

Boletín de la

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

Sumario

Página

- ESTUDIOS SISMICOS TRIDIMENSIONALES
EN LA SONDA DE CAMPECHE. 1

Héctor Palafox Rayón

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

CONSEJO DIRECTIVO

1993-1994

Presidente	Ing. Raymundo Aguilera Ibarra
Vicepresidente	Ing. Francisco Rubén Rocha De la Vega
Secretario	Ing. José H. Salinas Altés
Tesorero	Ing. César Navarro Tafolla
Pro-Tesorero	Ing. Víctor A. Degollado Flores
Editor	Ing. Rodolfo Marines Campos
Coeditor	Ing. Efraín Méndez Hernández
Coordinador Ayuda Mutua	Ing. José G. Viveros Zúñiga
Subcoordinador Ayuda Mutua	Ing. Sergio García del Toro
Coordinación de Eventos Especiales Técnicos	Ing. Marcelino Olivares Dávalos
	Ing. Eduardo León Tapia
Coordinación de Eventos Sociales	Ing. Jorge R. Vera Sánchez
	Ing. Alfonso Berrios Navarro

PRESIDENTES DELEGACIONALES

Reynosa	Ing. Carlos Cantú Salinas
Tampico	Ing. Juan Maldonado Lezama
Póza Rica	Ing. Salvador Maldonado Cervantes
Coatzacoalcos	Ing. Luis Olivares Fonseca
Cd. del Carmen	Ing. Juan B. Rivera Jácome
Chihuahua	Ing. Arturo Pérez Galicia
Morelia	Ing. Enrique De la Rosa Santoscoy
	Ing. José Francisco Arellano Guadarrama

VOCALES

IMP	Ing. Carlos Villegas Carrasco
IPN	Ing. Ernesto Filio López
UNAM	Ing. Andrés Tejero Andrade
EXTERIOR	Ing. Javier Núñez Ariza
JUBILADOS	Ing. Antonio Cordero Limón
INTERNACIONAL	Ing. Rubén D. Martínez Macías

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.

ESTUDIOS SISMICOS TRIDIMENSIONALES EN LA SONDA DE CAMPECHE

MC. Héctor Palafox Rayón

RESUMEN

Dentro del presente trabajo se hace mención de los primeros estudios sísmicos bidimensionales que se hicieron en la Sonda de Campeche con los que se descubrieron los primeros campos, así como la razón por la que se decidió usar el sistema tridimensional.

La selección de equipos, los diseños, adaptación de las técnicas de adquisición y procesamiento digital de datos sísmicos, así como la evaluación de resultados de los estudios sísmicos tridimensionales fueron hechos por el autor.

Se presentan las aplicaciones del método sísmico tridimensional en los prospectos Chac, Ku-Maloob, Abkatun, Zazil-Ha, Yaabkan, Kab y Uech-Kokay de la Sonda de Campeche, en donde se aprecia claramente cómo el método sísmico tridimensional define con mayor precisión los aspectos estructurales y estratigráficos y se aumenta grandemente la posibilidad de éxito en la perforación exploratoria y de desarrollo de campos.

Se muestra cómo los estudios sísmicos bidimensionales y tridimensionales han sido la base, a partir de los cuales se han dado el 100% de las localizaciones de los pozos exploratorios perforados (30% con bidimensional y 70% con tridimensional), donde se ha obtenido un 60% de éxito en la perforación exploratoria se ha apoyado el desarrollo de las áreas en que están ubicados los principales campos, tales como: Cantarell, Abkatun, Bacab, Caan, Chuc, Maloob, Taratunich y otros más y se han incorporado mas de 37,500 MMBHLT .

Posteriormente se presentan los resultados preliminares de la adquisición y procesamiento de datos sísmicos obtenidos en los prospectos de Yum, Ek Balam y Le-Acach, donde se aprecian grandes estructuras con posibilidades de incorporar reservas considerables.

Como conclusión, se destaca que el empleo de las técnicas sísmicas tridimensionales y bidimensionales en la Sonda de Campeche, han sido fundamentales para el descubrimiento de todos sus campos, reduciendo el riesgo e incrementando el éxito, tanto en la perforación exploratoria como en la de desarrollo de campos, contribuyendo así al incremento de reservas y al desarrollo del país.

metros con espesores impregnados hasta de 1000 metros. El objetivo de los estudios sísmicos tridimensionales fue el de definir con claridad y precisión los bloques estructurales para optimizar las localizaciones de pozos exploratorios, así como de extensión y desarrollo, para reducir los riesgos en la perforación exploratoria y de desarrollo.

La adquisición de datos se realizó con los equipos existentes en aquel tiempo, se seleccionó una cobertura de 4800% con las siguientes condiciones de tiro (figura 13) :

A) Longitud del cable marino	2400 metros.
B) Distancia entre puntos de tiro	25 metros.
C) Distancia entre grupos de geófonos	50 metros.
D) Fuente de energía	4 pistolas de aire de 2000 lbs/pulg.2 y 1450 pulgadas cúbicas.
E) Sismógrafo	DFS IV, de 48 canales.
F) Filtros de grabación	8 - 124 Hz.
G) Muestreo	2 milisegundos.

La dirección de las líneas en los bloques I, II y III, se hizo perpendicular a los ejes de los trenes estructurales, cuya orientación es de noreste-sureste, tal como se muestra en la figura 14, para que la relación de muestreo de 25 metros (distancia entre puntos de tiro), quedase en la dirección donde los echados son máximos. La distancia entre las líneas de tiro fue de 75 metros, mostrando en la figura 14 solo un línea de cada 20.

Los resultados de los estudios realizados cumplieron plenamente con los objetivos planteados. Con la información tridimensional obtenida se definieron con gran precisión las principales trampas estructurales y estratigráficas, a partir de las cuales se han dado el 70% de las localizaciones de exploración, y son la base para ubicar los pozos de desarrollo en el área donde se ubican los campos de Cantarell (Chac, Nohoch y Akal), Abkatun, Bacab, Caan, Chuc, Maloob, Taratunich, Pol, Och y otros más, los resultados se manifiestan con 66% de éxito en la perforación de pozos exploratorios y aún mucho mayor en los de desarrollo.

INTRODUCCION

Haciendo un análisis del desarrollo de la tecnología enfocada a la exploración petrolera, encontramos que de 30 años a la fecha, la Geofísica, y en especial la Sismología, es la que más se ha desarrollado. Su empleo se ha difundido ampliamente, debido a los grandes beneficios que ha dado en todo el mundo, tanto en el área de exploración como en la de desarrollo de campos.

En México, estas técnicas han permitido descubrir los campos petroleros más importantes del país, tales como: Chiapas-Tabasco y Sonda de Campeche entre otros.

Existen diferentes estudios sismológicos que se emplean en la exploración petrolera, los que se seleccionan de acuerdo con los objetivos, equipos disponibles y tipos de áreas dónde se opera. Pero siempre con el firme propósito de detectar trampas y estructuras en el subsuelo para localizar hidrocarburos.

