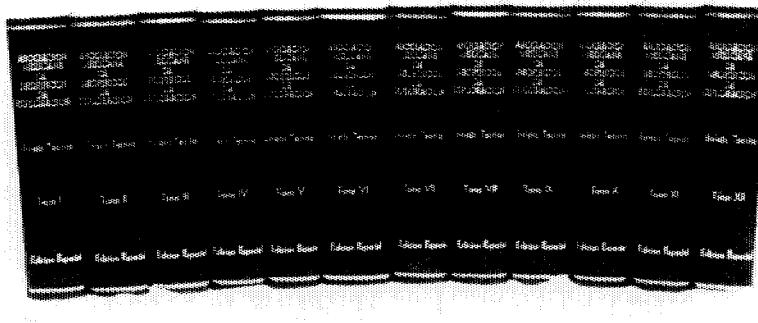


ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

Estimado Socio:

Tenemos a la disposición la colección completa en doce tomos del Boletín Técnico de nuestra querida Asociación, para mayor información con el M. en C. Rodolfo Marines Campos, a los Tel.: 567-82-61 (Directo) 587-29-77, 368-59-11 y 368-93-33, Exts.: 20355 y 20772 del Instituto Mexicano del Petróleo.



Presentación: Keratol o keratina

Colores: Azul, guinda, café, rojo o negro

Letras: Doradas o plateadas

Atentamente,

EL CONSEJO DIRECTIVO

Boletín de la

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

Sumario

Página

- **TECNICAS DE EXPLORACION SISMOLÓGICA MARINA TRIDIMENSIONAL 1991, EN LA SONDA DE CAMPECHE.** 1
*Francisco Ramos García
Efraín Méndez Hernández*

- **ADQUISICION Y PROCESAMIENTO NUMERICO DE IMÁGENES DIGITALES EN CIENCIAS DE LA TIERRA.** 28
Raymundo Martínez Angeles

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

CONSEJO DIRECTIVO

1991 –1992

Presidente	Ing. Jorge Reyes Núñez
Vicepresidente	Ing. Raymundo Aguilera Ibarra
Secretario	Ing. Francisco Rubén Rocha de la Vega
Tesorero	Ing. César Navarro Tafolla
Pro-Tesorero	Ing. Víctor A. Degollado Flores
Editor	Ing. Rodolfo Marines Campos
Coeditor	Ing. Fermín Castilla Ortega
Coordinador Ayuda Mutua	Ing. José G. Viveros Zúñiga
Subcoordinador Ayuda Mutua	Ing. Sergio García del Toro
Coord. Eventos Técnicos	Ing. Jaime Martínez Ramos
Coord. Eventos Sociales	Ing. Jorge Vera Sánchez
	Ing. Carlos López Ramírez
	Ing. Antonio Sandoval Silva

PRESIDENTES DELEGACIONALES

Reynosa	Ing. Gildardo Velasco Vázquez
Tampico	Ing. Everardo Castro Medellín
Poza Rica	Ing. Héctor Hernández Galicia
Coatzacoalcos	Ing. Luis Calzada Tovar
Villahermosa	Ing. Quintín Cárdenas Jammet
Cd. del Carmen	Ing. Jorge Stanford Best
Córdoba	Ing. Fernando López Juárez
Chihuahua	Ing. Enrique de la Rosa Santoscoy
Morelia	Ing. José Francisco Arrellano Guadarrama

VOCALES

IMP	Ing. Carlos Villegas Carrasco
IPN	Dr. Ernesto Filio López
UNAM	Dr. René Chávez Segura
EXTERIOR	Ing. Javier Núñez Ariza
JUBILADOS	Ing. Jorge Franco Páez

Para todo asunto relacionado con el Boletín Técnico, como manuscritos, suscripciones, descuentos especiales a bibliotecas públicas o universidades, publicaciones, anuncios, etc., dirigirse a:

M. en C. Rodolfo Marines Campos
Apartado Postal 57-275
06500 México, D.F.
Tel.: 567-82-61

Las aseveraciones y opiniones expresadas en los escritos en este Boletín, son de la exclusiva responsabilidad de los autores.

Boletín de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración. Boletín Trimestral, editado por la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, Apartado Postal 57-275, 06500 México, D.F., Tels.: 545-79-68, 531-63-18 y 254-20-44, Exts.: 22537 y 23519. Solicitada la autorización como correspondencia de segunda clase en la Administración de Correos, D.F. Solicitada la licitud correspondiente a la Dirección de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Educación Pública. Prohibida su reproducción total o parcial sin la autorización de la AMGE.

TECNICAS DE EXPLORACION SISMOLOGICA MARINA TRIDIMENSIONAL 1991, EN LA SONDA DE CAMPECHE

*Ing. Francisco Ramos García**
*M. en I. Efraín Méndez Hernández***

RESUMEN

Petróleos Mexicanos, en su política exploratoria para la localización de nuevos yacimientos petrolíferos y configuración precisa de los ya existentes, ha dirigido durante el periodo mayo—octubre de 1991, la operación de brigadas sismológicas marinas tridimensionales en diversas localidades de la Sonda de Campeche. Los datos sísmicos obtenidos han sido recolectados con las tecnologías de punta a nivel mundial, bajo una densa cubierta de apilamiento en el subsuelo y a partir de altos niveles de precisión en el posicionamiento, revelando en las primeras secciones sismológicas aportadas por la labor de procesado, horizontes reflectores y condiciones estructurales, cuya factibilidad de almacenar hidrocarburos, será dictaminada por el posterior trabajo interpretativo. El presente artículo describe los diversos aspectos operativos involucrados en dichos levantamientos, planteando en forma adicional, los principios básicos que hacen actualmente de esta herramienta de carácter geofísico, la de mayor precisión y resolutividad interpretativa en la determinación de los rasgos geológicos del subsuelo.

* Gerencia de Exploración, Región Marina, PEMEX

** Unidad de Computación Aplicada, de la Coordinación Divisional de Exploración de Petróleos Mexicanos.

INTRODUCCION

Un levantamiento sismológico tridimensional (3D), involucra la obtención de perfiles sísmicos sobre un área, con el objetivo de determinar las relaciones espaciales, en 3 dimensiones, de los rasgos geológicos estructurales del subsuelo.

La sismología 3D es la herramienta de carácter geofísico que proporciona la información que interpretativamente se puede considerar como la más resolutiva y precisa acerca de la geometría estructural del subsuelo. Actualmente, debido a su alto costo en la obtención y procesamiento de datos, su aplicación se restringe a la explotación y configuración detallada de yacimientos de hidrocarburos.

El diseño y adquisición de datos para sismología marina 3D requiere efectuar algunas consideraciones. Un típico levantamiento marino tridimensional se lleva a cabo utilizando un barco (vessel) equipado con una fuente de energía sísmica (Fig. 1), un cable remolcado contenido detectores de la energía acústica (hidrófonos), equipo de grabación, así como equipo de navegación y posicionamiento para determinar los sitios precisos en que los datos han de ser recolectados.

En levantamientos sismológicos marinos 3D convencionales, el barco transita sobre la superficie del océano a partir de líneas de tiro paralelas y cercanamente espaciadas. La requerida imagen tridimensional detallada del subsuelo, implicará un incremento notable en el muestreo de datos. Así, en contraste a los levantamientos sismológicos 2D, en los cuales el espacio entre líneas puede ser de cientos a miles de metros, el espacio entre éstas para sismología 3D puede ser de 75 m o menos. Esta densa cubierta (que puede involucrar para un levantamiento la obtención de cientos de miles a millones de trazas) requerirá un alto nivel de precisión en la navegación (posicionamiento) para el conocimiento preciso de las localizaciones de tiro y receptores.

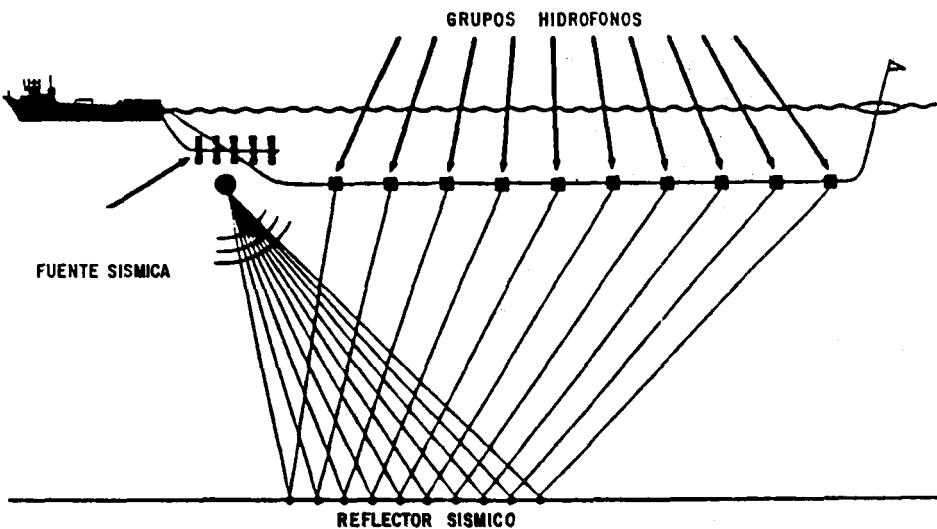


Fig. 1.- Levantamiento sismológico marino (Morgan, 1983).

La fuente sísmica marina de uso actualmente más extensivo, es el mecanismo denominado como “air-gun” (pistola de aire), diseñada mediante dos cámaras de aire montadas en un cilindro y conectadas por medio de un pistón, el cual se acciona mediante una señal de un dispositivo eléctrico. El mecanismo actúa inyectando una burbuja de aire comprimido dentro del agua, creándose un pulso de presión para la generación de ondas sísmicas.

Un típico cable marino de observación (streamer), puede tener de 3 a 4 km de longitud, conteniendo arreglos de hidrófonos a espaciamientos convenientes, compases magnéticos de localización, registradores de profundidad, así como controladores de profundidad que permitan el mantenimiento vertical adecuado de los diversos sectores del cable. En forma previa al envío de la señal sísmica al interior del barco para su grabación sobre cinta magnética, el cable adicionalmente puede contener componentes electrónicos que permitan la pre-amplificación filtrado y conversión analógico-digital de la señal detectada.

En levantamientos marinos 3D, la dirección de tiro (shooting-direction) es llamado la “dirección en línea” (in-line direction), mientras que la dirección perpendicular a ésta es la llamada dirección “cross-line”.

Los principios básicos del procesamiento de datos sísmicos 2D aún son aplicables al procesamiento 3D. En el procesamiento 2D, las trazas son recolectadas en forma de puntos de reflejo común. En procesamiento de datos 3D las trazas son agrupadas en “celdas de reflejo común” (bins); ese conjunto se utiliza en análisis de velocidades, generándose apilamientos de puntos de reflexión que caen en celdas de reflejo común.

Las geometrías convencionales de grabación marinas 3D presentan características particulares. Debido a la acción de corrientes marinas de cruce, el cable marino receptor (streamer) está sujeto a cierta cantidad de deriva lateral (feathering) de la línea del cable ideal (Fig. 2). El ángulo entre la posición real del cable y la dirección de línea de tiro o trayectoria del barco es llamado el “ángulo feathering”, nótese que este ángulo no es siempre constante aún a lo largo de la posición del cable asociada con un tiro simple. Asumiendo un patrón de cable como el mostrado en la figura 2, aunque la dirección de tiro es a lo largo de la línea num. 2, los datos son grabados en los puntos medios de reflejo entre la fuente y cada uno de los receptores, pero asociados a las celdas de las líneas de tiro laterales, sufriendo una dispersión en dirección perpendicular a la línea de tiro, esto es, en la dirección “cross-line”. Cuando los datos se ordenan en celdas de reflejo común (bins), cada celda contendrá puntos medios de reflejo asociados con más de una línea fuente. Será necesario, entonces, determinar con precisión las posiciones de los puntos de tiro y receptores para precisar las localizaciones exactas de los puntos medios de reflejo y agruparlos dentro de las celdas para el apilamiento y posterior proceso de migración sísmica. Arreglos geométricos adicionales, fuente-cable, receptor, se ilustran en la figura 3.

Los datos de navegación precolectados sobre el levantamiento sismológico marino, normalmente incluyen la localización y rumbo del barco explorador, localización de la fuente y lecturas de los compases magnéticos del cable (lo cual permite el cálculo de las coordenadas de los sectores del mismo).

Una vez que han sido cubiertas las líneas de tiro (shot-lines) diseñadas en el levantamiento y que han sido ubicados los puntos de reflejo correspondientes a cada tiro-receptor, se apreciará que debido al “feathering” del cable existirán “huecos” que no cumplen con la cubierta de apilamiento que cada bin o celda de reflejo común requiere. Dichas áreas deberán ser llenadas (infill) durante la etapa de adquisición de datos a partir de tirar líneas adicionales en localidades apropiadas. Si esas deficiencias se des-

cubren hasta el procesado de la información, resultará altamente costoso enviar de regreso al barco para una adquisición adicional de datos. Para evitar lo anterior, se deberá llevar a bordo un monitor de cubierta de apilamiento de las celdas, en forma tal que al efectuar cada disparo, se visualice la cubierta obtenida en los "bins" circundantes para el diseño apropiado de las posteriores líneas de relleno de apilamiento (infill-lines).

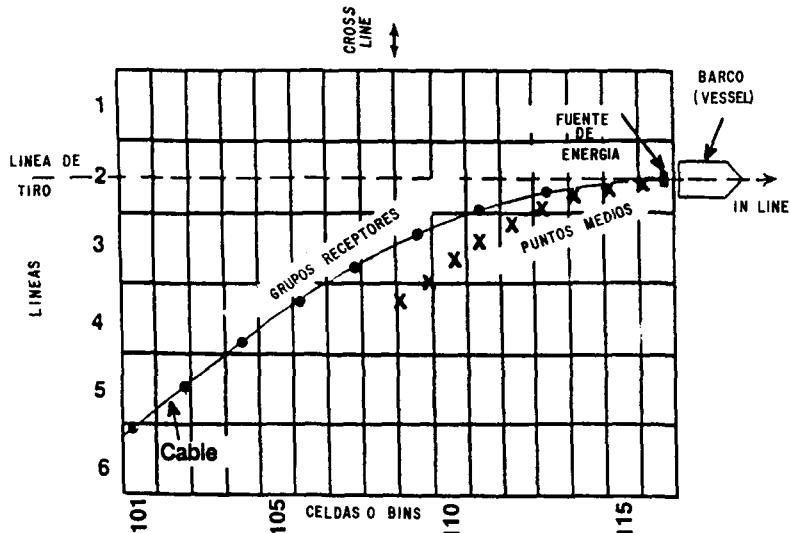


Fig. 2.- Un supuesto patrón de "streamer" con la ubicación de los resultantes puntos medios de reflejo en celdas o "bins" laterales. El esquema considera una fuente y un "streamer", que dan como resultado una línea de observación (Yilmaz, 1987).

