmico sin disminuir la relación señal-ruido.

## RESPUESTA CALCULADA DE UNA HERRAMIENTA DE SONDEO ACUSTICO

*J. E. White y R. E. Zechman.*

Han sido calculadas las formas de onda transitorias para una familia de tipos de fuente y receptor, y para una geometría correspondiente a herramientas de sondeo acústico de pozos petroleros. La herramienta acústica actualmente en uso comercial es un miembro de la familia. Los cálculos también tratan las ondas flexionantes y ondas de torsión. Todas las cantidades se expresan en función de potenciales vectoriales y escalares apropiados, y las formas de onda de salida se obtienen por la evaluación numérica de transformadas triples de Fourier. Cuando se incluyen los parámetros de pérdida en las relaciones esfuerzo-deformación, las fórmulas de inversión de Fourier están libres de singularidades y la integración numérica es directa. Para el caso puramente elástico, es necesario contender con las singularidades de los integrandos al efectuar las integraciones numéricas. Las curvas de dispersión y otras características van de acuerdo con publicaciones previas sobre propagación de ondas a lo largo de cilindros concéntricos.

## EL FLUJO NATURAL DE RAYOS GAMA: ANALISIS IN-SITU

*Ronald Doig.*

Ha sido construído un espectrómetro de rayos gama portátil totalmente transistorizado, y empleado para investigar la naturaleza de la actividad de

los rayos gama en la superficie de afloramientos de roca. Han sido identificados fotopicos de rayos gama de  $K^{40}$  y miembros de las series U y Th, junto con una fuerte lluvia radioactiva dominada por la actividad de 0.75 Mev de  $Zr^{95}$ . Ha sido diseñado un método para medir, *in situ*, el contenido de K, U y Th de las rocas. La calibración toma en cuenta la interferencia entre los radioelementos, y la radiación de fondo. Las siguientes son estimaciones de precisión y sensitividad para intervalos de conteo de cinco minutos: 5 porciento más 0.1 porciento de K, 10 porciento más 0.2 ppm U, 10 porciento más 0.5 ppm Th. Las ventajas principales del método son su rapidez y versatilidad, y la muy grande muestra analizada. Se ha realizado un número de estudios para demostrar algunas de las aplicaciones del instrumento. El proyecto más grande de esta serie es de hacer el mapa detallado de la distribución de K, U, y Th en el granito Preissac del noroeste de Quebec. Además de su uso como una herramienta petrológica, la técnica es eminentemente adaptada para la exploración de U y Th, y las evaluaciones cuantitativas de ocurrencia de dichos elementos.

#### DIRECCION OPTIMA DE LINEAS DE OBSERVACION

*F. E. M. Lilley.*

La forma de una anomalía magnética varía con el echado del campo inductor. Para un levantamiento aeromagnético destinado a descubrir fuentes dipolares inducidas, la mejor dirección de vuelo se define como aquella que ofrece el ancho máximo del objetivo para una anomalía. Esta dirección puede depender de la amplitud de la anomalía. Se propone un método para estimar la eficiencia de la dirección para un rango de amplitudes de anomalía.

Se comparan las eficiencias de líneas con rumbo norte, noreste y este. En el ecuador, las líneas con rumbo norte son dos veces más eficientes que las de rumbo este. Con inclinación en aumento, la ventaja de las líneas con rumbo norte desaparece con echados del orden de 20 grados. Las líneas con rumbo noreste se escogen para echados entre 20 y 70 grados. La dirección de vuelo no tiene importancia para echados mayores de 70 grados.