En el mar, el método de sismología de reflexión se usa mundialmente con objetivos semiregionales, de semidetalle y de detalle.

Sin embargo, cuando se requieren estudios muy precisos, se emplean las técnicas sísmicas tridimensionales.

En el Golfo de México, los estudios sísmicos se iniciaron por el año de 1949, en las costas de Veracruz y Tabasco con sistemas analógicos. Dentro de lo que actualmente se conoce como la Sonda de Campeche, los estudios sísmicos digitales se iniciaron en 1972, continuándose en 1974, 1979, 1980, 1983, 1985 y 1987 hasta los realizados en 1991 y 1992.

El área se encuentra ubicada en la plataforma continental del Golfo de México, frente a las costas de los estados de Tabasco y Campeche, y se extiende hasta la isobata de 500m. con una superficie de 19,000 km² (figura 1).

Con los estudios de exploración geofísica, y en especial los de sismología realizados en 1972 dentro de la Sonda de Campeche, se identificaron varias estructuras muy importantes, tales como: Chac, Kukulkan, Bacab, Akal, Ek, Chem, Kin, Acanun, Caan, Kambul y Abkatun. Sobre ellas se propusieron algunas localizaciones a perforar (figura 2), procediendo con la de Chac-1.

En julio de 1976, en el pozo Chac-1 se descubren grandes depósitos de hidrocarburos en brechas calcáreas dolomitizadas del Cretácico superior-Paleoceno, en el intervalo de 3345 a 3587 m. de profundidad, estimándose una producción de 9480 barriles diarios de aceite de 21 grados API. posteriormente se perforaron los pozos: Bacab-1 y Akal-2 con resultados muy semejantes.

Sin embargo, dada la complejidad el área y al alto costo de la perforación en el mar (de 12 a 16 millones de dólares por pozo exploratorio), se presentó la necesidad de definir con mayor precisión el aspecto estructural y estratigráfico de las rocas del Paleoceno y Mesozoico, con el fin de mejorar la localización de pozos exploratorios y de desarrollo, y reducir los riesgos en la perforación.

Para lograr esto, Petróleos Mexicanos decidió en 1979 emplear los métodos sísmicos tridimensionales en los prospectos Chac, Ku-Maloob, Akal (ahora Cantarell), Abkatun, continuando en 1985 en el prospecto de Zazil-Ha y posteriormente en el año de 1987 en los prospectos de Yaabkan, Kab, Uech-Kokay y recientemente en 1991 y 1992 en los prospectos de Oeste de Yaabkan, Yum, Le-Acach y Ek-Balam obteniendo resultados muy satisfactorios (figura 3).

DESCRIPCION DEL METODO SISMICO DE REFLEXION TRIDIMENSIONAL

El método sísmico de reflexión consiste en crear un microsismo en la superficie de la tierra o cerca de ella, mediante una pequeña explosión o una vibración. En el caso marino se emplean cañones neumáticos con altas presiones (figura 4). De esta manera se genera una serie de ondas elásticas que se transmiten a través de las rocas del subsuelo y, debido a diferencias físicas de las rocas, las ondas se reflejan en los diferentes contactos de las capas que conforman la corteza terrestre, las cuales al llegar a la superficie son captadas por geófonos, convirtiéndolas en señales eléctricas que se registran en equipos digitales de alta resolución.

El método tridimensional es un sistema de colección de datos a base de líneas sísmicas muy cercanas, separadas de 40 a 100 metros (figura 5) y con una distancia entre grupos de geófonos de 20 a 30 metros, mediante los cuales, con el procesamiento digital de datos, empleando grandes computadoras de alta capacidad (ejemplo Cray YMP), se obtiene una alta densidad de puntos de reflexión en el subsuelo en una malla del orden de 12.5 x 30m., al procesar esos datos, se obtienen imágenes o secciones sísmicas.

mológicas y planos de isotiempos, las cuales se ejemplifican en la figura 6, observándose un corte vertical y otro horizontal de la corteza terrestre, contándose además con otros tipos de presentaciones.

En estas imágenes se identifican los rasgos estructurales y estratigráficos en el subsuelo con gran precisión, aumentando las posibilidades de éxito en la perforación de los pozos de exploración y desarrollo.

Para yacimientos productores, la sísmología ayuda a delimitar con alta precisión sus dimensiones y, consecuentemente, a calcular con mayor exactitud las reservas petroleras.

DISEÑO DE LAS TECNICAS DE OPERACION

El diseño de las técnicas de operación y selección de equipos que se emplearon en los estudios tridimensionales de la Sonda de Campeche, fueron hechos por el autor y se fundamentó en los objetivos, problemas a resolver, equipos de grabación, sistemas de control de operación, sistemas de radioposicionamiento, barcos y sistemas de cómputo disponibles en cada época.

Dentro del diseño de las técnicas empleadas, se determinaron: la distancia entre puntos de tiro en la superficie y separación entre líneas de tiro, porcentaje de apilamiento, dirección de tiro, arreglo de pistolas, tipo de fuente de energía, longitud y profundidad del cable marino, frecuencia de grabación y tipo de procesos por aplicar. Lo anterior consideró los echados de los estratos en el subsuelo, frecuencias que se deseaban preservar, velocidades de propagación de las ondas sísmicas compresionales, equipos de grabación y de proceso (Palafox 1979 y 1987).

Además de los intervalos entre puntos de tiro y distancia entre líneas, se consideró para las operaciones el área que se deseaba tener ya migrada con el apilamiento completo, el desplazamiento que tendrían los eventos sísmicos de los extremos al migrarse, y que quedaran dentro del área deseada (figura 7).

La adquisición de datos actualmente se hace empleando:

A) Como fuente de energía se usan de 24 a 40 pistolas neumáticas por fuente, con presiones de 1600 a 2500 libras por pulgada cuadrada y un volumen total de 3000 a 7000 pulgadas cúbicas.

Se usan de una a tres fuentes de energía.

B) Cables de hidrófonos.

Actualmente se usan de 2 a 3 cables de hidrófonos de 3200 a 6000 metros de largo con 120 a 240 canales por cable, con 16 a 30 hidrófonos por grupo, con distancias de 12.5 a 37.5 metros entre grupos.

C) Se tienen equipos de radioposicionamiento por satélite (GPS) y otros como el Syledis y Argo, así como sistemas de comunicación de voz y datos. Se cuenta con equipo de procesamiento de estos datos para ubicar la posición (coordenadas) del barco, fuente de energía, grupos de hidrófonos, cola del cable en cada punto de tiro (aproximadamente cada 20 o 30 segundos).

PROCESADO DE DATOS SÍSMICOS

Los principales procesos aplicados a los datos sísmicos se pueden resumir en:

A) Procesamiento de datos de radioposicionamiento para obtener las coordenadas de los grupos de geófonos y fuente de energía en cada punto de tiro.

B) Determinación de parámetros de proceso (velocidades, filtros, etc.).

C) Agrupamiento de trazas de área común con corrección por echado.

D) Apilamiento y filtrado variable con el tiempo (bidimensional), con la graficación de la sección apilada.