Después del apilamiento, el volumen de datos 3D es a menudo migrado en dos estados. Primero, una migración 2D es aplicada a lo largo de la dirección de trayectoria del barco (in-line). Entonces, los datos se ordenan, agrupan y se aplica un segundo paso de migración 2D a lo largo de la dirección cross-line. Antes del segundo paso de migración los datos necesitan, en algunas ocasiones, ser interpolados por traza a lo largo de la dirección cross-line (Fig. 4).

El volumen de datos 3D se encuentra, entonces, disponible al intérprete como secciones verticales en las direcciones in-line y cross-line, y como secciones horizontales (time slices). Debido a la gran cantidad de datos obtenidos en un levantamiento 3D, el ambiente de estaciones de trabajo

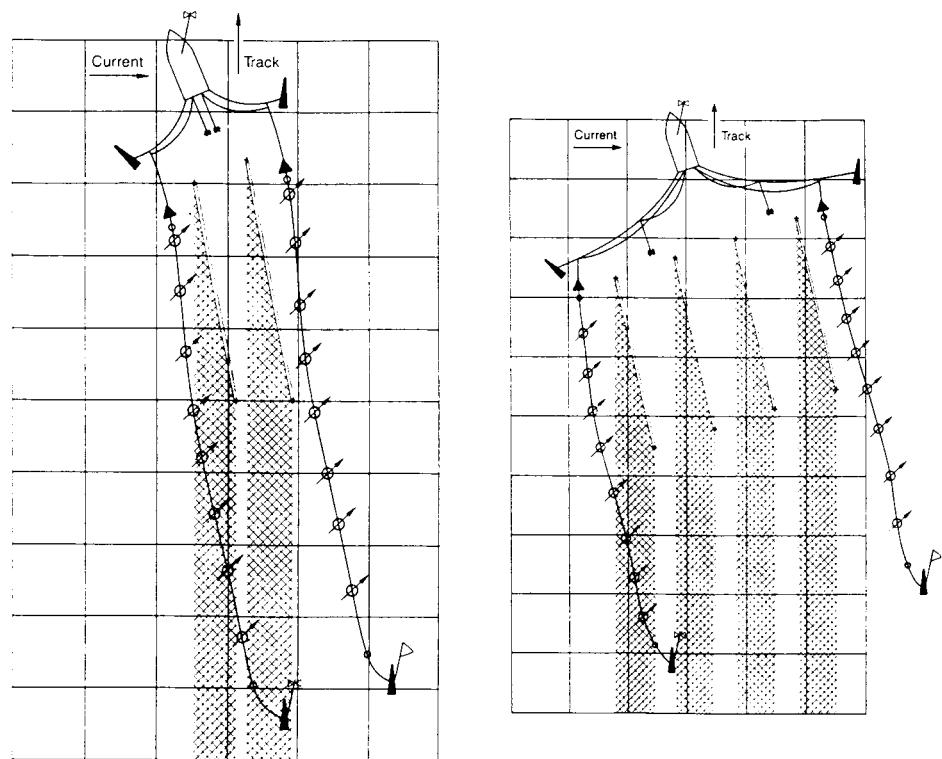


Fig. 3.- Arreglos geométricos adicionales fuente-cable receptor. a) una fuente y dos "streamers" (dos líneas de observación) y b) dos fuentes y dos "streamers" (cuatro líneas de observación) (Houston, 1987).

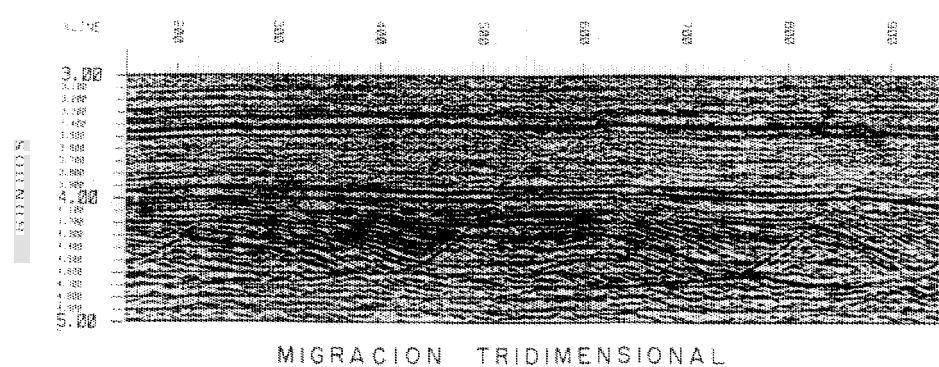
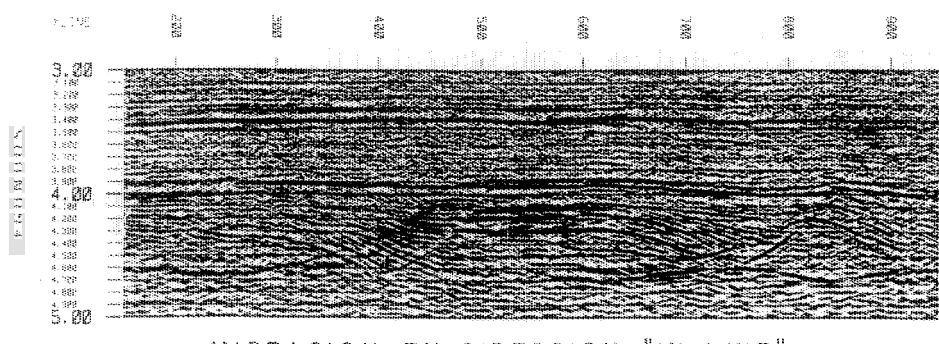
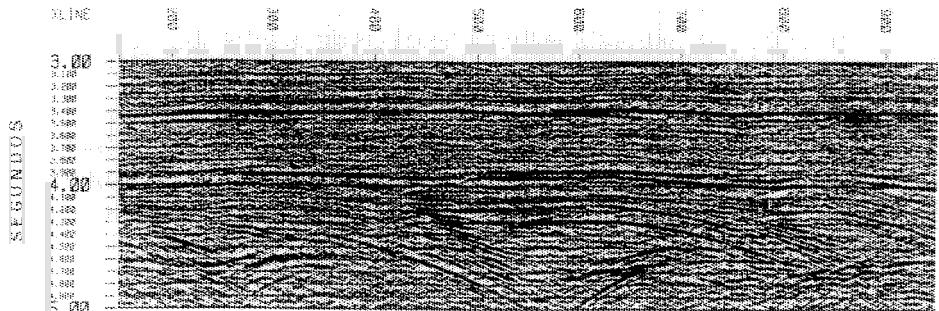


Fig. 4.- Secuencia de migración tridimensional.

interactivas representa actualmente una poderosa herramienta en la interpretación de ese tipo de información. En forma adicional, el ambiente interactivo puede representar la ventaja de mejorar la interpretación a partir de implementar, por ejemplo: algunas técnicas de correlación de horizontes y de procesamiento de imágenes.

Actualmente, el método 3D para sismología marina ha revolucionado nuestra capacidad para representar los rasgos geológicos del subsuelo. El alto poder de resolución que provee, ha agregado una mayor eficiencia al proceso de evaluación de prospectos, contribuyendo a la obtención de mayores éxitos en la perforación de pozos petroleros, al generar modelos geológicos tridimensionales realistas del subsuelo.

EXPLORACION SISMOLOGICA MARINA TRIDIMENSIONAL, 1991, EN LA SONDA DE CAMPECHE

A) ANTECEDENTES

La Sonda de Campeche es una área localizada en la porción occidental de la Península de Yucatán, frente a los estados de Campeche y Tabasco en el Golfo de México, su extensión cubre hasta la isobata de 500 m, con una superficie de 19,000 km² (Fig. 5).

La importancia económica de esta región radica en sus reservas y explotación petroleras, que actualmente la ubican como una de las zonas de mayor producción a nivel mundial y, por consecuencia, de interés prioritario, tanto en el área de exploración de nuevos yacimientos como en la de desarrollo de campos en nuestro país.

En el Golfo de México, los estudios sismológicos con sistemas analógicos se iniciaron a finales de la década de los 40's, en las costas de los estados de Veracruz y Tabasco. Dentro de la Sonda de Campeche, los estudios sísmicos digitales dan inicio en 1972, continuándose en 1974, 1979, 1980, 1983, 1985 y 1987.

Con los estudios de exploración geofísica y, en particular los de sismología realizados en 1972, se identificaron estructuras importantes, tales como Chac, Akal y Abkatún, entre otras. En 1976, con la perforación del Pozo Chac-1, se descubren grandes depósitos de hidrocarburos en brechas

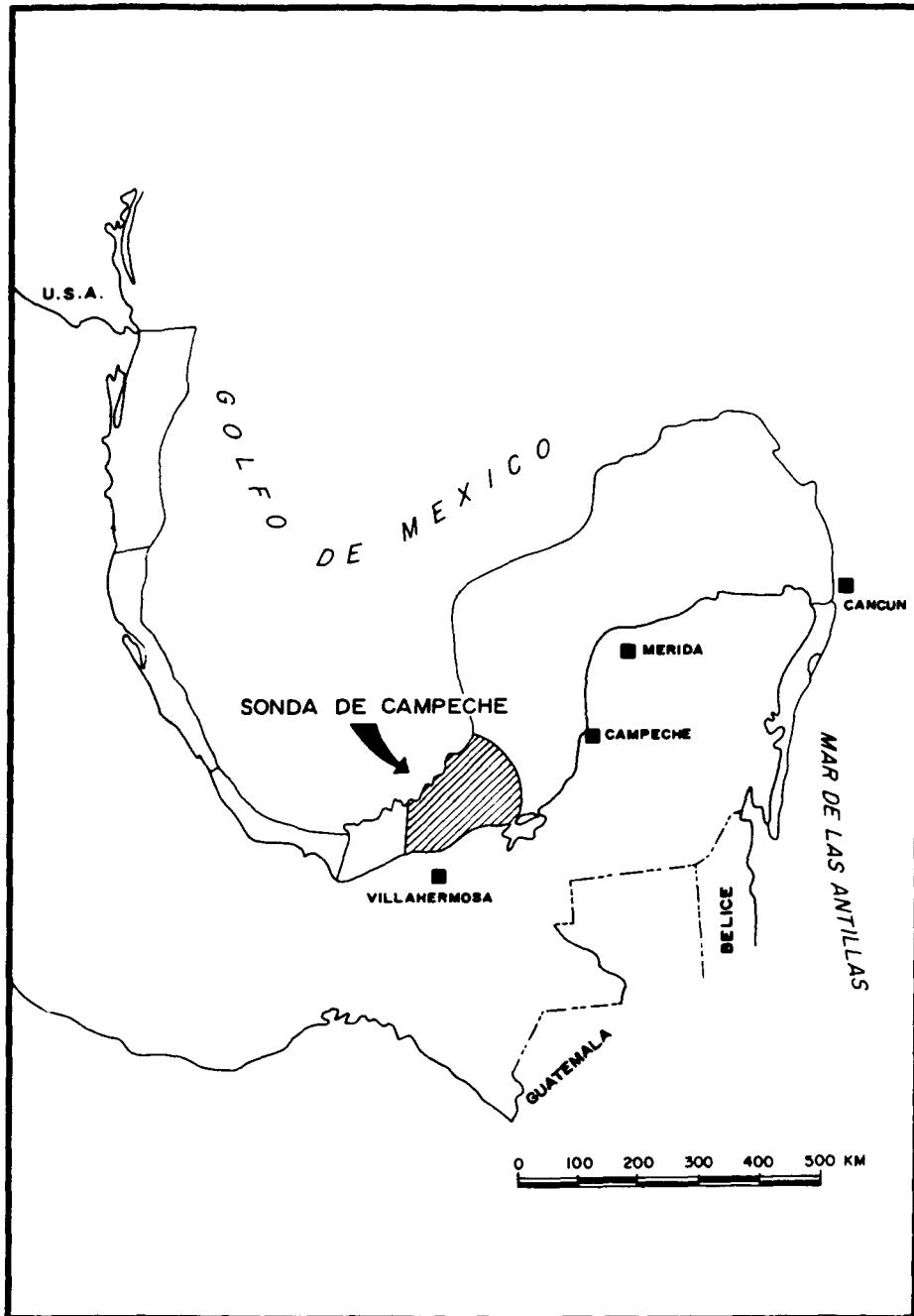


Fig. 5.- Ubicación de la Sonda de Campeche.

calcáreas dolomitizadas del Cretácico Superior–Paleoceno. Sin embargo, dada la complejidad del área y el alto costo de la perforación en mar, se patentiza la necesidad de definir con una mayor precisión aspectos estructurales y estratigráficos de las rocas del Paleoceno y Mesozoico.

Para ello, Petróleos Mexicanos, en 1979, resuelve el empleo de Métodos Sismológicos Marinos tridimensionales en los prospectos Chac, Ku-Maloob (ahora Cantarell) y Abkatún, continuándose los estudios en otras localidades de la misma área durante los años de 1985 y 1987 (Fig. 6).

SISMOLOGIA TRIDIMENSIONAL

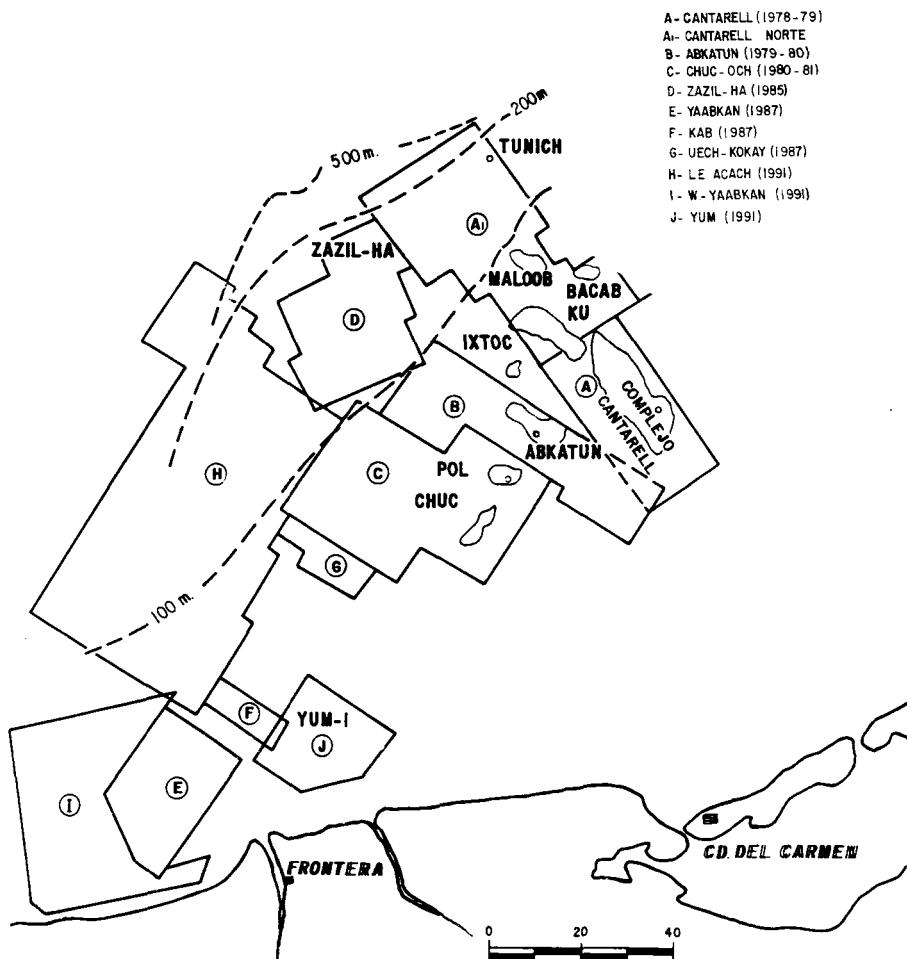


Fig. 6.-Estudios de sismología tridimensional realizados en la Sonda de Campeche (Francisco Ramos García, oct. 1991).