## ESPECTRO DEL CAMPO DE POTENCIAL DEBIDO A FUENTES DISTRIBUIDAS FORTUITAMENTE

*Prabakar Naidu.*

La covariancia y las funciones de densidad espectral de las tres componentes de campos fortuitos de potencial están mutuamente relacionadas. Los espectros de una cualquiera de las componentes sobre dos niveles diferentes están relacionados a través de una función exponencial de la separación de los niveles. Si partiendo de la superficie de la tierra, continuamos hacia abajo el campo fortuito observado, encontraremos que a un cierto nivel el campo se hace inestable. Tal profundidad limitadora puede ser estimada del espectro del campo observado. El espectro del campo fortuito está relacionado con el espectro fortuito de densidad o de intensidad de magnetización. Se supone que las fuentes fortuitas están confinadas a una lámina delgada o a una lámina gruesa infinita, o a un medio semi-infinito. En todos estos casos, ha sido establecida una relación que conecta el espectro fortuito de la densidad o de la intensidad de magnetización y el espectro del campo fortuito.

## CAMPOS ELECTROMAGNETICOS DE UN DIPOLO MAGNETICO OSCILANTE SOBRE UNA TIERRA ANISOTROPICA

*Ajit K. Sinha.*

El problema de la propagación de una onda electromagnética de un polo magnético oscilante sobre una tierra anisotrópica ha sido considerado. Se han derivado las expresiones formales para los potenciales vectoriales dentro de la tierra. Se ha demostrado que para un dipolo magnético vertical, las componentes del campo son idénticas a aquellas en el caso de un medio isotrópico en el cual la conductividad es la "conductividad horizontal o longitudinal". Para un dipolo horizontal, dirigido a lo largo del eje de las X, se ha demostrado que el potencial vectorial dentro de la tierra tendrá una componente y, así como también componentes X y Z. Se han obtenido expresiones formales para los potenciales vectoriales en aire para el caso de un dipolo magnético horizontal. Sin embargo, cuando la conductividad del aire se considera despreciablemente pequeña, las componentes del campo no son afectadas por la anisotropía.

*NOTA DEL EDITOR: Por una omisión en nuestro número anterior, no se publicó la bibliografía del artículo "Que es la Gravedad Residual", por D. C. Skeels, la cual se indica a continuación.*

## BIBLIOGRAFIA DEL ARTICULO "QUE ES LA GRAVEDAD RESIDUAL"

Por D. C. Skeels.

Baranoy, V., 1954, Sur une methode analylique de calcul de Lanomalie Regionales: Geophys. Prosp., v. 2, pp. 202-226.

Byerly, P. E., 1965, Short note: convolution filtering of gravity and magnetic maps: Geophysics, v. 30, n. 2, pp. 281-283.

Dean, Wm, C., 1958, Frequency analysis for gravity and magnetic interpretation: Geophysics, v. 23, n° 1, pp. 97-127.

Danés Z. F., 1962 Structure Calculations from gravity data and density logs: mining Transactions v. 16, n° 1, pp. 29-50.

Griffin, W. R., 1949, Residual gravity in theory and practice: Geophysics, v. 14, n° 1, pp. 39-56.

Henderson, R. G., and Zietz. I., 1949, Computation of second derivatives from geomagnetic data: Geophysics, v. 14, n° 4, pp. 508-516.

Meskó, A., 1965, Frenquency analysis for gravity interpretation: Geophys. Prosp., v. 13, n° 3, pp. 475-488.

Nettleton, L. L., 1953, Solicited reply to Prof. Amalendu. Roy: Geophysics, v. 23 n° 4, pp. 862-863.

1954, Regionals, Residuals and structures: Geophysics, v. 19, n° 1, pp. 1-22.

Peters, L. J. 1949, The direct approach to magnetic interpretation and its practical application: Gephysics, v. 14, pp. 290-320.

Rosenbach, Otto, 1953, A contribution to the calculation of the "Second derivative" from gravity data: Geophysics, v. 18, n° 4, pp. 894-912.

Roy Amalendu, 1958, Residual and second derivatives of gravity and magnetic maps (Letter to the Editor): Geophysics, v. 23, n° 4, pp. 860-862.

1961, On some properties of residuals and derivatives: Jour. Gophys. Res., v. 66, pp. 543-548.

Saxon, S., and Nygaard, K., 1953, Residual Anomalies and depth estimation: Geophysics, v. 18, n° 4, pp. 913-928.