E) Migración tridimensional y filtrado variable con el tiempo, con la graficación de su respectiva sección sísmica migrada en 3D.

F) Integración de datos migrados y obtención de secciones de isotiempos.

G) Presentación isométrica de horizontes configurados.

H) Obtención de cintas procesadas para su interpretación interactiva.

El flujo de proceso de los datos sísmicos aplicados se presenta en forma generalizada en la figura 8, en dónde los datos sísmicos se procesaron bajo

el estricto control de posicionamiento de los puntos de tiro y de reflejo común en el subsuelo, procesando los datos de navegación en dónde se tiene la posición del barco en relación a puntos de amarre en tierra, y a su vez la posición del cable con respecto al barco durante su trayectoria y, finalmente, la localización de cada grupo de geófonos en cada punto de tiro.

Para el procesamiento se emplearon super computadoras del tipo vectorial de alta capacidad, tales como IBM 3090, con Cray XMP4 o Cray YMP o Convex 240, o 3420, o 3440, para procesar de 400 a 3500 Gigabytes y obtener en la salida de 10 a 120 Gigabytes de información procesada, por ejemplo:

En el prospecto Oeste de Yaabkan con una superficie de 7000 km² se tienen 765 Gigabytes de información a procesar y en su salida 19 Gigabytes. Le-Acach de aproximadamente 2900 km² (57,400 km lineales), tiene aproximadamente 6480 Gigabytes de datos sísmicos a procesar y en la salida son cerca de 120 Gigabytes.

INFORMACION QUE SE OBTIENE CON EL METODO SISMICO TRIDIMENSIONAL

Como se tiene una alta densidad de datos sísmicos (12.5 y 37.5 m. ó 25 m. en el subsuelo) ya procesados en forma tridimensional y almacenados en un banco de datos de 8 a 150 Gigabytes, es posible obtener diferentes tipos de información en pantalla de una estación de trabajo o mediante graficadores (figura 9), destacando:

A) Planos topográficos con la localización de puntos de tiro, puntos de reflejo común, ubicación de pozos y otros datos cartográficos.

B) Secciones apiladas a lo largo de las líneas de tiro observadas tal como la de la línea 1270 que pasa por el pozo Chac-2 (figura 10).

C) Secciones migradas en tres dimensiones a lo largo de las líneas de tiro observadas que muestran un corte vertical (en tiempo-contra-distancia) de la corteza terrestre, tal como la de la línea 1270 que cruza el pozo Chac 2 (figura 11).

D) Secciones migradas perpendiculares a las líneas de tiro (líneas cdp).

E) Secciones interpoladas entre líneas observadas, con las que se aumenta la densidad de datos en el subsuelo y reduce los efectos de «alias» en la mi

gración.

F) Líneas en zig-zag uniendo pozos.

G) Planos de isotiempos que corresponden a un corte horizontal (en tiempo) de la corteza terrestre, en los que cada uno de ellos representa un mapa de afloramiento de eventos sísmicos a un tiempo determinado (figura 6).

H) Película con planos de isotiempos, cada 4 milisegundos o bien grabados en un banco de datos digital para proyectarse en el monitor de una estación de trabajo, ya sea en forma individual o combinada con una o dos secciones sísmicas como la presentada en la figura 6.

I) Planos con vista isométrica o en planta, de horizontes interpretados o como un resultado de la interpretación interactiva con estaciones de trabajo computarizadas (figura 12).

J) Envolvente de la amplitud (u otra característica) sobrepuesta a los planos configurados en tiempo.

INTERPRETACION

La interpretación originalmente en 1969 era manual, auxiliándose de una película con los planos de isotiempos, pero a medida que la tecnología ha evolucionado, los métodos se van perfeccionando.

Actualmente la interpretación es interactiva, empleando estaciones de trabajo (tipo sun, modelo spark station II ó 10, de 20 ó más mips y de 30 ó más megaflops, con 38 mb de memoria ram) con 8 ó más gigabytes en discos magnéticos, pantallas de alta resolución y graficadores que facilitan esta tarea, sin llegar en ningún momento a desplazar al buen intérprete geofísico, sino que más bien le ayudan a realizar su trabajo con mayor eficiencia y precisión.

APLICACION DE LA SISMOLOGIA TRIDIMENSIONAL EN LA SONDA DE CAMPECHE

Dada la importancia y producción que tienen los campos de la Sonda de Campeche y los grandes beneficios que ha dado el método sísmico tridimensional, Pemex ha empleado esta técnica geofísica con el fin de

optimizar la localización de los pozos exploratorios y de desarrollo, y reducir así los riesgos de perforación principalmente en esta área, donde los fenómenos estructurales y estratigráficos son altamente complejos y los costos de perforación son muy elevados (de 12 a 16 millones de dólares US por pozo).

Los prospectos en dónde se han realizado estudios sismológicos tridimensionales son:

- A) Chac (bloque I) con 700 km² hecho en 1979
- B) Ku-Maloob (bloque II) con 950 km² hecho en 1979
- C) Abkatun (bloque III) con 850 km² hecho en 1979
- D) Zazil-Ha con 690 km² hecho en 1985
- E) Yaabkan con 526 km² hecho en 1987 y 1988
- F) Yaabkan con 90 Km² hecho en 1987 y 1988
- G) Uech-Kokay con 90 km² hecho en 1987 y 1988

y recientemente:

Yum	500 km ² hecho en 1991
Yaabkan	700 km ² hecho en 1991
Le-Acach	2900 km ² hecho en 1991
Ek-Balam	500 km ² hecho en 1992

La ubicación de estos prospectos se muestra en la figura 3.

PROSPECTOS CHAC, KU-MALOOB Y ABKATUN

Los estudios realizados en los prospectos mencionados, fueron hechos en 1979, en un área donde se situaban ya algunos campos productores del complejo Cantarell, de ellos podemos mencionar el campo Akal, cuya producción diaria promedio por pozo llegó a ser de 42,000 barriles. Esta área es productora de gas y aceite a profundidades que varían de 1250 a 4500

La superficie cubierta con los tres prospectos fue de 2500 Km², con un costo de \$ 8 000 USD. por Km². Como un ejemplo de la información obtenida en el bloque I, se presentan las figuras 15a y 15b, correspondientes a una sección apilada y otra migrada en tres dimensiones respectivamente, de la línea 1219 que pasa por el pozo Chac-1 y por la estructura de Nohoch. En estas figuras se puede apreciar cómo la sección migrada en 3D presenta una gran mejoría, mostrando un corte de la corteza terrestre, donde las estructuras se delinearán con gran claridad.

En el bloque III sobre la estructura de Taratunich se presentan las secciones apiladas y migradas en las figuras 16a y 16b respectivamente, correspondientes a la línea 2188, en este caso la diferencia entre las secciones sin migrar y migradas es espectacularmente notable, mostrándose claramente la ventaja del uso del sistema tridimensional en donde los elementos de interés quedan ubicados en su posición real, habiendo eliminado las difracciones y eventos de procedencia lateral, lo que facilita enormemente la interpretación y la ubicación de los pozos exploratorios y de desarrollo.