A la fecha, los estudios sismológicos marinos han dado apoyo al 100% de las localizaciones exploratorias en la Sonda de Campeche, de las cuales el 70%, han sido postuladas a partir de estudios tridimensionales con un 66% de éxito en las perforaciones realizadas, contribuyendo, adicionalmente, a disminuir el riesgo en el desarrollo de los campos involucrados (Palafox, 1990).

B) PROSPECTOS OPERACIONALES 1991

Petróleos Mexicanos, como parte de su política exploratoria 1991, para la localización de nuevos yacimientos petrolíferos y configuración precisa de los ya existentes, ha dirigido, bajo contrato establecido con las compañías contratistas "Western Geophysical Co." y "Digicon Geophysical Corp.", la operación de brigadas marinas para estudios sismológicos de reflexión tridimensionales en la región de la Sonda de Campeche.

El área de estudio incluyó tres prospectos operativos (Fig. 6), cuyos objetivos generales se refieren a continuación:

PROSPECTO	OBJETIVOS
1) LE-ACACH	Definir con mayor precisión en extensión y profundidad trampas y estructuras interpretadas en trabajos anteriores, incrementar el inventario de las mismas y disminuir el riesgo de pozos improductivos, orientando adecuadamente el desarrollo de estructuras, actualmente en perforación con objetivo Mesozoico.
2) W DE YAABKAN	Definir con mayor precisión en extensión y profundidad trampas y estructuras a nivel Mesozoico.
3) YUM	Definir trampas y estructuras que conforman el yacimiento, conocer la extensión de las mismas para orientar adecuadamente su desarrollo y disminuir el riesgo de pozos improductivos a nivel Mesozoico.

C) TECNICAS Y PARAMETROS DE CAMPO

La operación sismológica marina tridimensional se desarrolló, para los prospectos involucrados, bajo las siguientes técnicas de adquisición de datos de campo:

1. **Prospecto LE—ACACH.**— Operado por la Cía. Western Geophysical Co., a partir de un barco maestro fuente—observador (“M/V Western Atlas”), adaptado para estudios sísmicos de reflexión y para navegar hasta en un mínimo de diez m de tirante de agua. El sistema permitió la utilización de dos fuentes de energía y dos cables de observación (streamers). Las fuentes presentaron un accionar alternado para la obtención simultánea, en una sola trayectoria, de 4 líneas sísmicas de observación (Figs. 7 y 8).

2. **Prospectos W de YAABKAN Y YUM.**— Ambos realizados por la Cía. Digicon Geophysical Corp., utilizando un barco maestro fuente observador (“M/V Acadian Commander” o “M/V Explorer”) y uno ó dos barcos esclavos observadores (“s/v Seacor Surf” y/o “S/V Explorer”), adaptados para este tipo de estudios y para navegar hasta en un mínimo de 7 m de tirante de agua. La utilización de una fuente sísmica y 1, 2 ó 3 cables de observación (streamers), permitió la obtención simultánea, en una sola trayectoria, de 1, 2 ó 3 líneas sísmicas de observación (Figs. 9 y 10).

La gráfica 1 presenta la calendarización durante el desarrollo de los trabajos de campo, en los mencionados prospectos.

Las tablas 1 a 3 puntualizan características generales, dimensiones y parámetros operativos relacionados con la adquisición de la información sísmológica en los citados levantamientos.

El diseño de las técnicas de operación y selección de equipos empleados, se fundamentó en los objetivos y problemas a resolver. Equipos de grabación y posicionamiento, sistemas de control de operación, barcos y sistemas de cómputo disponibles; lo anterior, ha considerado los echados de los estratos en el subsuelo, frecuencias que se pretendían preservar y el área que se deseaba tener migrada con el apilamiento completo.

Los avances tecnológicos en las metodologías empleadas para la adquisición de datos, en relación con las utilizadas en levantamientos anteriores en el área, radicaron fundamentalmente en el uso de técnicas digitales

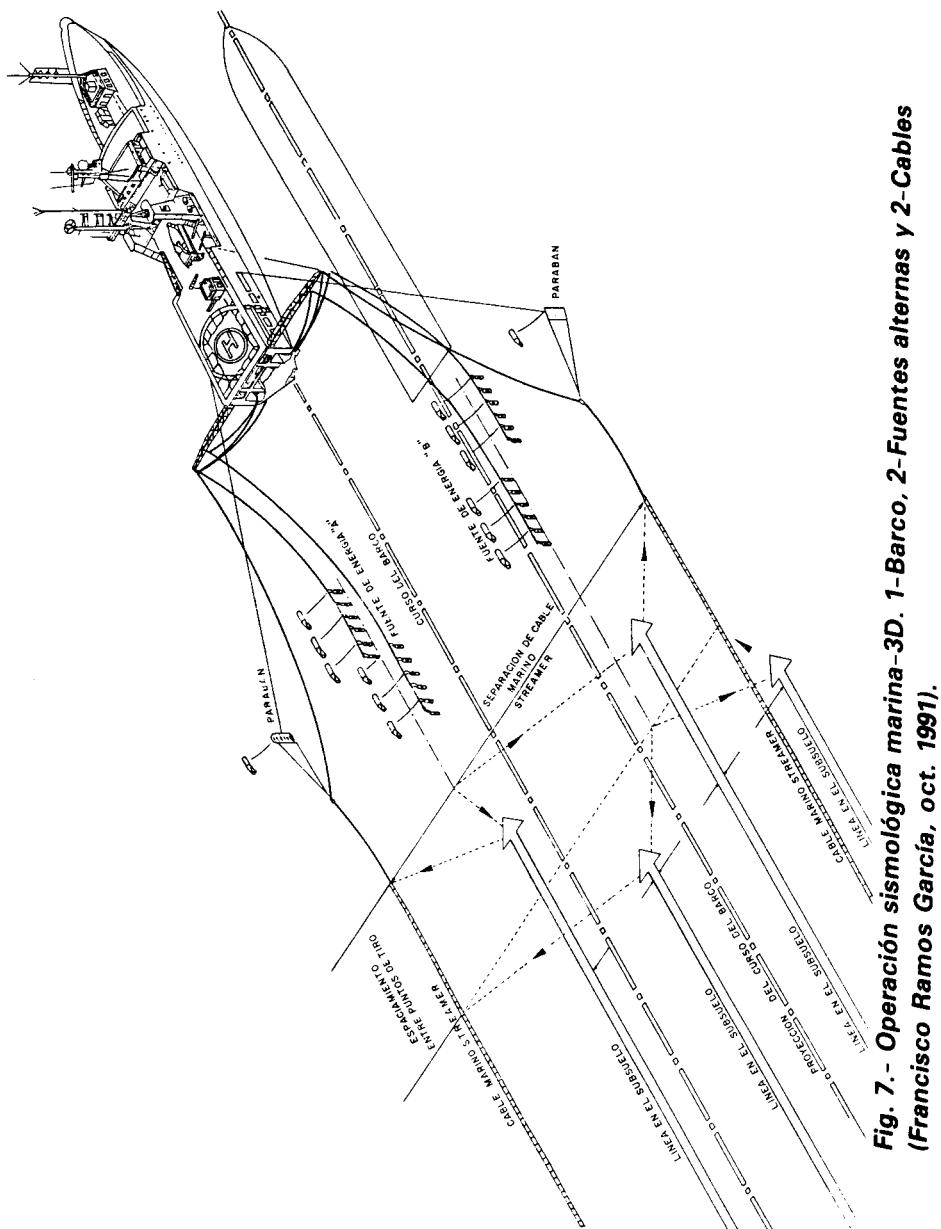


Fig. 7.- Operación sismológica marina-3D. 1-Barco, 2-Fuentes alternas y 2-Cables
(Francisco Ramos García, oct. 1991).

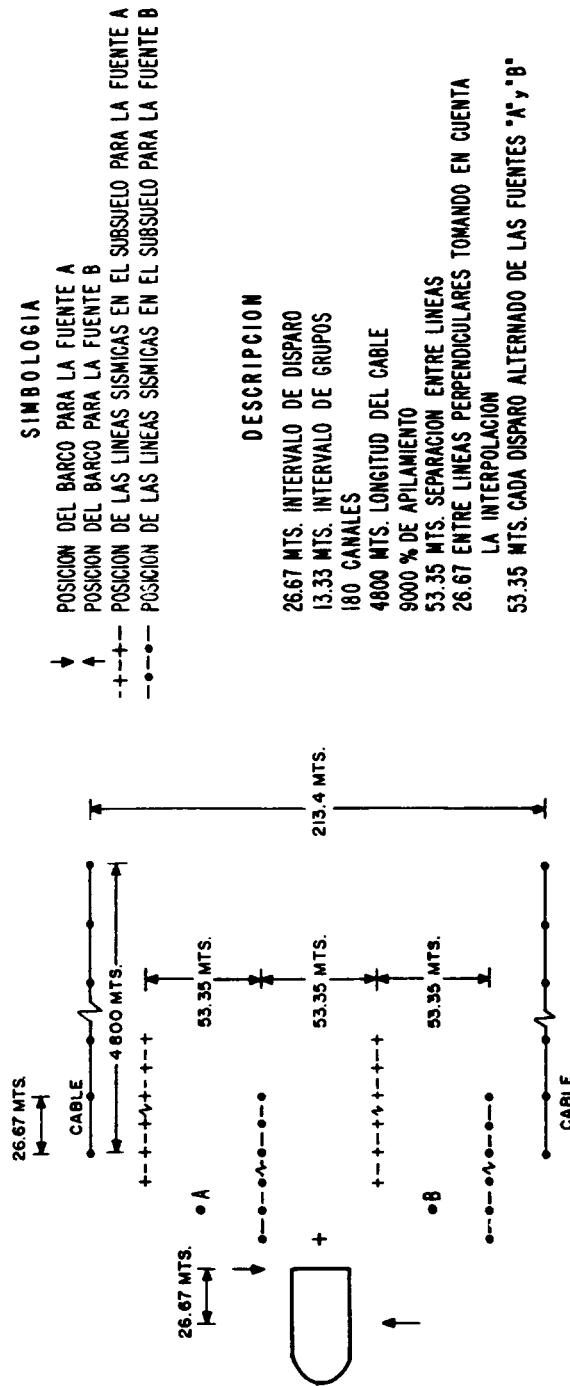


Fig. 8.- Adquisición de datos sismológicos marinos 3D con un barco, dos cables y dos fuentes alternas (Francisco Ramos García, Mayo 1991).

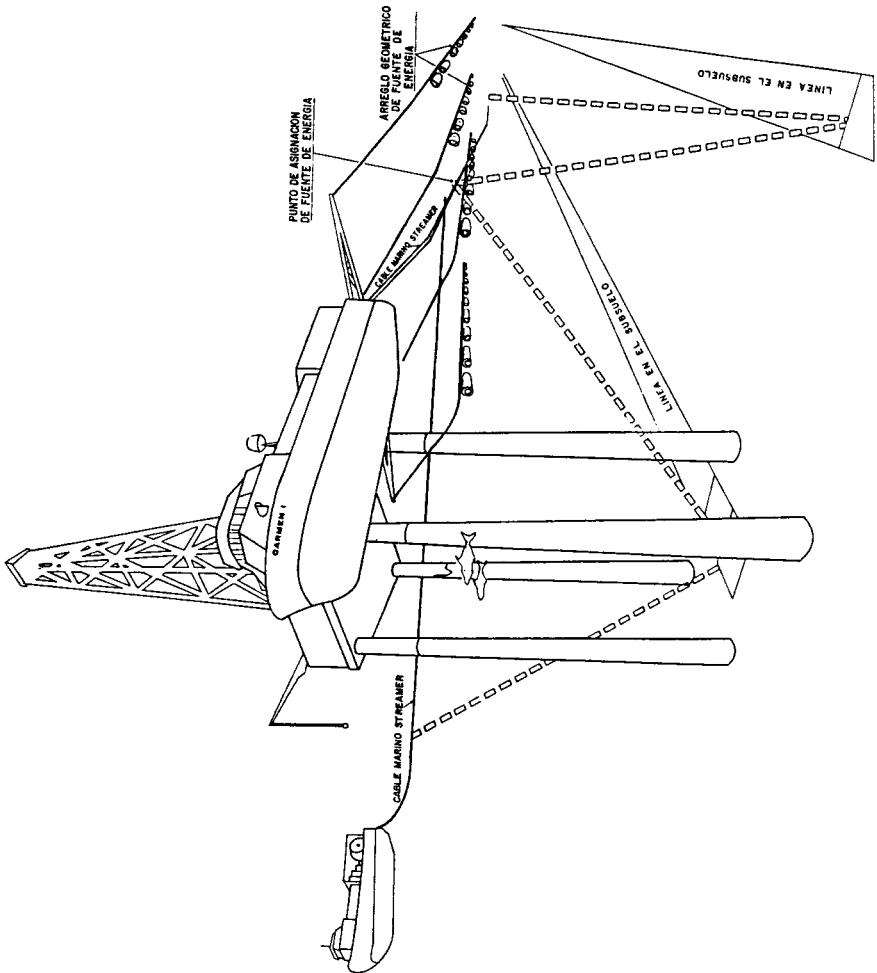


Fig. 9.- Operación sismológica marina 3D con dos barcos, una fuente y dos cables
(Francisco Ramos García, oct. 1991).