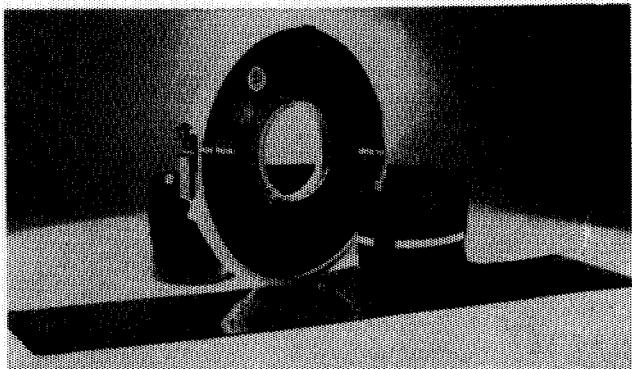
Swartz, C. A., 1954, Some geometrical properties of residual maps: Geophysics, v. 19, n° 1, pp. 46-70.

Vajk, Raoul, 1951, Regional correction of gravity data: Geofisica Pura and applicata. v. 19, Fasc. 3-4, Milano, pp. 129-143.

1954, Notes on Frazer S. Grant's paper, "A theory for the regional correction of potential field data" (Letter to the Editor): Geophysics, v. 19, n° 3, pp. 569-576.

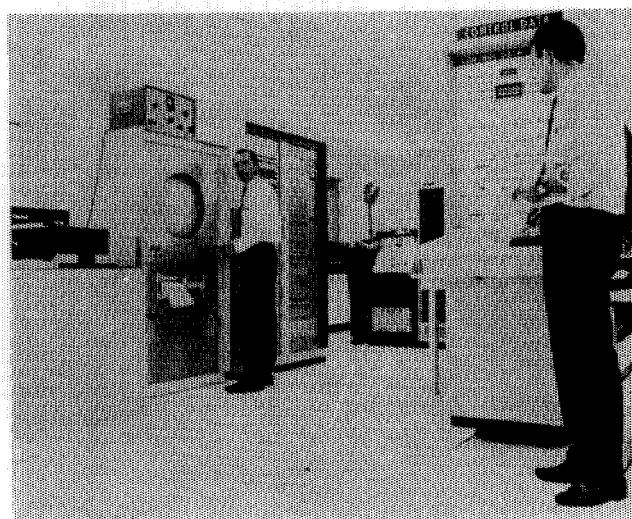
Petty procesa  
cintas como estas

(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

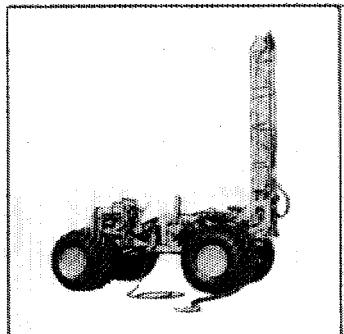
REGISTROS ELECTRICOS DE POZOS

RESISTIVIDAD ELECTRICA

POLARIZACION INDUCIDA

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

CIUDAD TLATELOLCO — MEXICO 3, D. F.



LA UTILIDAD DEL TRANSPORTADOR FLOTANTE "CAREY"  
EN ACCION EN EL AREA MAR DEL NORTE.

## "TRANSPORTADOR FLOTANTE CAREY"

**Considere estas ventajas cuando usted planee su próximo trabajo:**

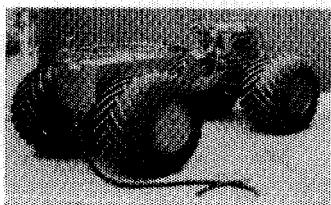
**ROBUSTEZ.**—Eje de Conducción Planetario (standard en todos los "transportadores flotantes" CAREY) elimina rompimientos del eje y diferencial.

**SEGURIDAD.**—Es fácilmente obtenible un servicio de campo completo y garantiza un máximo de eficiencia. Todos los "transportadores flotantes", utilizan máquina de encendido automático, dirección de poder, y en la parte trasera tiene un cabrestante o malacate. Es aprovechable para 24 hrs. de servicio.