En la sección a la altura del CDP 557825 se aprecia la estructura de Taratunich, con el Paleoceno a la profundidad de 2.4 seg. y limitada claramente por dos fallas inversas. Otro ejemplo se presenta en las figuras 17a, 17b y 17c.

Con la línea de la figura 17a se dió la localización del pozo Chuc-1 sobre una aparente estructura anticlinal, que al perforarse encontró sal, además se pretendía dar otra localización (Chuc-2), sobre otro anticlinal que se interpretaba con los datos existentes en 1972.

Después del estudio tridimensional se obtuvieron las líneas de las figuras 17b y 17c en donde se observa claramente que el aparente anticlinal de la localización Chuc-1 correspondía a un domo salino; además se definió que la ubicación que se pretendía como Chuc-2, estaba situada en un sinclinal no detectado por los trabajos previos. Con ésto se evitó la perforación de otro pozo seco y además se dió la segunda localización, donde el pozo fue productor. Otro ejemplo de la forma tan clara que definieron en vista vertical y horizontal de las estruclutras de Ku y Bacab, se presenta en la figura 6 con lo que se dieron las localizaciones de estos pozos, que actualmente son productores.

Con estos ejemplos se ve claramente la gran mejoría que se obtuvo con el sistema tridimensional en estos prospectos, lo que ayudó a hacer la interpretación con mayor precisión y cuyos resultados ya fueron mencionados.

ZAZIL - HA

Igualmente en base a la información sísmica obtenida en 1972, se perforó el pozo Zazil - Ha, en tirantes mayores de 100 metros; al encontrarse productor se decidió en 1985 efectuar estudios sísmológicos tridimensionales con el objeto de definir con mayor precisión las principales estructuras y dar localizaciones exploratorias y de desarrollo con mayores probabilidades de éxito. Para ello se tomaron en cuenta los avances tecnológicos alcanzados hasta ese tiempo, introduciendo una fuente de energía de doce pistolas neumáticas con una presión total de 2000 PSI y un volumen de 2000 pulgadas cúbicas. El cable marino fue de 3000 metros de longitud, para mejorar la adquisición de datos profundos, se usaron 120 grupos de geófonos separados 25m, contando con equipos de radioposicionamiento, operando con una precisión de ± 10 metros (Figura 18). Como un ejemplo de los resultados obtenidos, se presenta la sección de la figura 19a, que equivale a un corte seccional de la corteza terrestre, mostrando en el extremo derecho un flanco de lo que es la estructura de Zazil - Ha, donde está localizado el pozo del mismo nombre, productor en rocas del Mesozoico.

Debido a que el sistema tridimensional maneja una gran cantidad de información almacenada en un banco de datos de varios gigabytes y su interpretación es interactiva, es posible graficar en vista isométrica la conformación de un horizonte interpretado, correspondiente a la cima o base de un estrato en el subsuelo.

En el estudio realizado en el prospecto Zazil - Ha, ubicado en la Sonda de Campeche, se definieron 12 estructuras en el Cretácico superior, de las cuales la mayoría son concordantes con las del Cretácico inferior y del Jurásico superior.

El horizonte correspondiente al Cretácico superior fue graficado en vista isométrica, como lo muestra la figura 19b. En ella se aprecian perfectamente las principales estructuras de las rocas del Cretácico superior, que por ser concordantes en general con las rocas del Cretácico inferior y del Jurásico, que en varias localizaciones han sido productoras, se convierten en las estructuras más atractivas para ser perforadas en búsqueda de hidrocarburos.

PROSPECTOS YAABKAN, KAB Y UECH - KOKAY

Dentro de las actividades establecidas para 1987, se realizaron estudios sísmicos tridimensionales en los prospectos Yaabkan, Kab y Uech - Kokay

dentro de la Sonda de Campeche, con la finalidad de definir con mayor claridad los principales bloques estructurales para el paquete de rocas mesozoicas y la posibilidad de delinear cuerpos de sal en dichos prospectos.

Para tal efecto, se investigaron y analizaron los avances existentes, en equipos y tecnologías de la especialidad. En base a esto, se diseñó un sistema de operación que consiste en dos cables sísmicos marinos separados 150 metros, cada uno de 3 200 metros de longitud, con 120 grupos de geófonos, separados entre sí 25 metros (Figura 20).

Este sistema tiene la enorme ventaja de observar dos líneas sísmológicas simultáneamente, con lo cual los costos y tiempos de operación se reducen sustancialmente. Cada cable operó con 8 controles de posición, lo cual aumentó el control de ubicación de los grupos de geófonos. Como fuente de energía se usaron 30 pistolas neumáticas con una presión mínima de 2 500 libras por pulgada y un volumen total mínimo de 4 200 pulgadas cúbicas. Estas características y el diseño de distribución de las pistolas dieron una mayor penetración alcanzando a detectar estratos a más de 8 kilómetros de profundidad.

El equipo de radioposicionamiento operó con una precisión de ± 5 m. El procesamiento e interpretación de esta información se hizo con equipos interactivos, a base de modernas computadoras, incluyendo los procesos más avanzados, como el de interpolación de secciones para obtener una línea cada 37.5 metros y así alcanzar una densidad de puntos de reflexión en el subsuelo de 12.5 X 37.5 metros.

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROSPECTO YAABKAN

En este estudio se interpretaron tres horizontes: Jurásico profundo, Jurásico superior (Kimmeridgiano) y Cretácico medio, los cuales fueron bastante concordantes.

Estructuralmente los datos sísmicos muestran una serie de alineamientos de forma anticlinal, con orientación N-S, cortados en sus flancos por un sistema de fallas inversas (Figura 21).

Para estos horizontes se definieron 5 estructuras, dos de éstas (estructuras a y b) son las que se consideran de mayor interés petrolero, dado a que se encuentran en los bloques más altos, son las de mayor dimensión y las mejor definidas. En estas estructuras se encuentran las principales rocas

almacenadoras del Mesozoico (Cretácico superior, Paleoceno y Jurásico Kimmeridgiano) a profundidades de 5 400 a 6 500 metros (4 a 5 segundos).

En esta área las principales rocas generadoras corresponden a sedimentos calcáreo - arcillosos y arcillo - bituminosos del Jurásico superior (Tithoniano) y lutitas del Oxfordiano.

Como ejemplo de la información sísmica se presenta la sección de la línea 210, donde se aprecia la estructura "a" y la intrusión salina (figura 22).

Los resultados cumplieron con su objetivo, ya que detallaron 5 bloques estructurales y las intrusiones verticales salinas pudieron ser identificadas.

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROSPECTO KAB

El objetivo del estudio en este prospecto fue definir a nivel Mesozoico la estructura marina de Kab, la cual se había interpretado con un trabajo sísmico bidimensional. Esto se cumplió, ya que se definió la estructura de Kab, viéndose la afectación por una intrusión salina, la cual probablemente migró por uno de los planos de falla (figuras 23 y 24), además se interpretaron cuatro estructuras más de interés en los horizontes Jurásico superior, Cretácico superior y Eoceno, donde se ven afectadas por fallas inversas. Las profundidades oscilan entre 5 000 y 6 000 metros (3.4 a 4.4 segundos). Estas estructuras dan origen a 4 localizaciones a perforar. Están mejor definidas estructuralmente y, consecuentemente, con menor riesgo.