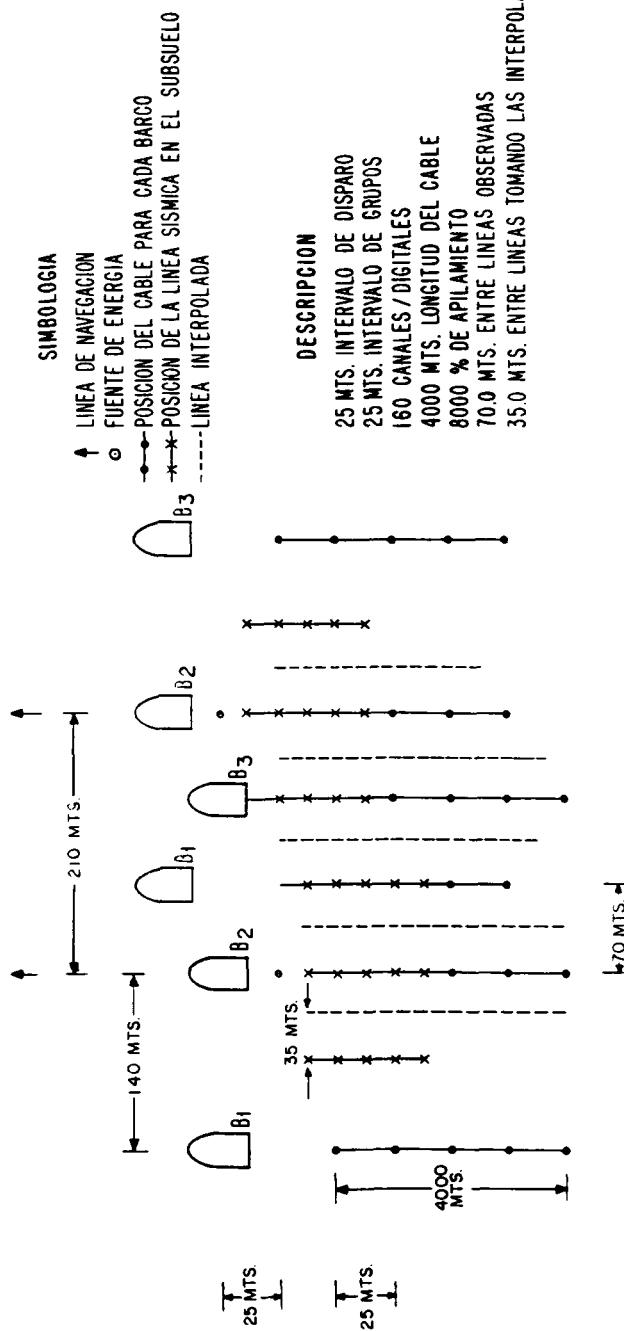
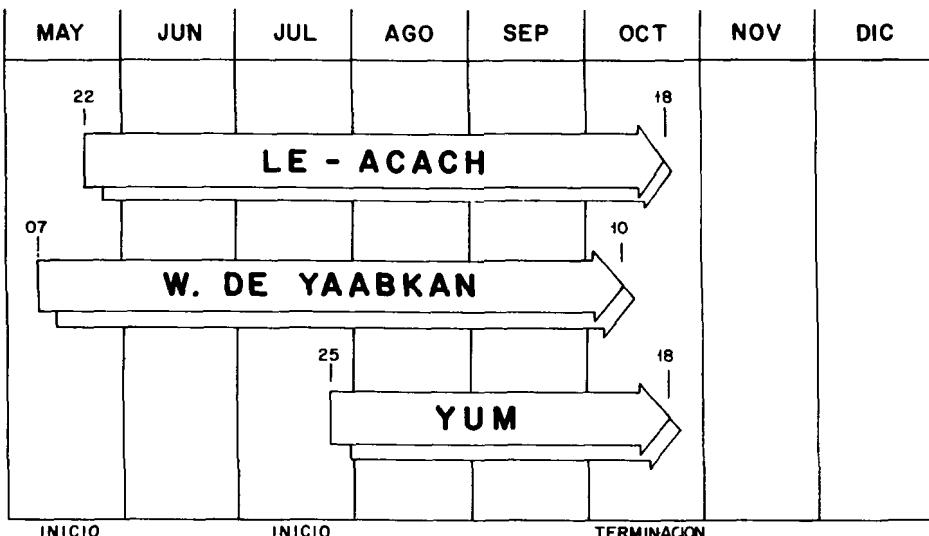


Fig. 10.- Adquisicion de datos sismologicos marinos 3D con una fuente, tres barcos y un cable por barco.



Gráfica 1.- Relación de prospectos Región Marina (1991).

multi-“streamer”, con una mayor longitud y número de grupos de hidrófonos por cable, una optimización en el diseño de la fuente de energía, el incremento en el número de canales sísmicos de los equipos de grabación, así como una depuración en los sistemas de posicionamiento del barco sísmico, fuente y cable receptor. Como resultado, se han reducido los tiempos y costos de operación, con un incremento en la calidad y número de datos, permitiendo la obtención de cubrimientos del subsuelo, en porcentajes de hasta 8,000 y 9,000% de apilamiento.

El sistema de adquisición de datos sísmicos, con dos y tres barcos, mostró una mayor efectividad operativa en regiones con presencia de obstáculos fijos (tales como plataformas de perforación), al permitir la versatilidad del uso de una fuente y cables laterales al obstáculo para la obtención de trayectorias y puntos de reflejo en la vecindad del mismo.

D) REGISTROS SISMICOS DE OBSERVACION

Considerando el gran volumen de datos adquiridos a intervalos cortos entre puntos de observación, en el modo de producción de cada línea se generó un registro monitor (sismograma) cada 40 puntos de tiro (Fig. 11). Asimismo, al finalizar cada línea observada, se produjo un registro deno-

LINE NAME: 6793-99
CLIENT: PETROLEOS MEXICANOS
AREA: LE-ACACH. BAY OF CAMPECHE
JOB#: 0116-91-002
CREW: P116

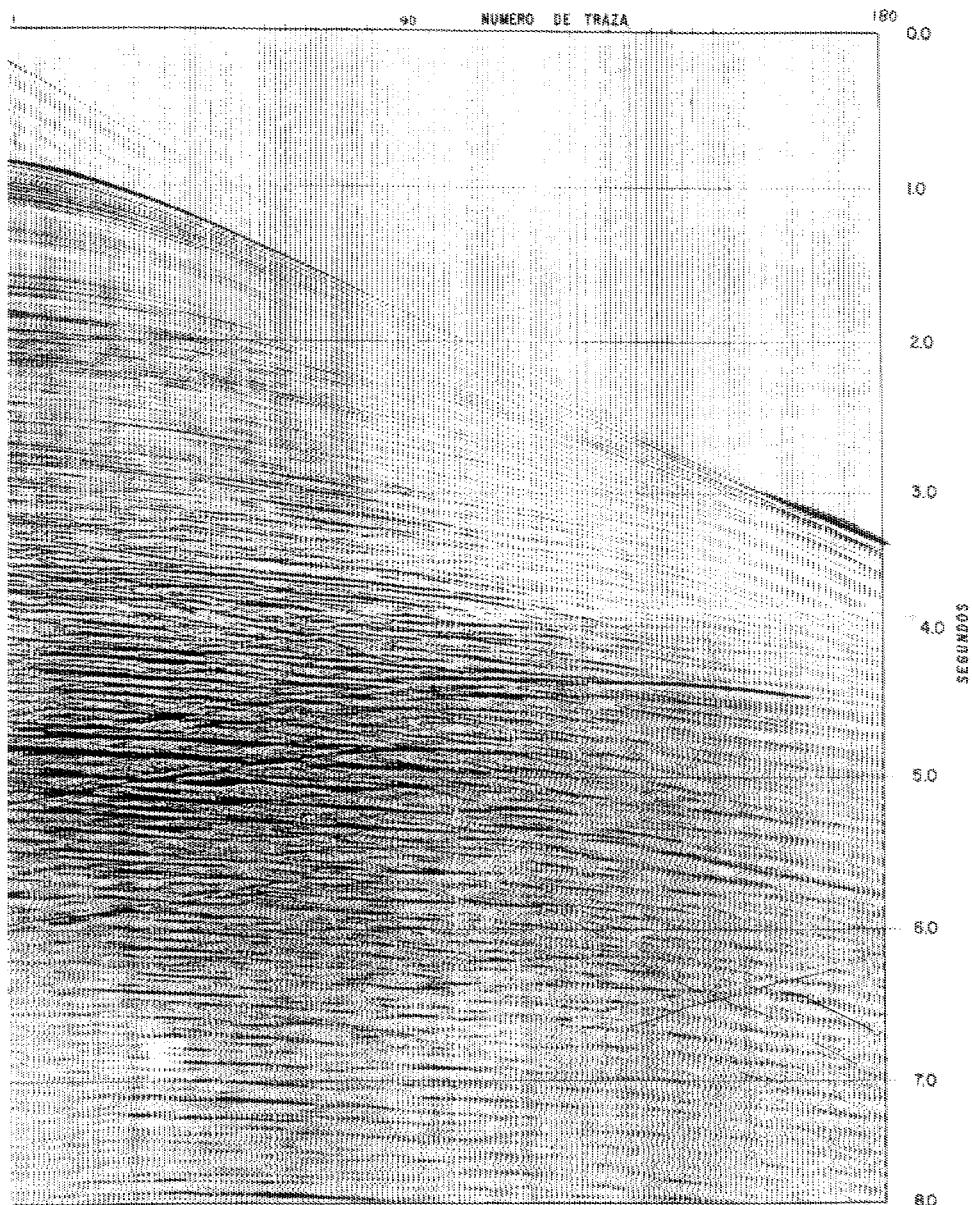


Figura 11.-Sismología de la línea 6793-99 del área Le-Acach.

TABLA 1
TECNICAS DE ADQUISICION DE DATOS

CARACTERISTICAS GENERALES	PROSPECTO LE-ACACH	PROSPECTOS W. DE YAABKAN-YUM
Compañía contratista.	Western G.C.	Digicon G.C.
Núm. Barcos por trayectoria.	1	1 a 3
Núm. Fuentes de energía	2 (alternadas)	1
Núm. Streamers.	2	1 a 3
Núm. Líneas observadas en forma simultánea.	4	1 a 3

TABLA 2
GEOMETRIAS DE LOS LEVANTAMIENTOS

PARAMETROS GEOMETRICOS	PROSPECTO LE-ACACH	PROSPECTOS W. DE YAABKAN-YUM
Número de líneas.	900	539-273
Espaciamiento.	53.34 m	70 m
Orientación.	NE SW	NE SW
Total km lineales.	-57,400	-14,230-4,950
Area aprox. cubierta.	2,590 km ²	685 km ² -268 km ² .
Dimensiones de celda o "bin".	In line-26.67 m Cross line-53.34 m	In line-25 m Cross line-75 m
Cubrimiento del subsuelo.	9,000%	8,000%

TABLA 3
PARAMETROS OPERATIVOS

PARAMETROS OPERATIVOS	PROSPECTO LE ACACH	PROSPECTOS W DE YAABKAN-YUM
FUENTE DE ENERGIA		
Tipo	Arreglo de Pistolas de Aire Entonadas	Arreglo de Pistolas de Aire Entonadas
Número de fuentes	2 (alternadas)	1
Volumen total	5400 pulg ³	6,000 pulg ³
Presión de aire	1,800 psi	2,000 psi
Intervalo entre	26.67 m (alternado)	25 m
Puntos de tiro	(53.34 m por fuente)	
Profundidad	8 m	7.5 m
STREAMER		
Tipo	Digital LRS-16A	Digital DSS-240
Número de cables	2	1 a 3
Separación	213.3 m	140 m
Longitud	4,800.0 m	4,000 m
Número de canales	180	160
Intervalo entre grupos de geófonos	26.67 m	25 m
Número de compases magnéticos	12	12
Núm. Indicadores de profundidad	12	16
Profundidad	11 m	10 m
EQUIPO DE GRABACION		
Tipo	LRS - 16A (Doble)	DSS - 240
Longitud de grabación	8 seg	8 seg
Intervalo de muestreo	2 m seg	2 m seg
Filtro de grabación bajo y alto	6 Hz - 128 Hz	8 Hz - 160 Hz
Formato de grabación	seg - D	seg - Y

minado como "single trace" que presentó, para el punto de adquisición (traza) más cercano al barco, su respuesta sísmica obtenida a lo largo de toda la línea. Dicho registro ha resultado equivalente a obtener una sección sísmica al 100% de apilamiento, dado que el efecto de sobretiempo por distancia, no sería de consideración al ser precisamente la traza más cercana al barco. El análisis de los registros sísmicos ha permitido visualizar:

- En una primera instancia, la calidad de la información sísmica recolectada a partir de la delineación tentativa de posibles reflectores de interés.

- Revelar la presencia de señales ruidosas provenientes de otras fuentes no-sísmicas (barcos cercanos, plataformas, etc.) y que podrían dañar a la señal útil.
- En conjunción con análisis de ruido al inicio y final de la línea, detectar a trazas ruidosas, amortiguadas y muertas.

E) SISTEMAS DE NAVEGACION Y POSICIONAMIENTO

La adquisición de una alta densidad de puntos-dato en Sismología Marina Tridimensional, requiere un alto nivel de precisión en el posicionamiento de las localidades en que los datos han de ser recolectados. Fuentes de error en la localización de un punto de reflexión pueden ser atribuidos a errores de posición del barco, fuente sísmica y el grupo de hidrófonos en el “streamer”.

Los requerimientos de precisión para la localización del barco y puntos de observación en el programa operacional 1991, dentro de la Sonda de Campeche, mantuvieron un nivel de tolerancia dentro de un círculo máximo de cinco metros de diámetro. Para lograr tal eficiencia, se emplearon tecnologías de vanguardia a nivel mundial, a partir de los siguientes sistemas de navegación y posicionamiento:

- STARFIX: Sistema de navegación y posicionamiento comercial independiente que utiliza cuatro satélites geosincronizados.
- GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS); Sistema de posicionamiento, mediante satélite, desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.
- SYLEDIS: Sistema de navegación de radio-frecuencia en la banda de 420–450 MHZ.
- STREAMER SOURCE TRACKING SYSTEM (SSTS): Sistema utilizado para la determinación del punto-cabeza del “streamer” y posición de fuentes sísmicas relativos a un punto de referencia del barco. Estas posiciones se calculan mediante sistemas transmisores-receptores de señales acústicas.
- FLEXQC, WISDOM Y BIRDDOG: Sistemas de posicionamiento integrado a bordo del barco para la ubicación, en tiempo real, de los puntos de reflejo común en el substituto, generando en forma acumulativa, las cubiertas de apilamiento adquiridas a lo largo de la trayectoria del barco.

La tabla 2 muestra los requerimientos geométricos de las celdas de reflejo común “bins” utilizadas en los referidos levantamientos. El porcentaje de apilamiento en cada “bin” (9,000% en el Prospecto “Le-Acach” y 8,000% en los prospectos “Yaabkan” y “Yum”), se ha configurado a partir del aporte de apilado de trazas distribuidas en forma cercana, media y lejana, considerando una segmentación del “streamer” bajo el siguiente esquema:

- PROSPECTO LE-ACACH: “Streamer” dividido en tres sectores de 60 grupos receptores c/u. Cada celda de reflejo común deberá tener en forma ideal 90 Trazas, con un nivel de al menos un 80% de trazas cercanas, 73% de trazas medias y un 67% de trazas lejanas al barco.
- PROSPECTOS W DE YAABKAN Y YUM: “Streamer” dividido en cuatro sectores, con 16 grupos receptores asignados a la sección más cercana al barco y 48 grupos receptores asociados a cada uno de los tres restantes. Cada celda de reflejo común deberá contener en forma ideal 80 trazas con porcentajes mínimos de un 85, 85, 75 y 65%, respectivamente, de las trazas asociadas a cada sector.

El porcentaje de apilamiento se ha considerado aceptable, si el 90% de los “bins” en una línea sísmica contiene como mínimo las trazas por “bin” antes mencionadas, requiriéndose el diseño de “líneas de relleno de apilamiento” (infill-lines), cuando no se han cumplido las coberturas del subsuelo establecidas.