**VERSATILIDAD.**—Los "transportadores flotantes" vienen equipados, con equipo de perforación, tanques de agua, cabina de instrumentos, soportes, y son completamente anfibios para todas las operaciones. Dependiendo del terreno, son opcionales las llantas de tierra firme o llantas de agricultura.

Permita que CAREY trabaje con usted para sus diseños en áreas difíciles o pantanosas según sea su aplicación específica. Se puede tener rentado o comprado.

Llame o escriba a CAREY MACHINE & SUPPLY CO., 5810 South Rice Ave., Houston, Texas 77036. Teléfono 713 Mo 7-5695 o en México a Distribuidores Industriales. Lafragua No. 13-201, México 1, D. F., Tel. 35-24-07.



VEHICULO ANFIBIO CAREY  
ROBUSTEZ - SEGURIDAD - ECONOMIA



REPRESENTANTES EN MEXICO:  
DISTRIBUIDORES INDUSTRIALES, S. A.  
Lafragua No. 13 - 201

# **EXPLORACIONES,**

**S. A.**



Iturbide No. 36 Desp. 201

Tel. 10-15-64

MEXICO, D. F.



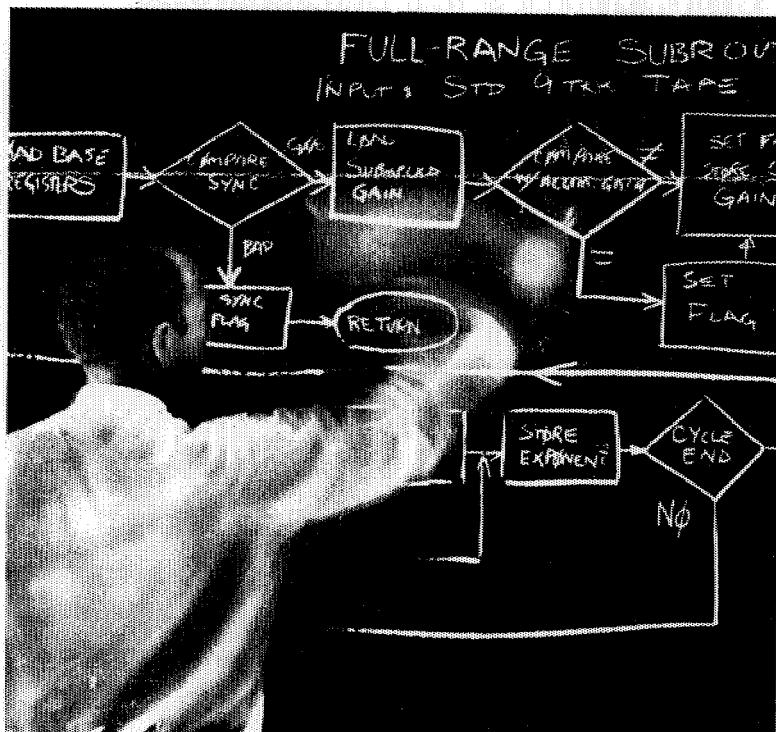
**Vector** Cable Company

5616 Lawndale  
Houston, Texas  
Phone — 713-926 8821  
TWX — 713-571 1492

# WESTERN

## SIEMPRE EN MARCHA

desde la programación de rango completo producida por amplificadores de incremento binario, hasta los nuevos conceptos sobre orígenes sísmicos.



913 North La Brea Avenue • Los Angeles, California 90038, U.S.A.  
520 North Market Street • Shreveport, Louisiana 71107, U.S.A.