La figura 24 presenta la sección sismológica de la línea 160, en donde se ve que la estructura "a" está asociada a una intrusión salina que probablemente penetró por el plano de falla.

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROSPECTO UECH - KOKAY

El objetivo de este estudio fue definir la extensión, límites y cierre de las estructuras Uech, Kokay y Ki, a nivel Mesozoico (estas estructuras se habían esbozado con los trabajos bidimensionales hechos en 1972), así como definir por qué el pozo direccional Uech-46 fue improductivo.

En este prospecto se tiene el antecedente de los pozos Uech-1 y Uech-2, productores de aceite y gas en calizas oolíticas dolomitizadas del Jurásico

superior Kimmeridgiano entre 4 820 a 4 930 metros, con un gasto promedio de 10 000 barriles/día de crudo y densidad de 38 grados API, y manifestaciones de gas en el Mioceno superior a profundidades de 4 359, 4 393, 4 860 metros.

Con el estudio tridimensional, se definieron con precisión las estructuras denominadas "a" "b" y "c" (Ki, Uech y Kokay) dentro de los horizontes del Jurásico superior (Kimmeridgiano), Cretácico superior y Eoceno. En las figuras 25a, 25b y 26 se presentan los horizontes del Cretácico superior y Jurásico superior en donde se aprecia que la estructura "a", aún no perforada, es de gran atractivo por ser la de mayor extensión y que tiene un magnífico cierre estructural.

Además se ve también que el pozo Uech-46 quedó en la parte baja de las 2 estructuras de Uech y Ki (figura 26). Con todo esto queda de manifiesto la importancia de este tipo de estudios tridimensionales, ya que con ellos es posible evitar la perforación de pozos mal ubicados.

Este tipo de pozos de datalle ayudaría sin lugar a dudas a la localización de pozos de exploración y de desarrollo con mayor precisión, reduciendo los riesgos en la perforación.

Además, dentro del plio - pleistoceno, se detectó un bloque con un cierre atractivo (estructura "b"), cercano al pozo Kokay 1a que tuvo manifestaciones de gas a este nivel.

PROSPECTOS W DE YAABKAN, YUM Y EK - BALAM

Durante los años de 1991 y 1992 se realizaron estudios sísmicos tridimensionales en estos prospectos con 2 barcos (aunque en algunas ocasiones se usaron 1 o 3 barcos). Cada uno arrastra un cable de 4 000 metros de largo y con 160 grupos de geófonos separados 25 metros entre sí.

En la figura 27a se muestra la forma de hacer la observación sísmica con dos barcos, en la cual cada uno tiene su cable sísmico registrador y en donde uno de ellos es el barco tirador - registrador y el otro sólo registrador.

El barco tirador tiene una fuente de energía a base de pistolas de aire que operan con una presión de 2 000 a 2 500 libras por pulgada cuadrada con volúmenes de 4 000 a 6 000 pulgadas cúbicas.

El barco tirador hace un disparo cada 25 metros y se registran simultáneamente 2 líneas con datos de reflexión en el subsuelo. Una está a lo largo de la trayectoria del barco tirador y la otra línea de detección (de reflexión), está ubicada entre los dos barcos. Esto permite hacer la observación sísmica y obtener información por abajo de las plataformas, tal es el caso del pozo Ayin (figura 27b).

Detalles de la operación se muestran en las tablas 1 y 2.

RESULTADOS EN YUM

El objetivo de los estudios en Yum fue el de definir con mayor detalle las estructuras del prospecto dentro de los sedimentos del Cretácico superior, (donde este campo produce aceite ligero) y poder ubicar con mayor precisión la ubicación de los pozos exploratorios, de delimitación y de desarrollo.

El objetivo se cumplió al mejorar la información sísmica en relación a la que se tenía de trabajos anteriores.

Como un ejemplo se presentan las líneas 4 200 y la 4 140 ubicadas tal como lo presenta el plano de la figura 28a.

La figura 28b muestra la sección 4 200 en vista isométrica interpretada por el autor en una estación Charisma, en ella se aprecia como el pozo Yum-401 que alcanzó el Cretácico superior a 4 237 metros (productor de gas y condensado 36° API en Cretácico superior - medio de 4 370-4 400 metros). Está ubicado en el anticlinal mientras que el pozo Yum-201 quedó en la parte baja de la estructura encontrando el Cretácico superior a 5 460 metros. La figura 28c presenta el mismo cubo pero girado 90° viendo la sección de la línea 4 200 por la parte de atrás con 2 planos de isotiempos, en los que se aprecia la extensión de la estructura hacia la parte NW.

Otro ejemplo se presenta en la figura 29, en que se aprecia perfectamente la ubicación del pozo Yum-2b (productor en Cretácico superior) y el pozo May - 1, con sus estructuras muy bien definidas, que además de servir al área de exploración será muy útil para el desarrollo de los campos en esta área.

PROSPECTO OESTE DE YAABKAN

Dentro de los últimos estudios sísmicos tridimensionales realizados, este prospecto ha sido de los que ha tenido más problemas para obtener secciones sísmicas con buena respuesta a pesar de haber hecho un gran esfuerzo tanto en la adquisición como en el procesamiento de datos sísmicos.

Esto es debido a la gran complejidad estructural, en donde se tienen fallas normales, fuertes plegamientos compresionales con fallas inversas, presencia de varias discordancias, grandes fallas de crecimiento y todo esto afectado por un fuerte diapirismo, con cambios bruscos de velocidades verticales y horizontales, aunadas a bajos contrastes de impedancia acústica dentro de los sedimentos mesozoicos. Todo esto ocasiona una gran dispersión de la energía sísmica, fuertes difracciones, energía refractada reflejada y presencia de grandes ruidos, junto con una gran atenuación, lo que evita la penetración de las ondas sísmicas para detectar o "visualizar" horizontes mesozoicos profundos.

Sin embargo se tienen buenos resultados en varias partes del prospecto, como el ejemplo mostrado en la figura 30, donde se tiene una vista isométrica de un sector de la corteza terrestre en base a 2 secciones sísmicas perpendiculares y un plano de isotiempos.

PROSPECTO EK-BALAM

En este prospecto se tiene como antecedente el yacimiento en la brecha del Paleoceno-Cretácico superior (Balam-1), en el Jurásico superior del Kimmeridgiano (Ek-31) y arenas del Jurásico Oxfordiano (Ek-101) a profundidades de 4 000 a 5 000 metros.

La finalidad de este estudio fue el de definir con mayor precisión las estructuras que se habían identificado con estudios sísmicos bidimensionales.