Para la verificación de las cubiertas de apilamiento en cada sector, se ha contado con sistemas de microcomputadoras, a bordo del barco, para la derivación de las posiciones de cada punto de reflejo común (PRC) en el subsuelo. Basados sobre esas localizaciones, los sistemas asignan los PRC a sus correspondientes “bins”, mediante una rejilla de celdas de reflejo común asignada a las líneas del levantamiento, presentando dicha información en forma de display sobre monitores a color en tiempo real y en forma de listados de impresión de salida (Fig. 12).

F) RESULTADOS PRELIMINARES

Las figuras 13 y 14 esquematizan los resultados obtenidos por la labor de campo y procesado sobre dos líneas sismológicas tridimensionales, situa-

REPORT COVERAGE = ACCUMULATIVE
 TOTAL ZONES = 4 REPORT ZONES = 4
 DESTINED HITS FOR ZONE 03 THRU 31 = 14 41 34 31
 ZONE OFFSETS FOR ZONE 03 THRU 31 (METERS) = (80.0, 963.0) (963.0, 1556.5) (1556.5, 2214.5)
 WEIGHTS FOR ZONES 1 THRU 4 = 0 0 1 0

PRINT THRESHOLDS ARE AS FOLLOWS :
 █ > 0.0% => 37.5% █ > 50.0% █ > 62.5% █ > 75.0% █ > 87.5% █ > 100.0%

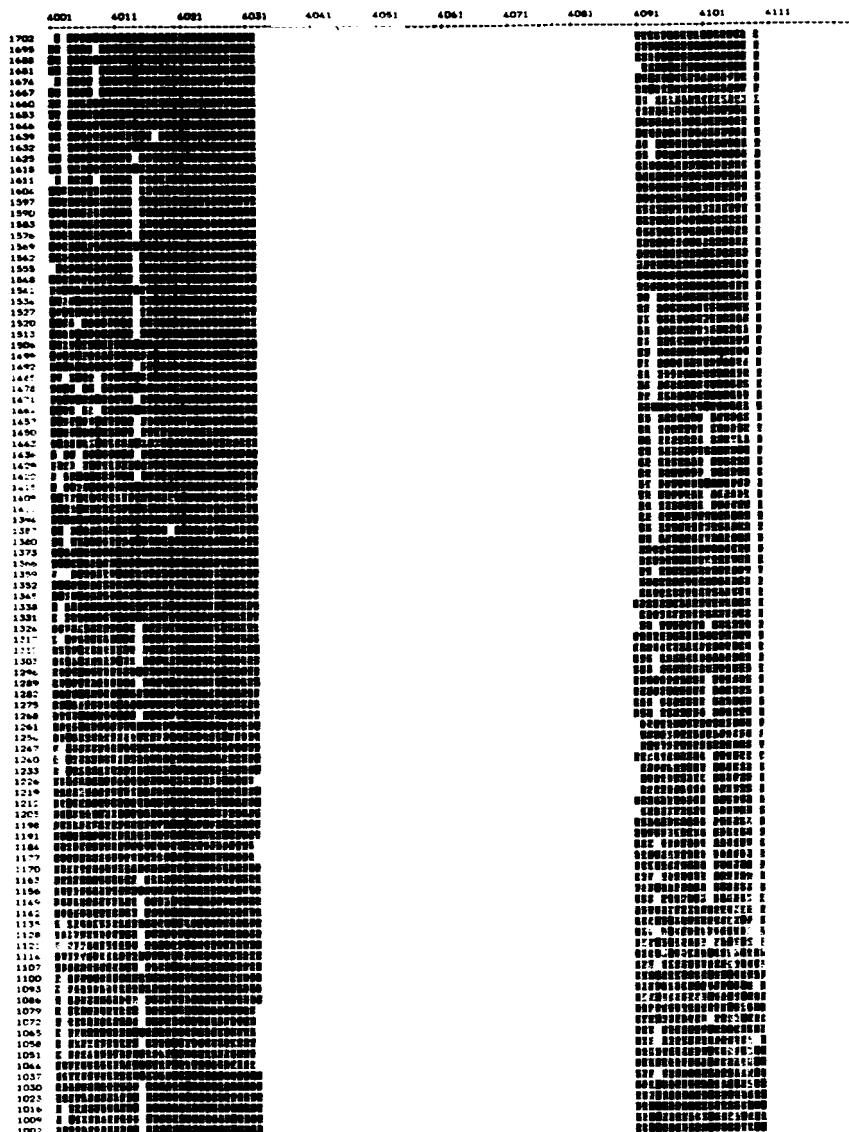


Fig. 12.- Registro de cubierta de apilamiento para la Zona-3 del Proyecto "Yum". Los porcentajes de apilado se esquematizan por diferentes tonalidades.

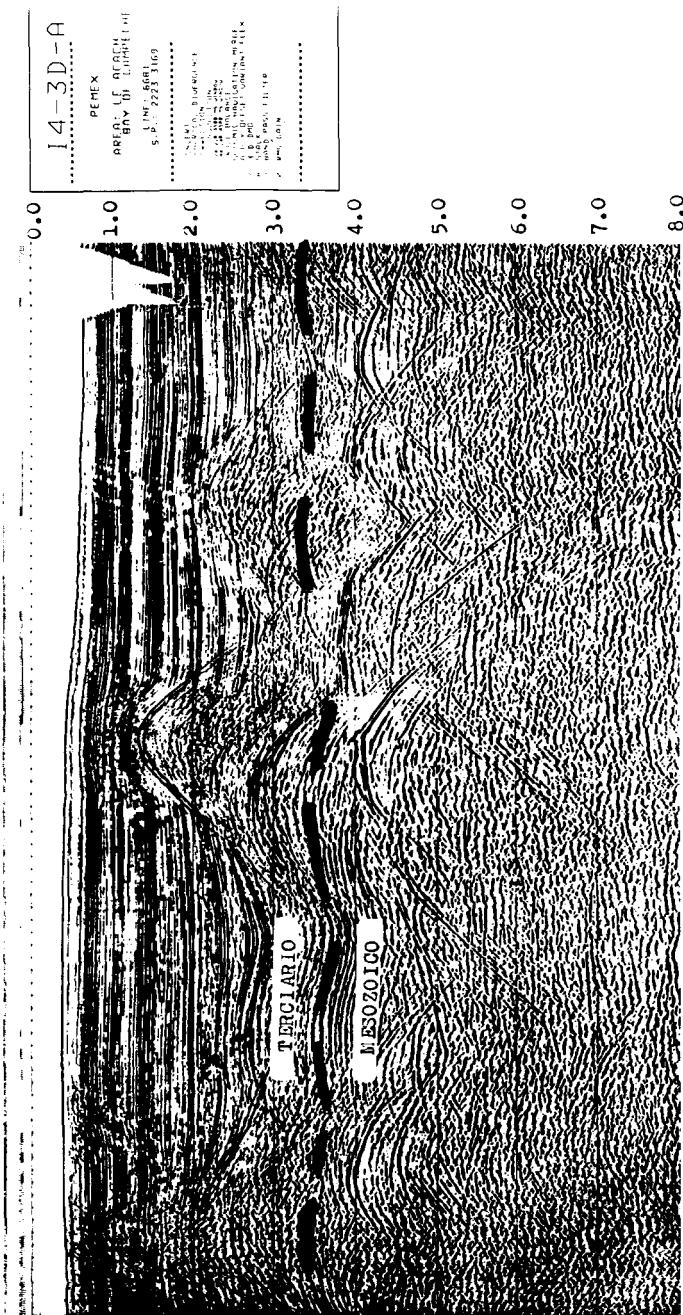


Fig. 13.- Sección sismológica preliminar en dirección in-line. Prospecto "LE-ACACH".

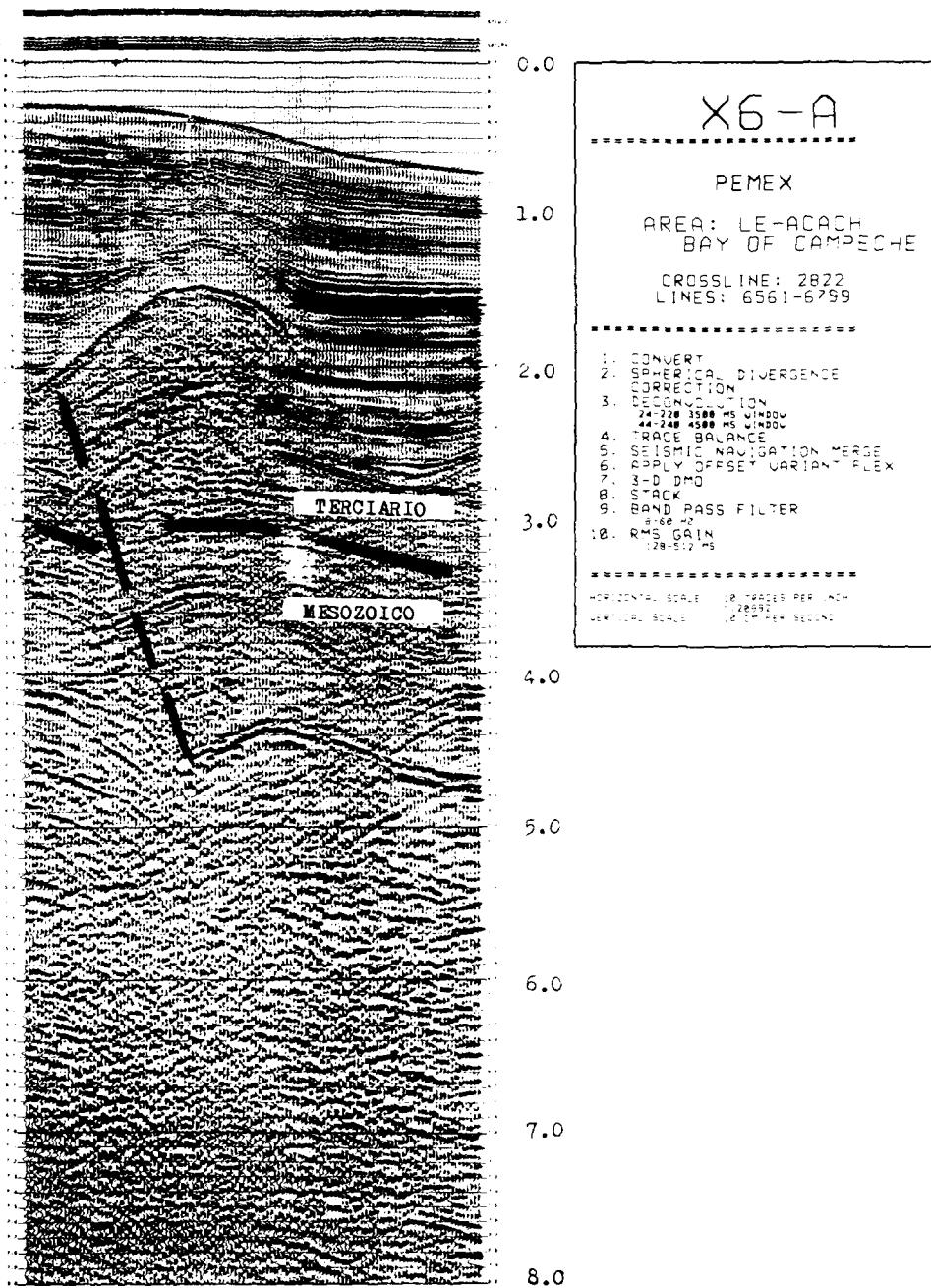


Fig. 14.- Sección sismológica preliminar en dirección cross-line. Prospective "Le Acach".

das en la porción NW del Prospecto "Le Acach". Las secciones presentadas no incluyen el proceso de migración sísmica, y por tal motivo, deberán ser consideradas como preliminares. Los resultados muestran horizontes reflectores y atractivas condiciones estructurales que interpretativamente se pueden considerar propicias para la acumulación de hidrocarburos, delineándose un posible contacto Terciario-Mesozoico, así como la presencia de tentativas intrusiones de masas salinas. La calidad de la información expuesta, aún a pesar de su carácter previo, pone de manifiesto la bondad de la metodología utilizada, presentando un área de atractivas características para la proposición de futuros pozos exploratorios.

CONCLUSIONES

- I) El alto poder de resolución interpretativa que ha proporcionado la Exploración Sismológica Tridimensional en la Región de la Sonda de Campeche, ha contribuido, en los últimos años, a reducir el riesgo en la perforación de pozos petroleros, incrementando el éxito en el desarrollo de los campos involucrados.
- II) El programa operativo 1991, para estudios sismológicos de Reflexión Tridimensionales en la Sonda de Campeche, ha involucrado la utilización de tecnologías de vanguardia a nivel mundial, con una optimización en el diseño de los equipos de grabación, posicionamiento, fuente de energía y cable receptor con respecto a levantamientos análogos realizados en el área.
- III) Los resultados preliminares obtenidos a partir de dichos levantamientos, han permitido bosquejar horizontes reflectores y condiciones estructurales propicias para la acumulación de hidrocarburos, manifestándose el alto poder de resolución de la mencionada metodología, incrementando la confiabilidad de su empleo en futuros trabajos exploratorios.

AGRADECIMIENTOS

A la Gerencia de Exploración en la Región Marina por las facilidades otorgadas para la elaboración del presente artículo, así como al Ing. Héctor Palafox Rayón, por sus valiosas sugerencias y aportaciones durante el desarrollo del mismo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Houston, M.H., 1987. "Improvising the Accuracy of Marine 3-D seismic Surveys". Ocean Industry, January 1987, U.S.A.
- 2) Méndez Hernández, E., 1991. "Tópicos Relacionados con la Exploración Marina Sismológica Tridimensional". Trabajo de investigación (no publicado), Petróleos Mexicanos, México.
- 3) Palafox Rayón, H., 1990. "Estudios Sísmicos Tridimensionales en la Sonda de Campeche"; Petróleos Mexicanos, México, no publicado.
- 4) Petróleos Mexicanos – Digicon G.C., 1991 – Información de Campo, Reportes, Diagramas de Configuración, de Parámetros e Información Varia Relacionada con los Prospectos Sismológicos Marinos Tridimensionales Yum y Yaabkan, Golfo de México – . México – USA.
- 5) Petróleos Mexicanos – Western G.C., 1991 – Información de Campo, Reportes, Diagramas de Configuración de Parámetros e Información varia Relacionada con el Prospecto Sismológico Marino Tridimensional Le Acach, Golfo de México – . México USA.
- 6) Ramos García, F., 1991. "Estudios Sísmicos en la Región Marina". Petróleos Mexicanos, México, no publicado.
- 7) Robinson, S.E. and Coruh, C., 1988. "Basic Exploration Geophysics". John Wiley and Sons, USA.
- 8) Morgan, J.G., 1983. "The Challenge of Precisely Position a 3D Seismic Survey". Navegation: Journal of the Institute of Navegation, vol. 30, Núm. 3, USA.
- 9) Sheriff, R.E., 1984. "Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics". Published by The Society of Exploration Geophysicists, USA.
- 10) Yilmaz O., 1987. "Seismic Data Processing". Published by The Society of Exploration Geophysicists, USA.