**WESTERN**  
GEOPHYSICAL  
DIVISION OF ITTEN INDUSTRIES

# **PERFORACIONES, S. A.**

**CONTRATISTA DE PERFORACION  
EXPLORATORIA DESDE 1950 PARA**

**PETROLEOS MEXICANOS**

**SECRETARIA DE MARINA**

**CONSTRUCTORA MALTA, S. A.**

**NATIONAL SOIL SERVICES, CO.**

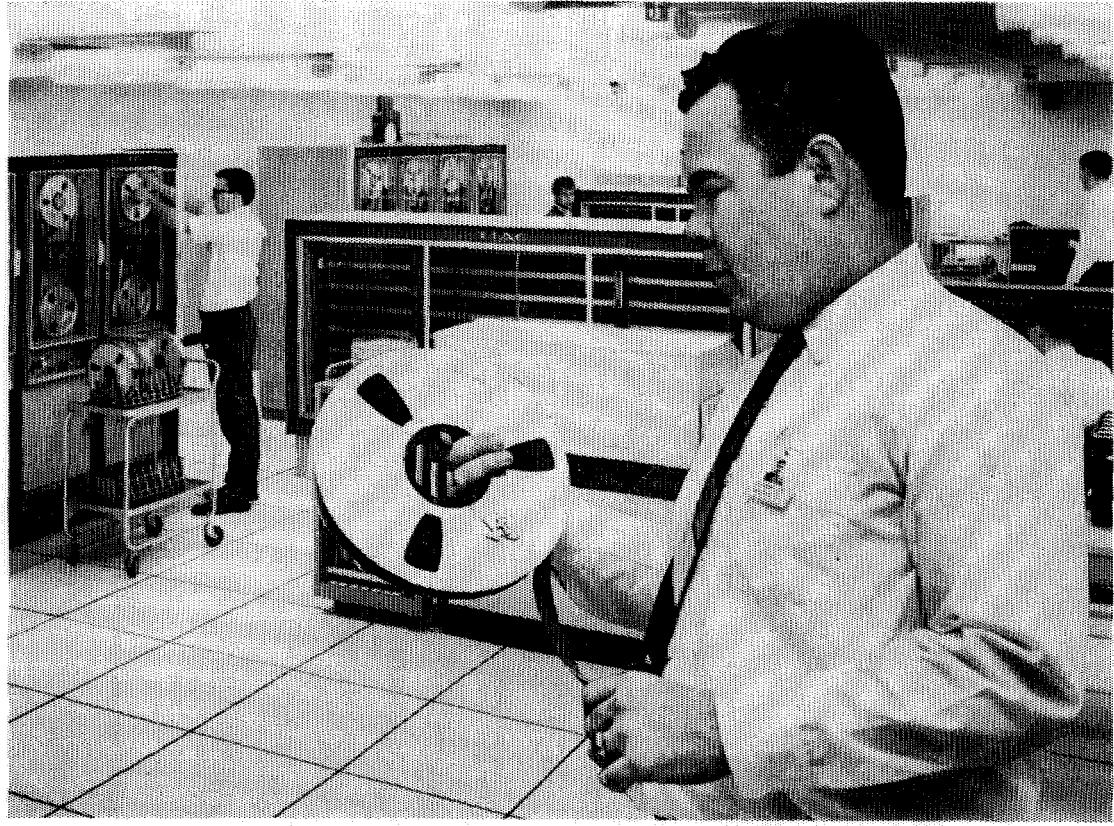
**CIA. FUNDIDORA DE FIERRO Y  
ACERO DE MONTERREY, S. A.**

**Y PARTICULARES**

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

**Teléfonos: 21-37-25 y 21-36-42**

**MEXICO 1, D. F.**



## Su trabajo: PRODUCCION SISMICA!

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

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, deconvueltos 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 sísmica, 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, sismólogos, 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 deconvuelta.

GSI está entregando producción sísmica digital en todo el mundo. Carlos podría hacer este mismo trabajo al igual que otros en centros de procesación 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 e interpretación.

Estamos obligados a ello. Es nuestro trabajo.

**GSI**

**de Mexico S. A. de C. V.**

AVENIDA JUAREZ 118, DESPACHO 42,  
MEXICO CITY, 1, D.F.