Dado a que al SW del prospecto existen grandes instalaciones de producción del complejo Cantarell las operaciones de adquisición de datos sísmicos no fue posible realizarla con líneas NE-SW, por tal motivo el sistema de tiro se rediseñó para observar con líneas en dirección NW - SE, que de acuerdo con los echados existentes y frecuencias que podían alcanzar a las profundidades del Mesozoico (tiempos de 3 a 5 segundos), se seleccionó una distancia entre líneas de 70 metros interpoladas cada 35 metros, con 25 metros entre puntos de tiro y 160 canales sísmicos con una longitud de cable de 4 250 metros.

Los resultados han sido magníficos y la calidad de los datos superan grandemente a los resultados obtenidos con los estudios sísmicos bidimensionales.

Como ejemplo de lo anterior se muestra la sección sísmica de la línea cruzada (cross section) CL 815 (figuras 31a y 31b) en donde se aprecia claramente como el pozo Ek-45 está localizado exactamente sobre un domo salino y la mejor ubicación es fácilmente definida con la sección sísmica (interpretada por el Ing. Jorge Reyes Núñez) a 500 ó 600 metros donde se perforó el pozo Ek-45.

Si se analiza el costo de este estudio que fue de \$ 3 138 500 dólares U.S y se le compara con el costo del pozo (del orden de 6 a 10 millones de dólares por pozo) se puede apreciar el gran beneficio que se tiene con este tipo de estudios.

PROSPECTO LE-ACACH

El objetivo de este estudio sísmico tridimensional fue localizar o definir con mayor precisión las estructuras que se visualizan con los estudios bidimensionales hechos dentro de este prospecto.

La adquisición de datos sísmicos se realizó empleando 1 barco, 2 fuentes de energía y dos cables de 4 800 metros de largo, de 180 canales cada uno (figura 32a), con los que se observan 4 líneas sísmicas prácticamente simultáneas, al paso del barco (figura 32b).

Las especificaciones en detalle de la adquisición y procesado de datos se presentan en las tablas 3, 4 y 5.

Sin embargo, dado a la presencia del equipo que estaba perforando el pozo Ayin, el área cercana a este pozo no fue posible explorarla con este método.

Para cubrir el área faltante se empleó el método de 2 barcos antes descrito (figuras 27a y 27b), logrando observar dos líneas abajo de la plataforma de Ayin-1 obteniendo 4 secciones sísmicas, de las cuales se presentan sólo las líneas 1 y 4 (figuras 33a y 33b), ubicadas según lo muestra el plano de la figura 34. En éstas se aprecia la estructura de Ayin a nivel Mesozoico, limitada por fallas inversas y que sirven para amarrar el pozo con la información de las líneas sismológicas observadas con el método tridimensional.

En la figura 34 se presenta un plano del prospecto Le-Acach simplificado, mostrando la posición de algunas líneas sísmicas con respecto al pozo Ayin-1. Los resultados obtenidos de la evaluación cualitativa de la información son sorprendentes pues se logran ver con claridad estructuras de dimensiones considerables (de 2 a 7 kilómetros) a nivel Mesozoico en el prospecto Le-Acach. Algunas de estas estructuras se presentan en la línea 6 641 (figuras 35 y 36), así como en las líneas 5 681 y 6 121 (figuras 37 y 38) y que por estar dentro del área donde el pozo Ayin es productor, se tienen muchas posibilidades de que en estas estructuras se descubran grandes campos productores con una incorporación de reservas de hidrocarburos muy considerable.

- a) En el caso de la línea sísmica 6641 y el plano de isotiempos (de 4000 mseg) ubicados al noroeste del prospecto y presentadas en las figuras 35 y 36, se observan 4 estructuras anticlinales a nivel Mesozoico, limitado por fallas inversas cuyas dimensiones son de 2 a 3 kilómetros de ancho por 4 a 6 kilómetros de largo y con profundidades del posible Jurásico (Kimmeridgiano) de 4 500 a 5 000 metros de profundidad. Esta línea está en tirantes de agua de 250 a 320 metros.
- b) La línea 10 400 que pasa cerca del pozo Ayin, presenta otras dos estructuras. Una en el pt. 5 750 de 4 km. de largo y otra de 6 km. en el pt. 5 250 entre 5 800 a 6 300 metros de profundidad para el Jurásico (Kimmeridgiano) y se ubica en tirantes de agua de 56 a 100 metros.

ANALISIS DE LOS AVANCES TECNOLOGICOS Y SUS COSTOS DE OPERACION

En la tabla 6 se presenta un resumen de las técnicas y equipos empleados en las tres etapas (1979, 1985 y 1987). Del análisis de esta tabla y de las técnicas empleadas en los estudios realizados en 1991 y 1992 (tablas 1, 2, 3 y 4) se aprecia como las técnicas y equipos empleados se han ido mejorando de acuerdo con los avances tecnológicos en esta rama.

Por ejemplo, las fuentes de energía triplicaron su volumen para dar más energía con un efecto mínimo de burbuja. Se pasó del uso de un cable de 48 grupos al de 2 cables con 160 a 180 grupos cada uno. Los simógrafos aumentaron de 48 a 360 canales sísmicos, con lo que se pudo tener un muestreo en el subsuelo de 12.5 metros contra 25 metros, reduciendo además los tiempos de operación, adquisición y proceso de datos. Se introdujeron los sistemas de interpretación interactiva computarizados.

En 1991 y 1992, en los prospectos de W de Yaabkan, Yum y Ek - Balam sobresalen el uso de 2 y 3 barcos con 160 canales cada uno, obteniendo 2 a 3 líneas simultáneas. Así mismo en el prospecto Le-Acach, destaca el empleo de un barco con dos cables de 180 canales cada uno y 2 fuentes, con lo que se observan 4 líneas sísmicas simultáneamente.

Un punto muy importante es que los diseños han sido hechos aprovechando los avances tecnológicos tanto en la adquisición como en el procesamiento de datos sísmicos con lo se ha obtenido una mayor penetración y mejor calidad en los datos sísmicos a costos inferiores por registro de campo.

CONCLUSIONES

En la Sonda de Campeche se han realizado varios trabajos exploratorios. Sin embargo, los dos más importantes en vista de sus aportes, son los estudios sísmicos bidimensionales y los tridimensionales ya que en base a éstos se han dado todas las localizaciones de los 120 pozos exploratorios perforados (diciembre de 1992).

En los 120 pozos exploratorios perforados, 57 son productores, 40 improductivos y 23 con accidentes mecánicos. De los 57 productores, 27 son de aceite ligero y 30 de crudo pesado, habiendo alcanzado un 60% de éxito en la perforación exploratoria y contribuyendo a tener más del 88% de éxito en la perforación de desarrollo de campos con los que se han incorporado más de 37 500 MMBHLT (diciembre 1992).

En cada época en que se realizaron este tipo de estudios sísmicos tridimensionales siempre se han empleado equipos y tecnologías de vanguardia adaptadas a las necesidades y objetivos .

Se enfatiza que con el empleo de las técnicas sísmicas tridimensionales en la Sonda de Campeche se han definido con mayor precisión las trampas con posibilidades de contener hidrocarburos, se ha logrado reducir el riesgo y se facilita la ubicación de pozos exploratorios de desarrollo de campos con mayor confiabilidad.