ADQUISICION Y PROCESAMIENTO NUMERICO DE IMAGENES DIGITALES EN CIENCIAS DE LA TIERRA

*M. en I. Raymundo Martínez Angeles**

R E S U M E N

Durante las últimas décadas apareció, bajo la presión de los grandes avances tecnológicos, un conjunto de disciplinas fuertemente interdependientes que tratan sobre los sistemas expertos: los sensores remotos, el tratamiento de la información, los métodos de reconocimiento de formas, los métodos de clasificación y la teoría de la decisión. Estas disciplinas están muy ligadas al procesamiento digital de imágenes sobre el plan científico y a la segmentación y cartografía sobre el plan técnico y revelan una importancia cada vez mayor para la ingeniería.

En este trabajo se presentan los diferentes elementos que constituyen un estudio integral por medio de imágenes digitales: Adquisición, Procesamiento Digital, Presentación de Resultados e Interpretación.

La adquisición de imágenes digitales puede ser realizada por medio de tres formas: mediante sensores remotos, técnicas de interpolación y un equipo de digitalización.

El Procesamiento Digital consiste en extraer información útil (identificación, formas, textura, etc.) de la imagen adquirida. Existen tres familias de algoritmos: el contraste, análisis multivariable y textura.

En cuanto a la presentación de resultados, la visualización en monitor de alta resolución es la más recomendada.

* Subdirección de Tecnología de Explotación, Instituto Mexicano del Petróleo.

Para la interpretación de objetos y anomalías, se depende del estudio de cada caso en particular. En este trabajo se presentan siete casos en Ciencias de la Tierra: imagen del satélite Spot para cartografía geológica, una imagen del radar Seasat para la geomorfología, una imagen de microscopía para la identificación de minerales, imagen topográfica para urbanización, imagen del satélite Landsat para batimetría imagen gravimétrica para exploración de petróleo.

Por medio de esta comunicación, esperamos que la comunidad científica mexicana se cuenta de la existencia de esta tecnología y de sus aplicaciones potenciales a problemas relacionados con otras ramas de las Ciencias.

Los métodos mecanizados están siendo frecuentemente usados, gracias al avance de la computación, ya que se traducen en ahorro de tiempo, en mayor precisión de los cálculos numéricos y en mejor presentación de resultados.

INTRODUCCION

La exploración y explotación de los recursos naturales, fueron de las primeras inquietudes del ser humano desde la época prehistórica, de tal manera que éstas evolucionaron hasta la actualidad en donde se emplean los más sofisticados instrumentos y técnicas electrónicas y matemáticas. Así, la obtención y procesamiento de imágenes digitales se caracterizan por alta resolución espectral como espacial, muy cercanas a las del ojo humano. Las técnicas mencionadas están relacionadas con los sensores remotos y han tenido un desarrollo acelerado, debido a los progresos de la electrónica, la computación y la informática, cuyos logros en conjunto, se vieron rápidamente aplicados a la prospección y explotación de los recursos naturales, pero sobre todo a los dominios de: La Robótica, La Bio-medicina, La Astrofísica, La Teledetección, Las Ciencias de Materiales, La Inteligencia Artificial y La Cartografía Automática.

Como ejemplos de imágenes digitales en Ciencias de la Tierra podemos citar las siguientes: imágenes de satélite (multiespectrales y de radar), imágenes de microscopía (láminas delgadas, muestras de roca, etc.), imágenes de geofísica (magnetometría, gravimetría, sismología, etc.), imágenes de parámetros petroleros (porosidad, saturación de aceite, permeabilidad, etc.), y las imágenes geológicas (edades, tipos de roca, distribución de minerales, etc.).

El objetivo de este trabajo, es señalar a la comunidad científica la presencia y el advenimiento del Procesamiento Digital de Imágenes Numéricas (PDIN) en México, el cual promete apoyar fuertemente las actividades relacionadas con la descripción de fenómenos físicos. Durante los años recientes, han surgido una gran cantidad de innovaciones en computación, destacando la creación, el procesamiento y la interpretación de imágenes digitales, que han dado como resultado una mayor aplicabilidad en dominios tan diversos como: La Robótica, La Bio-medicina, La Astrofísica, Las Ciencias de la Tierra, etc., de tal manera que los progresos realizados

en cualquiera de estas ramas de la ciencia puedan adaptarse fácilmente a los dominios restantes, lo cual puede traducirse en una mayor posibilidad para el empleo de esta tecnología. La adquisición, el análisis numérico y la interpretación de imágenes digitales por medio de computadoras, han modificado el estudio de los fenómenos físicos, por ejemplo, los sensores remotos por satélite estudian las propiedades de reflexión de las ondas electromagnéticas provenientes de la superficie de la Tierra y la evaluación de los recursos naturales a través de estas observaciones.

ADQUISICION DE UNA IMAGEN DIGITAL

Elementos de un sistema de adquisición de una imagen digital. – Los componentes básicos de un sistema de adquisición de imágenes digitales, son: la fuente de energía, el paisaje, la escena, el sistema óptico de formación de la imagen, el sistema electrónico de registro y por último, el sistema de grabación de la imagen digital (Fig. 1).

La fuente de energía, es la parte que va a excitar al medio bajo estudio, en el caso de la teledetección está representada por el Sol, quien emite energía en forma de radiaciones electromagnéticas.

El paisaje está compuesto de todos los objetos potencialmente presentes, constituye el sistema físico bajo estudio. Desde el punto de vista físico se comporta como un filtro natural que modifica la energía proveniente de la fuente. En el caso de la teledetección, el paisaje está compuesto de todos los objetos (playas, bosques, océanos, montañas, etc.) distribuidos sobre la superficie terrestre.

La escena es una parte del paisaje, compuesta de una superficie finita y que es enfocada por el sistema de detección del sensor remoto y en donde existe algún interés de estudio en particular.

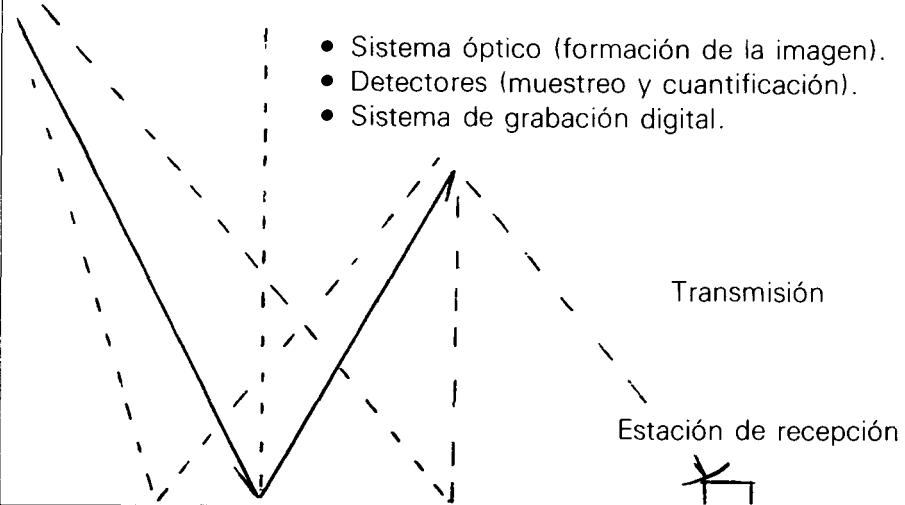
Para el caso de la Teledetección y del satélite Spot, la superficie terrestre está dividida en escenas compuestas de regiones cuadradas de 60 km de lado cada una.

El sensor remoto está representado por la parte instrumental del sistema total y está compuesto de cuatro subsistemas: el sistema óptico para formar la imagen, el sistema de detección para muestrear y cuantificar la

Fuente de energía
(Sol)

Sensor remoto dentro de un satélite
radiómetro compuesto de:

- Sistema óptico (formación de la imagen).
- Detectores (muestreo y cuantificación).
- Sistema de grabación digital.



escena (superficie finita)
reflexión, absorción y
emisión de ondas electromagnéticas

paisaje
(superficie terrestre)

imagen digital

procesamientos
numéricos:
contraste
clasificación
textura

interpretación

Fig. 1.- Representación esquemática de la adquisición de una imagen digital en Teledetección.

escena, el sistema de registro de la imagen estimada y por último, el sistema de grabación de la imagen digital.

Finalmente, para el caso de la Teledetección, las imágenes son transmitidas a una estación sobre la superficie de la Tierra y son corregidas, tanto geométrica como radiométricamente para que, posteriormente, sean vendidas al público, registrados en cintas magnéticas.

Matemáticamente, una imagen digital está representada por una matriz rectangular, cuyos elementos varían, generalmente, entre los enteros 0 y 255, es decir, dentro de un "byte". Cada elemento de esta matriz representa la máxima resolución espacial alcanzada por el sensor remoto y es llamado "pixel". Para el caso de la Teledetección, el valor de cada elemento representa la cantidad de energía reflejada por una parte de la superficie del terreno.

Otras dos maneras de generar una imagen digital, son las siguientes:

- Por medio de una mesa de digitalización, en la cual es posible seguir curvas de nivel presentes en un mapa, por medio de un cursor y un dispositivo electrónico. Ejemplos de estas imágenes son: la topografía, los contactos geológicos, la gravimetría, etc.
- Por medio de técnicas de interpolación, con las cuales se genera una matriz de datos a partir de observaciones irregularmente distribuidas dentro del área de trabajo. Como ejemplos de estas imágenes, podemos citar: la distribución de porosidades, de saturaciones de agua, de presiones, etc., a partir de datos de pozo. Las técnicas más usadas son el Kriging, el Análisis Normal y la Mínima Curvatura.

PROCESAMIENTO NUMERICO DE UNA IMAGEN DIGITAL

Un sistema de procesamiento debe resolver el problema siguiente: partiendo de conceptos temáticos, de informaciones de cálculo, como transformar la imagen inicial, con el fin de producir una imagen etiquetada o clasificada. Este sistema debe supervisar los procedimientos numéricos y dar como opciones una serie de posibilidades matemáticas e informáticas para llegar a la mejor estimación de la realidad según el esquema siguiente (Fig. 2):

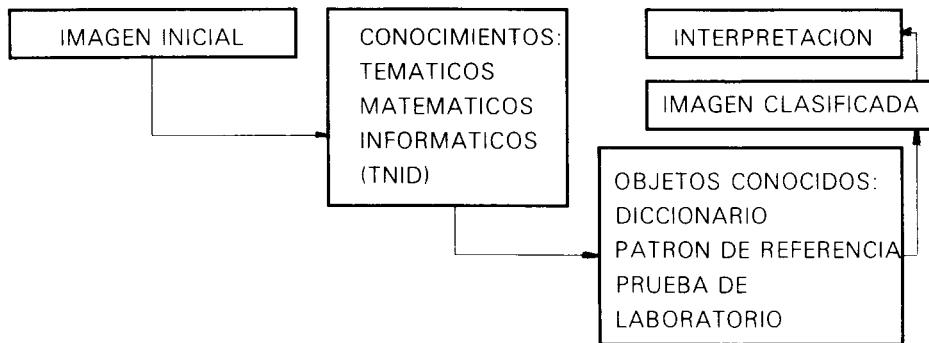


Fig. 2.- Esquema del flujo de información dentro de un sistema de Procesamiento Digital de Imágenes Numéricas (PDIN).

Esta situación hizo que se culminara con la creación de una nueva rama de la ciencia llamada “Procesamiento Digital de Imágenes Numéricas”, (TDIN). En la actualidad, el TDIN tiene elementos propios de análisis que permiten resolver diversos problemas científicos.

Los principios fundamentales del TDIN se encuentran en el dominio de la teoría de señales y sistemas. Así, la caracterización de un fenómeno puede ser conceptualizada como sigue (Fig. 3):

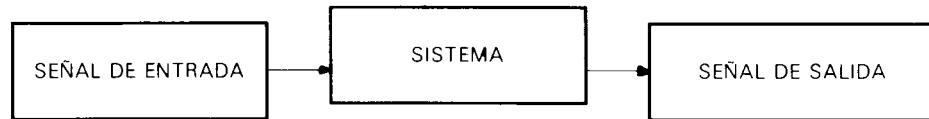


Fig. 3.- Representación esquemática de un sistema.

Dentro del esquema de la figura 3, es necesario conocer dos elementos para estimar el faltante. En general, el sistema es la incógnita, es decir, se tiene control sobre las señales de entrada y salida.

El patrón de detección es el ojo, porque el ojo diserne fácilmente los objetos que se encuentran en una imagen. Sin embargo, para obtener ta-

les objetos por medio de una máquina, se deben introducir procedimientos bastante complicados.

El principio de toda detección de objetos o anomalías es el siguiente: estando dada una imagen $z(u)$, donde u es una variable espacial, espectral o temporal, escalar o vectorial, decimos que se ha detectado un objeto en u , si el valor de la imagen es claramente superior o inferior a su medio ambiente, es decir, se trata de fijar un nivel de referencia.

En la actualidad, el TDIN tiene sus elementos propios de análisis que le permiten resolver diversos problemas de identificación de objetos y anomalías por medio de un proceso de segmentación. La segmentación de una imagen es su partición en regiones, teniendo propiedades específicas. El TDIN consiste a procesar matrices rectangulares (obtenidas en la etapa de adquisición) con miras a extraer, ya sea la información útil, una imagen portadora de una cierta información la cual será utilizada posteriormente.

Dentro del TDIN existen las tres grandes familias siguientes:

- a) Las técnicas basadas en el concepto de contraste de la propiedad observada, entre el objeto y su medio ambiente. Podemos mencionar como ejemplos a los siguientes métodos: filtros lineales (pasa-banda, gradiente, laplaciano, etc.), filtros morfológicos (dilatación, erosión, esqueletización, etc.), filtros no lineales (mediana, moda, combinaciones aritméticas, etc.), transformaciones diversas (Fourier, Z, Laplace, Hilbert, Hadammard, etc.), y tratamientos diversos (histogramas, recodificación, correcciones aritméticas, tablas de color, segmentación, etc.). Estas técnicas también son llamadas de detección de contornos y están basadas en la búsqueda de discontinuidades significativas que caracterizan a las regiones por sus fronteras y por otro tipo de líneas, tales como líneas de valle o de cima.
- b) Las técnicas basadas en el concepto de respuesta espectral en el espacio de canales, llamadas también técnicas multiespectrales. Entre estas técnicas podemos citar a las siguientes: las técnicas de análisis multivariable (métodos factoriales, componentes principales, clasificación Hash, Nubes Dinámicas, etc.) y los métodos estadísticos (Métodos de Gauss, y de Bayes, imágenes en falsos colores, etc.).

- c) Los métodos basados en el concepto de textura, describen el grado de homogeneidad de una superficie, basándose en aspectos pseudoaleatorios de la imagen. Se utilizan técnicas, tales como: la entropía, los coeficientes de correlación, la matriz de concurrencia, la función semivariograma, etc.

El resultado de esta etapa está representado por una imagen temática, cabe mencionar que en el seno del proceso de elaboración de esta imagen temática a partir de los datos de una imagen inicial, las diferentes etapas del TDIN y la interpretación están ligadas muy estrechamente, de tal manera que podemos distinguir los siguientes puntos para la interpretación: la parte temática que reside dentro del conocimiento especializado del medio, representado por la imagen observada, esta parte permite al mismo tiempo enumerar y clasificar las entidades que componen el paisaje analizado, además, se supone el conocimiento de las leyes de organización espacial de estos elementos, se apoya, por lo que se llama: realidad sobre el terreno, patrón de referencia o por un diccionario de formas y respuestas elaborado en laboratorio.

La parte relativa a la interpretación permite identificar los objetos o entidades temáticamente significativos en función de sus medidas geométricas, su respuesta espectral, su textura y su forma, así como de sus relaciones espaciales con los otros objetos y entidades.

La gran diversidad de actividades en estudios de variables distribuidas en el espacio, trae consigo la acumulación de un importante volumen de datos de diversos orígenes y características, de tal manera que esta cantidad de información supera con mucho a la capacidad de interpretarla. Además, en la actualidad, es necesario realizar la integración simultánea de estos grandes volúmenes de datos correspondientes a una sola región.

La situación planteada muestra la necesidad de integrar los elementos siguientes: datos–procesos–evaluación por medio de una organización que responda a la necesidad de contar con una estación de tratamiento de imágenes.

APLICACIONES POTENCIALES DE LAS IMAGENES DIGITALES A LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

Algunos de los problemas que se podrían resolver por medio del TDIN, son los siguientes: configuración de parámetros, cálculo de valores de

altas anomalías, evolución de los principales parámetros en un estudio de simulación numérica, estudios de contaminación de la atmósfera y de los océanos por medio de imágenes de satélite, estudios de la geometría interna de las rocas, identificación de minerales y microfósiles por medio de imágenes de microscopía, integración de la geología, la geofísica y la dinámica de yacimientos, y la observación de la evolución de yacimientos bajo régimen e inyección de agua, (Figs. 4-12).

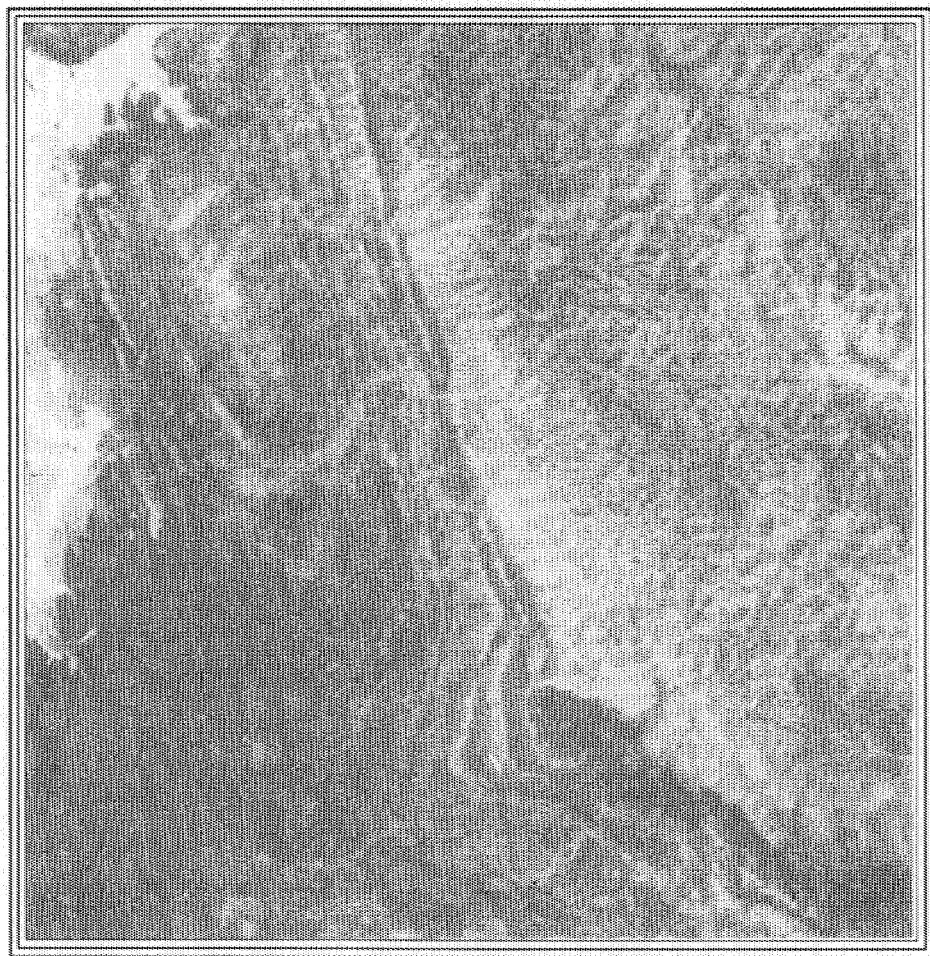


Fig. 4.- Imagen obtenida por el Satélite francés SPOT. Se trata del canal 1 (0.50 - 0.59 μ m). Se puede observar claramente el anticlinal de la localidad Carrizadillo en la Cuenca de Chihuahua.



Fig. 5.- Imagen temática obtenida mediante la técnica de clasificación multiespectral "nubes dinámicas", aplicada a los tres canales del satélite SPOT ($0.5 - 0.59 \mu\text{m}$), $0.61 - 0.68 \mu\text{m}$ y $0.79 - 0.89 \mu\text{m}$) de la misma localidad apoyada en una línea geológica.

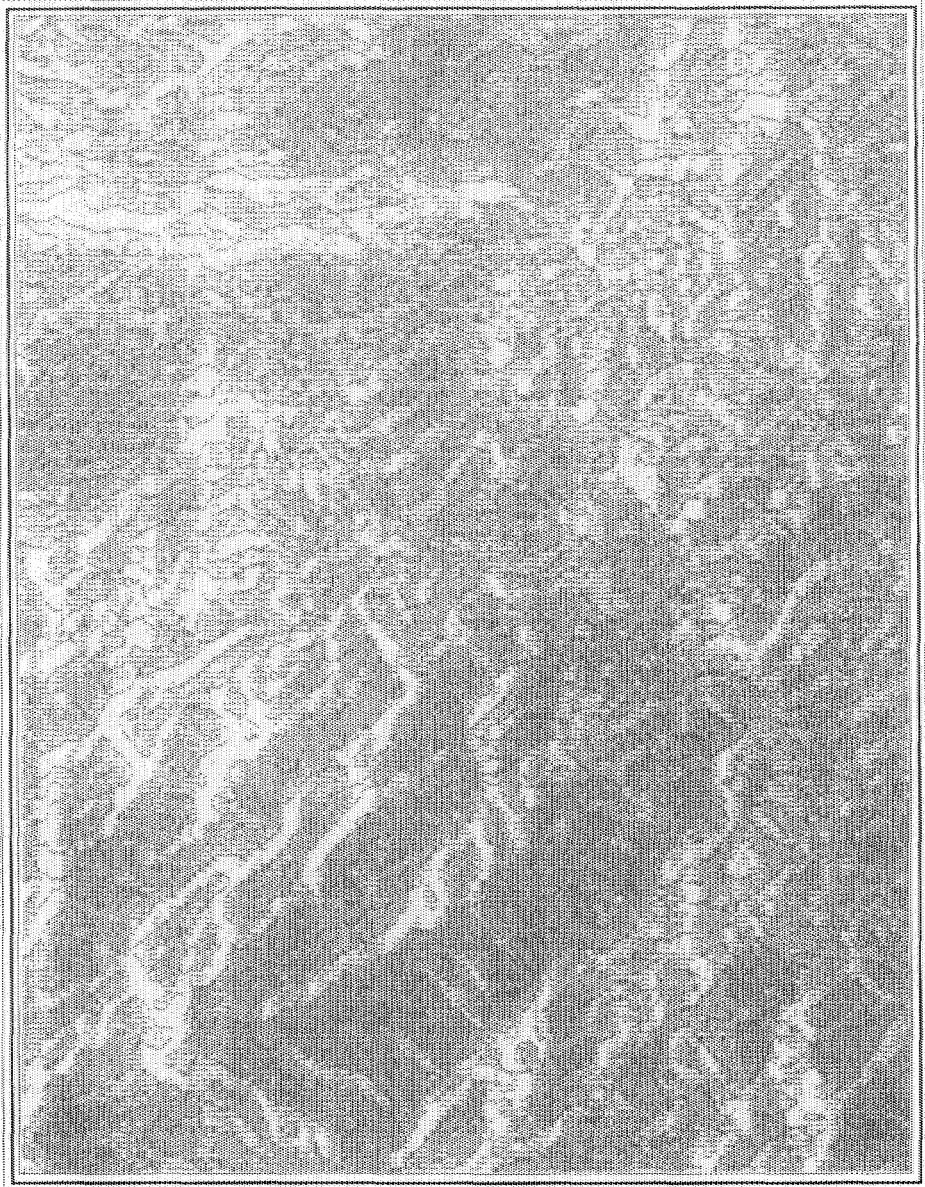


Fig. 6.- Imagen obtenida por el radar SEASAT (23.5 cm, 1.27 GHz, banda L), resolución: 25 m., obtenida sobre el SE de Francia. También se incluye la superposición de una red de contornos obtenida por los métodos de contraste de la familia de gradientes y laplacianos.

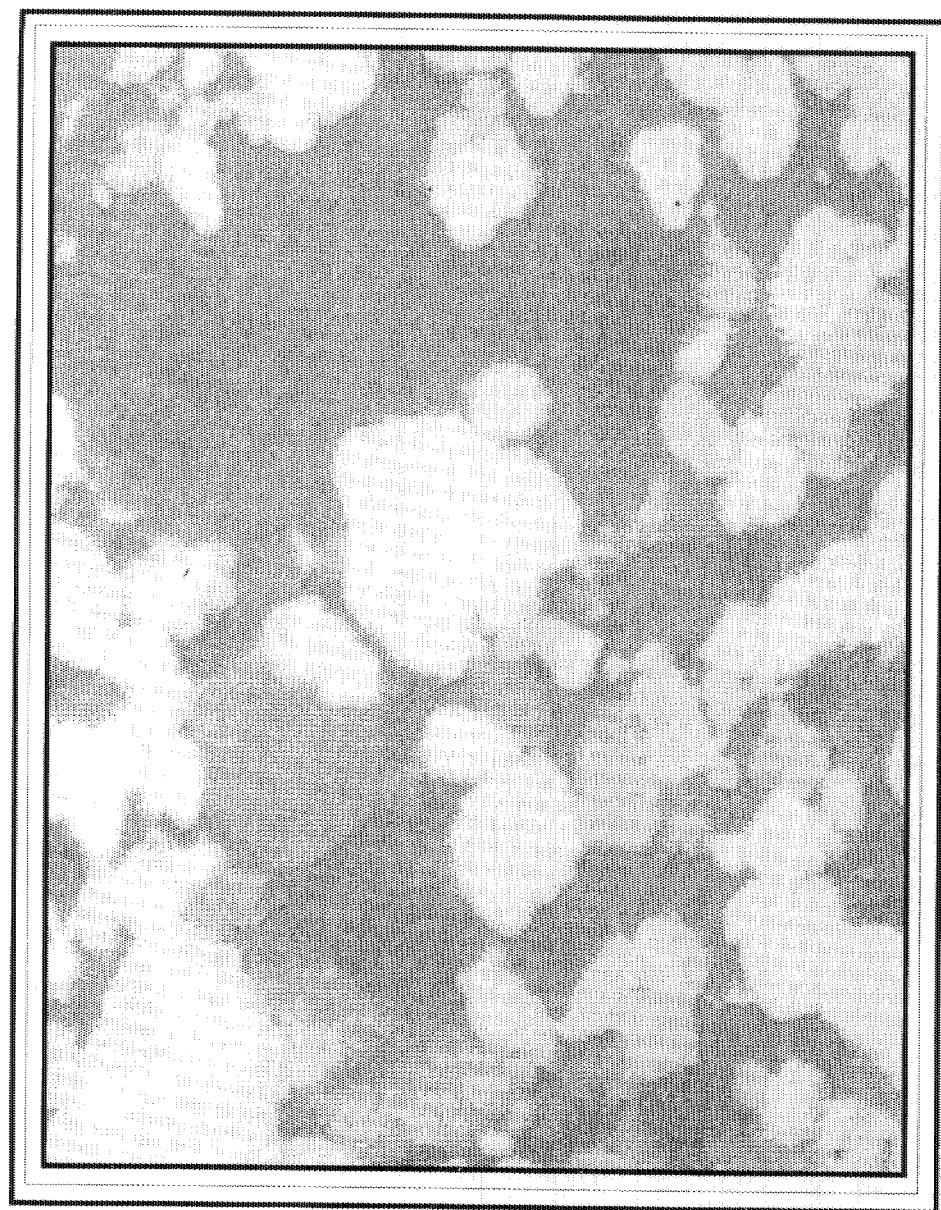


Fig. 7.- Imagen de microscopía obtenida por medio de una cámara CCD ($0.49-0.71\text{ }\mu\text{m}$). Se trata de una lámina delgada de mineralogía. La resolución del pixel es de 0.0001 m . También se incluyen varios contornos obtenidos por métodos de la familia de la morfología matemática (segmentación y esqueletización).



Fig. 8.- a) Imagen obtenida por una mesa de digitalización. Se trata de la topografía de una zona por urbanizar.