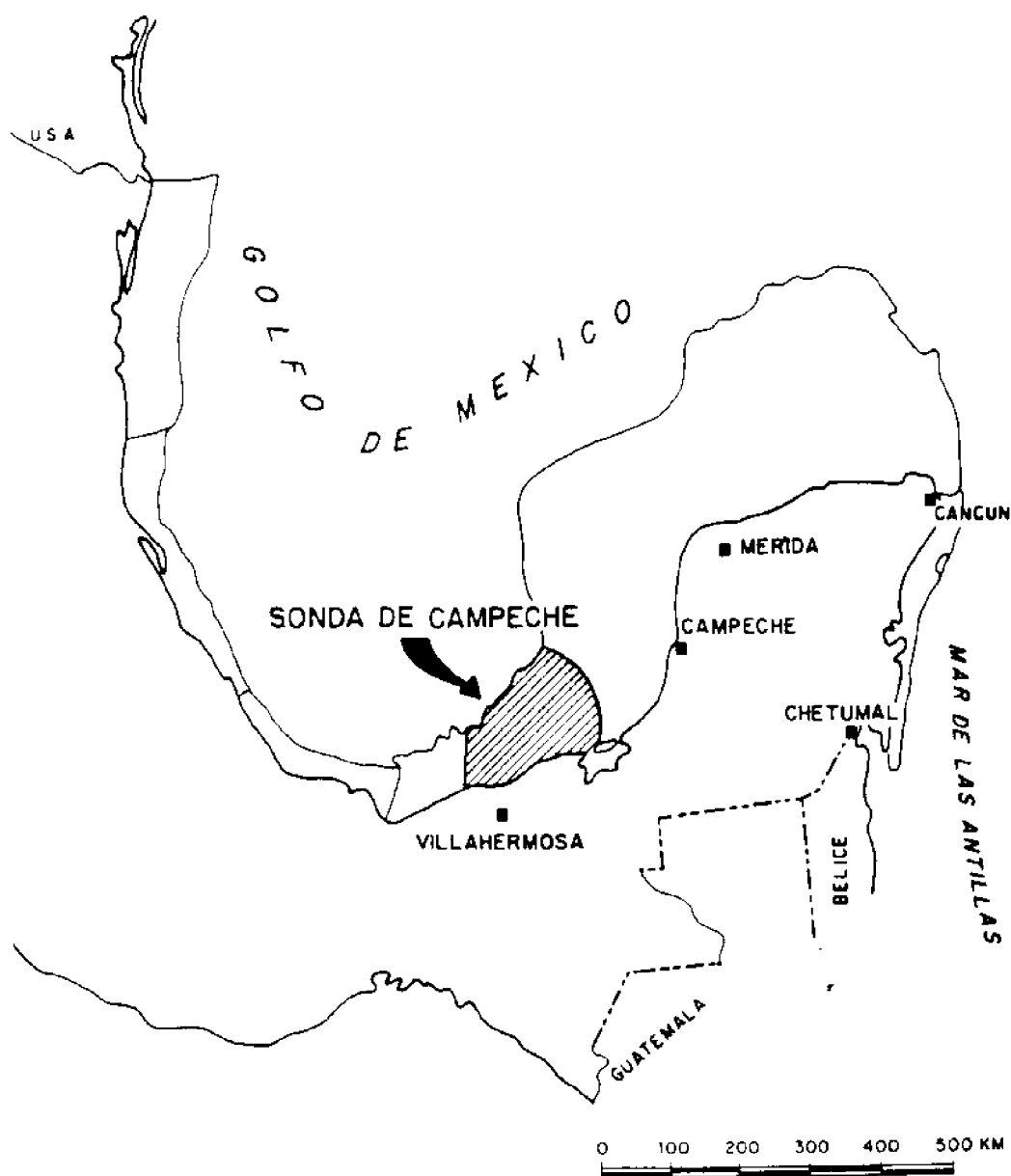
Actualmente con los recientes estudios realizados en los prospectos de Le-Acach, Yum, Ek-Balam, y Keek, se tienen grandes posibilidades de poder incorporar en un futuro próximo, cantidades considerables de reservas probadas.

Finalmente, resulta importante remarcar que esta técnica geofísica se ha estado aplicando con todo éxito en la Sonda de Campeche, con lo que se han cubierto y se descubrirán nuevas reservas de hidrocarburos, participando activamente en la exploración y desarrollo económico del País.

REFERENCIAS

- | | |
|----------------|---|
| Palafox, R.H., | 1979.- Instructivo para el diseño de parámetros de observación en estudios sísmicos tridimensionales. |
| Palafox, R.H., | 1980.- Aplicación del método sísmico tridimensional en la República Mexicana, presentado en el Congreso de Arpel en la Ciudad de la Paz, Bolivia. |
| Palafox, R.H., | 1987.- Sismología tridimensional en el Golfo de México. |
| PEMEX | 1989.- Estudio sismológico tridimensional (marino) del prospecto Uech-Kokay. (informe final de operación). |
| PEMEX | 1989.- Estudio sismológico tridimensional (marino) del prospecto Yaabkan. (informe final de operación). |
| PEMEX | 1989.- Estudio sismológico tridimensional (marino) del prospecto Kab. (informe final de operación). |

UBICACION DE LA SONDA DE CAMPECHE



H.P.R.