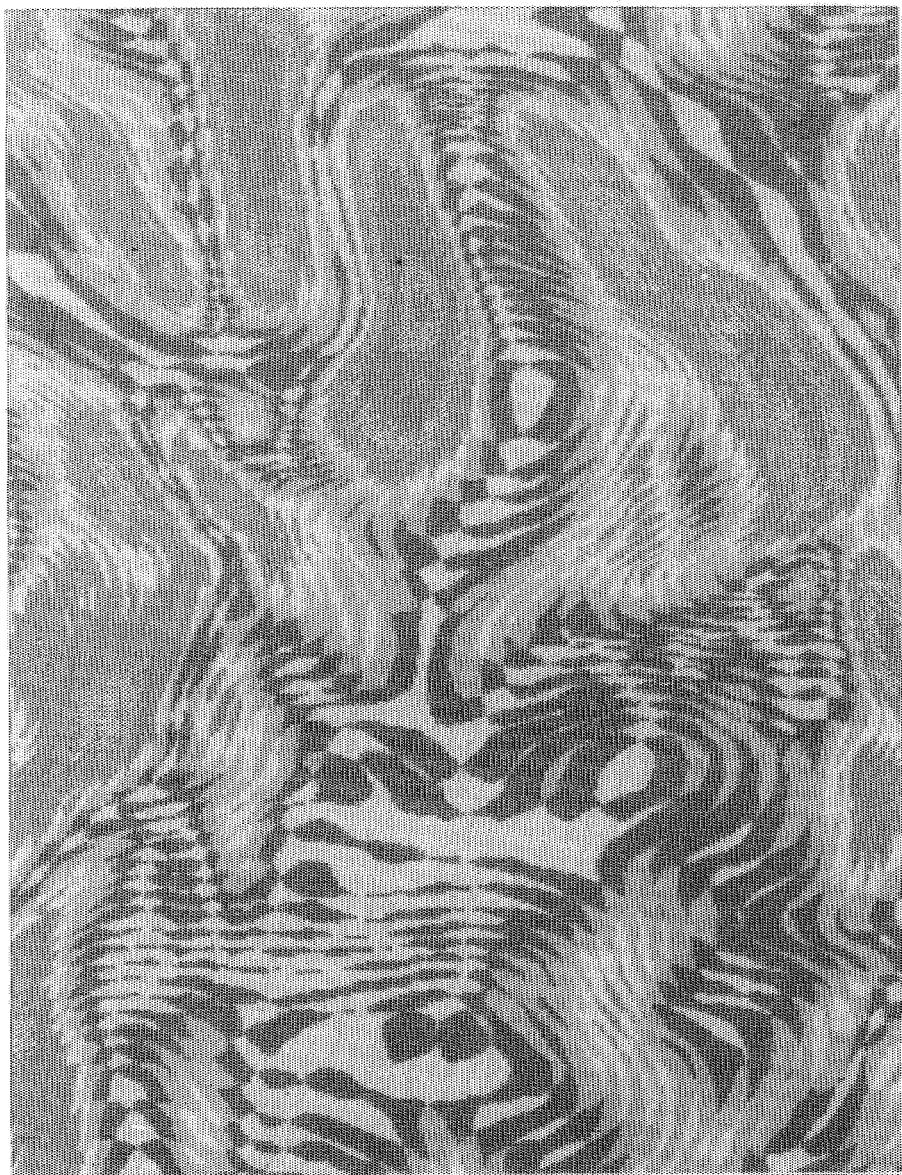


Fig. 8.- b) Imagen temática que incluye la clasificación de pendientes topográficas, obtenida por los métodos de contraste de la familia de gradientes y laplacianos. Los colores representan la pendiente del terreno en porcentaje. La regla de decisión impide construir sobre pendientes mayores al 25%.

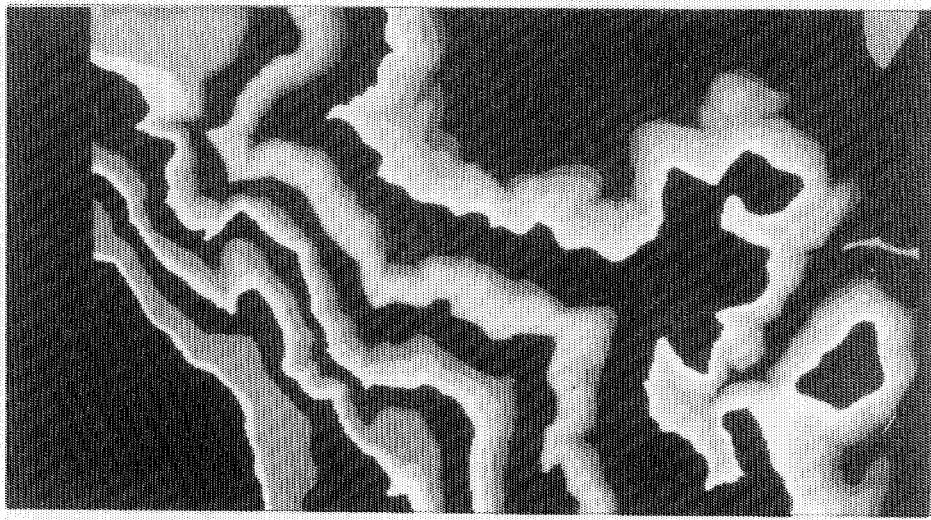


Fig. 9.- a) Imagen obtenida por un scanner (digitalizador). Se trata de la topografía (modelo numérico de terreno), de una zona por prospectar uranio, donde es importante la extracción de lineamientos.



Fig. 9.- b) Imagen temática que incluye la clasificación de líneas topográficas (valles, crestas, versantes) obtenida por los métodos de contraste, de la familia de gradientes y laplacianos.



Fig. 10.- Imagen obtenida por el satélite norteamericano LANDSAT banda 1 (0.45-0.52 μ m), resolución: 35 m, obtenida sobre una laguna. También se incluye la superposición de una red de contornos batimétricos obtenida por los métodos de contraste.

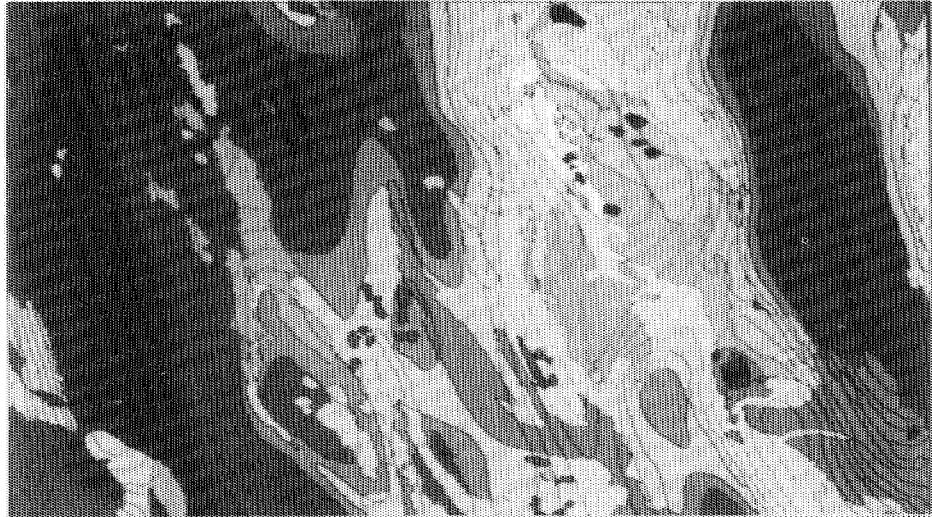


Fig. 11.- Imagen de un parámetro geofísico obtenida por medio del método de interpolación "Análisis Normal". Se trata de la gravimetría observada (Anomalía de Bouger) de la Cuenca de Chihuahua. La resolución del pixel es de 100 m. También se incluyen varios contornos geológicos obtenidos por una mesa de digitalización.

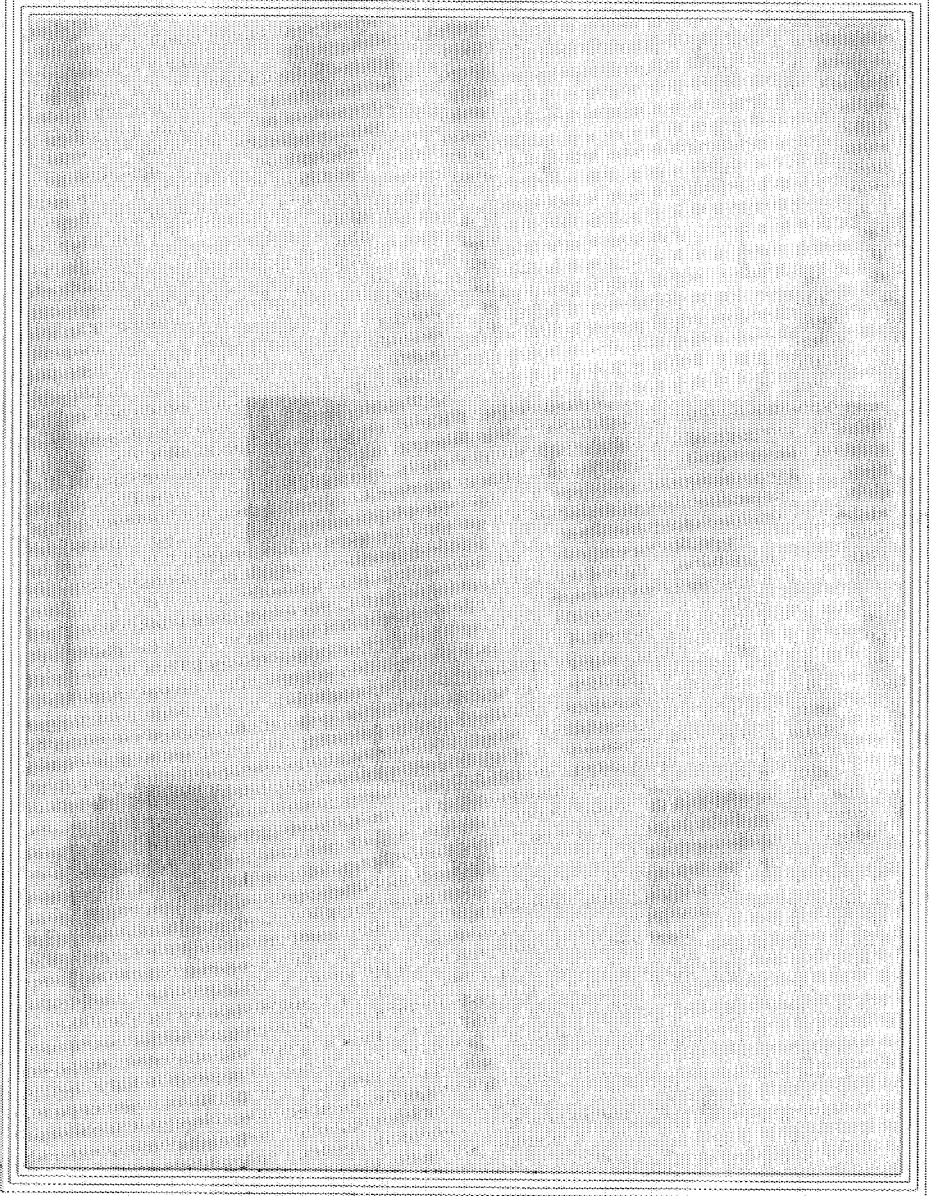


Fig. 12.- Imagen compuesta de nueve parámetros geoquímicos obtenidas por medio del método de interpolación "Análisis Normal". Se trata de la geoquímica superficial correspondiente a 30 pozos de 15 m de profundidad cada uno, se observaron anomalías desde metano hasta gasolinas. La resolución del pixel es de 80 m.

La configuración de fenómenos naturales distribuidos en el espacio, ha sido una tarea difícil para el personal dedicado al análisis, procesamiento e interpretación en las diferentes disciplinas de Ciencias de la Tierra (ingeniería ambiental, geofísica, ingeniería petrolera, geología, minería, topografía, etc.), debido a la gran cantidad de información que poseen de un parámetro en particular y a la vez esto es resultado de los avances tecnológicos para obtener datos de una manera rápida, eficiente y abundante.

Ahora bien, la configuración, descripción y caracterización de un fenómeno, significa reconstruir éste a partir de una cierta información fragmentaria.

Muchas y muy variadas técnicas han sido desarrolladas y empleadas para resolver este problema en el pasado, la configuración manual fue el método más utilizado y actualmente, resulta obsoleto, debido a la gran cantidad de datos que se poseen de un fenómeno, por ejemplo, la sismología; además de ser lenta y subjetiva.

Las técnicas de interpolación han evolucionado, comenzando por la configuración manual y siguiendo con las diferentes técnicas llamadas automáticas: Análisis Multicuádrico, Análisis de Fourier, Splines Cúbicos, Kriging y Análisis Normal. Vale la pena comentar que la última técnica citada, fue diseñada y desarrollada en México, y se considera que es la más representativa de los sistemas físicos bajo estudio. Paralelamente, a esta evolución en las técnicas de interpolación, también se observó una evolución de los métodos de presentación de resultados, de tal manera que la configuración manual, primero fue substituida por una presentación en códigos de impresora, la cual a su vez fue reemplazada por mapas obtenidos mediante trazadores mecánicos de curvas de nivel, y actualmente, éstos a su vez son cambiados por las estaciones de trabajo de imágenes digitales, en donde la visualización de la variable de interés se hace por medio de un monitor de televisión de alta resolución.

CONCLUSIONES

Las imágenes digitales y las imágenes temáticas en Ciencias de la Tierra no tratan de competir con los modelos matemáticos ni con las técnicas aceptadas, sino que tratan de apoyarlas, mejorarlas y complementarlas.

Por medio de esta comunicación, esperamos que la comunidad científica mexicana se dé cuenta de la existencia de esta tecnología y de sus aplicaciones potenciales a problemas relacionados con Ciencias de la Tierra.

La ingeniería mexicana debe preocuparse en el desarrollo de este tipo de tecnología de vanguardia, con el propósito de no incrementar la dependencia tecnológica que separa a nuestro país de los otros.

Los métodos mecanizados están siendo, frecuentemente, usados gracias al avance de la computación, ya que se traducen en un ahorro de tiempo, en una mayor precisión de los cálculos numéricos y en una mejor presentación de resultados visuales.

Durante las últimas décadas apareció, bajo la presión de los grandes avances tecnológicos un conjunto de disciplinas fuertemente interdependientes que tratan sobre los sistemas expertos: sensores remotos, el tratamiento de la información, los métodos de reconocimiento de formas, los métodos de clasificación, y la teoría de la decisión. Estas disciplinas muy ligadas al procesamiento digital de imágenes sobre el plan científico y a la configuración automática sobre el plan técnico, revelan una importancia cada vez mayor para la ingeniería de Ciencias de la Tierra.

REFERENCIAS

- Couzy, A. (1981). "La Teledetection", Prensas Universitarias de Francia, núm. 1919, 128 p.
- Davis, J. (1973). "Statistics and Data Analysis in geology", Ed. John Wiley, 550 p.
- González, R. y Wintz, P. (1977). "Digital Image Processing", Ed. Addison, 430 p.
- Lira J. (1987), "La Percepción Remota", Ed. SEP- CONACYT, 150 p.
- Pérez, C. (1979). "Use of Normal Analysis in the Description of Heterogeneous Reservoirs", SPE-8431, AAP, Memoria del XIVavo Congreso, Las Vegas, pp. 316-332.

Scanvic, J. (1983). "Utilisation de la Teledetection Dans les Sciences de la Terre", Ed. BRGM, núm. 7, 341 p.

Toumazt, J. (1987). "Traitement de l'image sur micrordinateur", Ed. Cybex, 257 p.

Verger, F. (1982). "L'observation de la Terre par les Satellites", Prensas Universitarias de Francia, núm. 1989, 129. p.

FE DE ERRATAS

PAG.	LINEA	DICE	DEBE DECIR
2	19	convecionales,	convencionales,
3	13	preva	previa
3	15	pre-amplificación filtrado	pre-amplificación, filtrado
4	26	precolectados	recolectados
7	fig. 4	referencia: Digicon, G.C., 1991.	
9	fig. 5	referencia: Palafox, 1990.	
12	15	s/v	S/V
16	fig. 10	referencia: Francisco Ramos García, 1991.	
18	fig. 11	referencia: Petróleos Mexicanos, Western G.C., 1991.	
19	tabla 2	NE SW	NE-SW
19	tabla 2	-57,400	≈57,400
19	tabla 2	-14,239-4,950	≈14,230-4,930
23	fig. 12	referencia: Petróleos Mexicanos, Western G.C., 1991.	
24	fig. 13	referencia: Petróleos Mexicanos, Western G.C., 1991.	
25	fig. 14	referencia: Petróleos Mexicanos, Western G.C., 1991.	