FIGURA 1

PRINCIPALES ESTRUCTURAS OBTENIDAS DE LOS ESTUDIOS SISMICOS REALIZADOS EN 1972

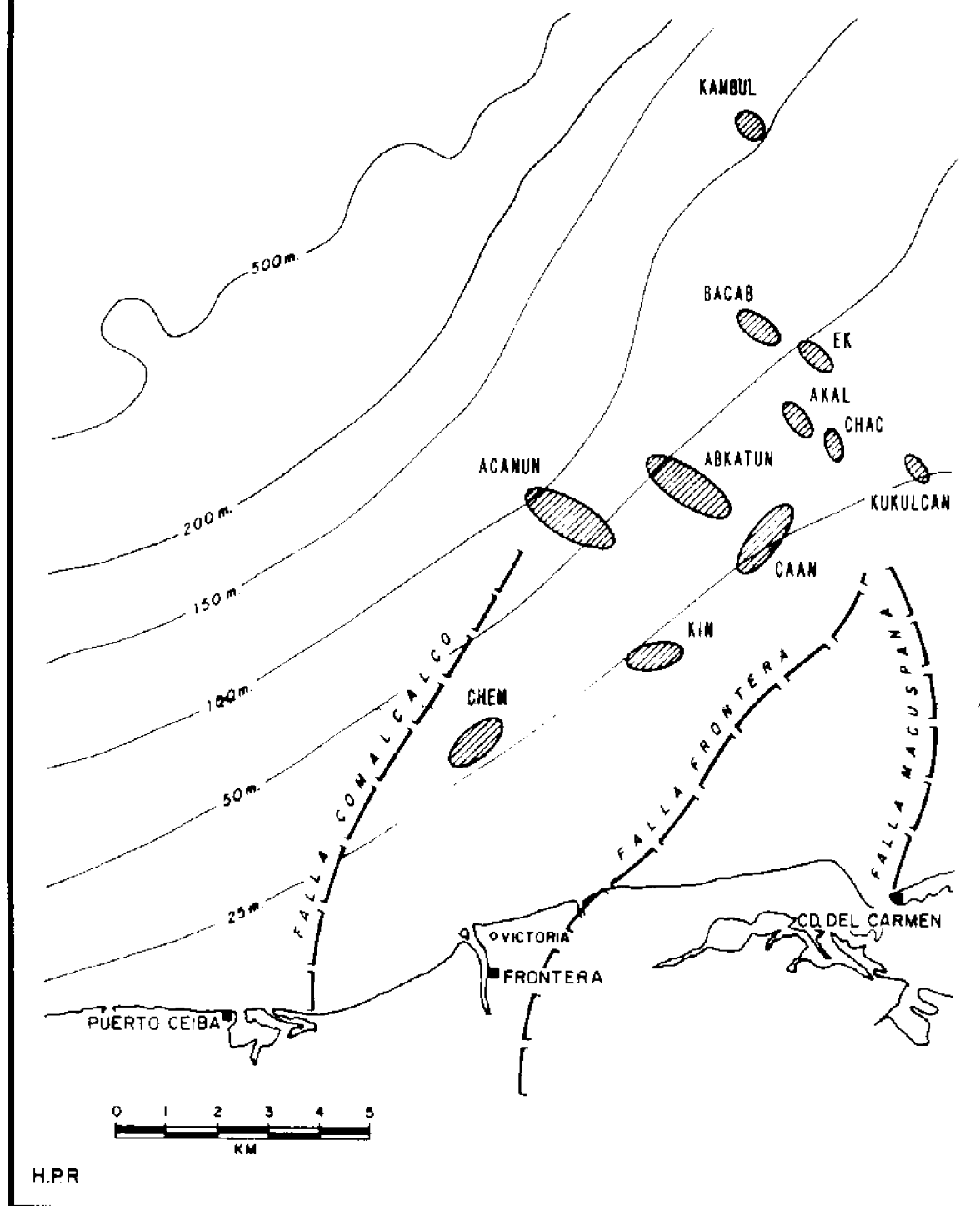


FIGURA 2

ESTUDIOS DE SISMOLOGIA TRIDIMENSIONAL REALIZADOS EN LA SONDA DE CAMPECHE

SISMOLOGIA TRIDIMENCIONAL

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| A - CANTARELL (1978-79) | F - KAB (1987) |
| A1 - CANTARELL NORTE | G - UECH-KOKAY (1987) |
| B - ABKATUN (1979-80) | H - LE ACACH (1991) |
| C - CHUC-OCH (1980-81) | I - OESTE DE YAABKAN (1991) |
| D - ZAZIL-HA (1985) | J - YUM (1991) |
| E - YAABKAN (1987) | K - EK-BALAM |

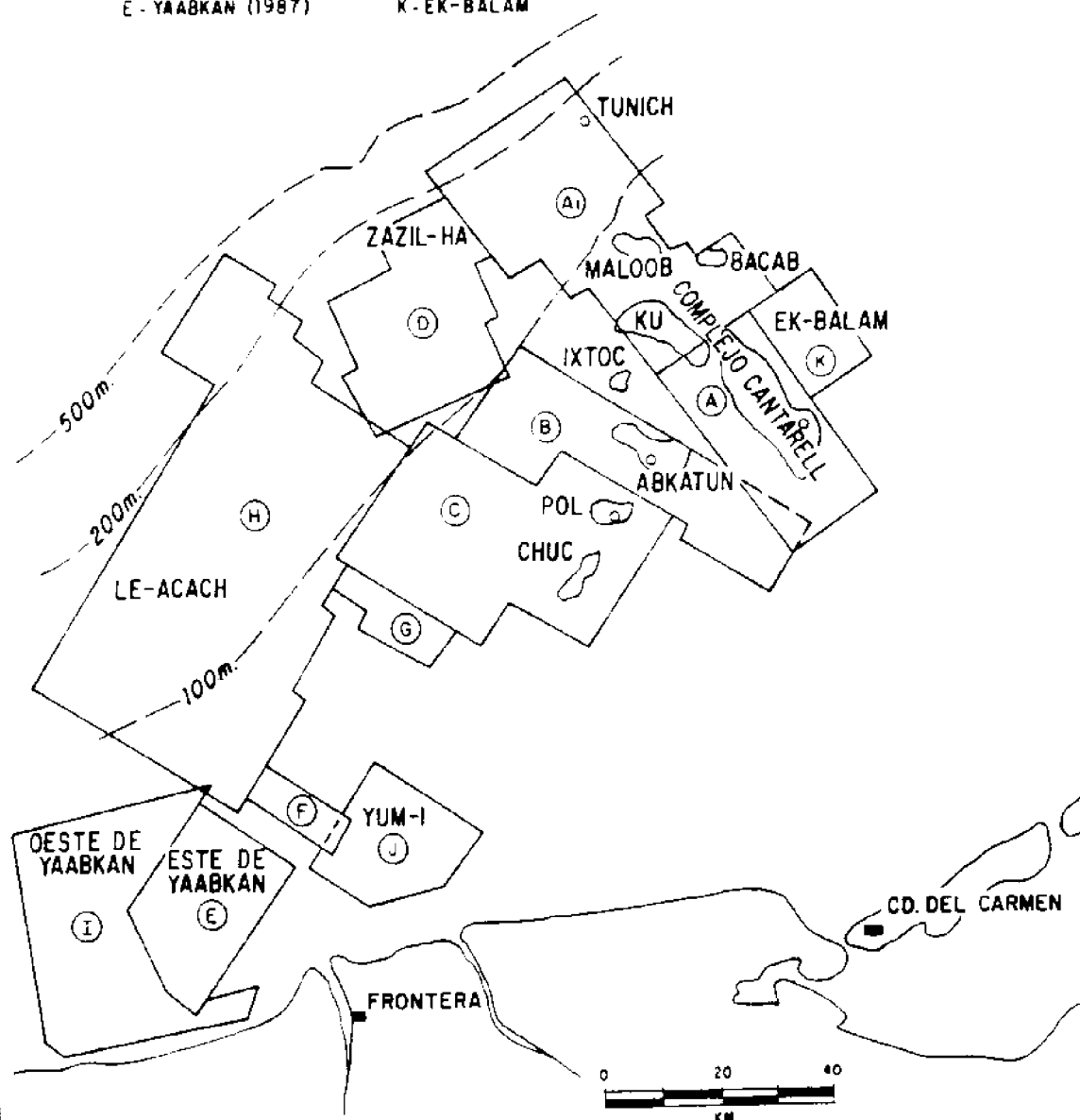


FIGURA 3

SISTEMA SISMICO DE REFLEXION MARINO

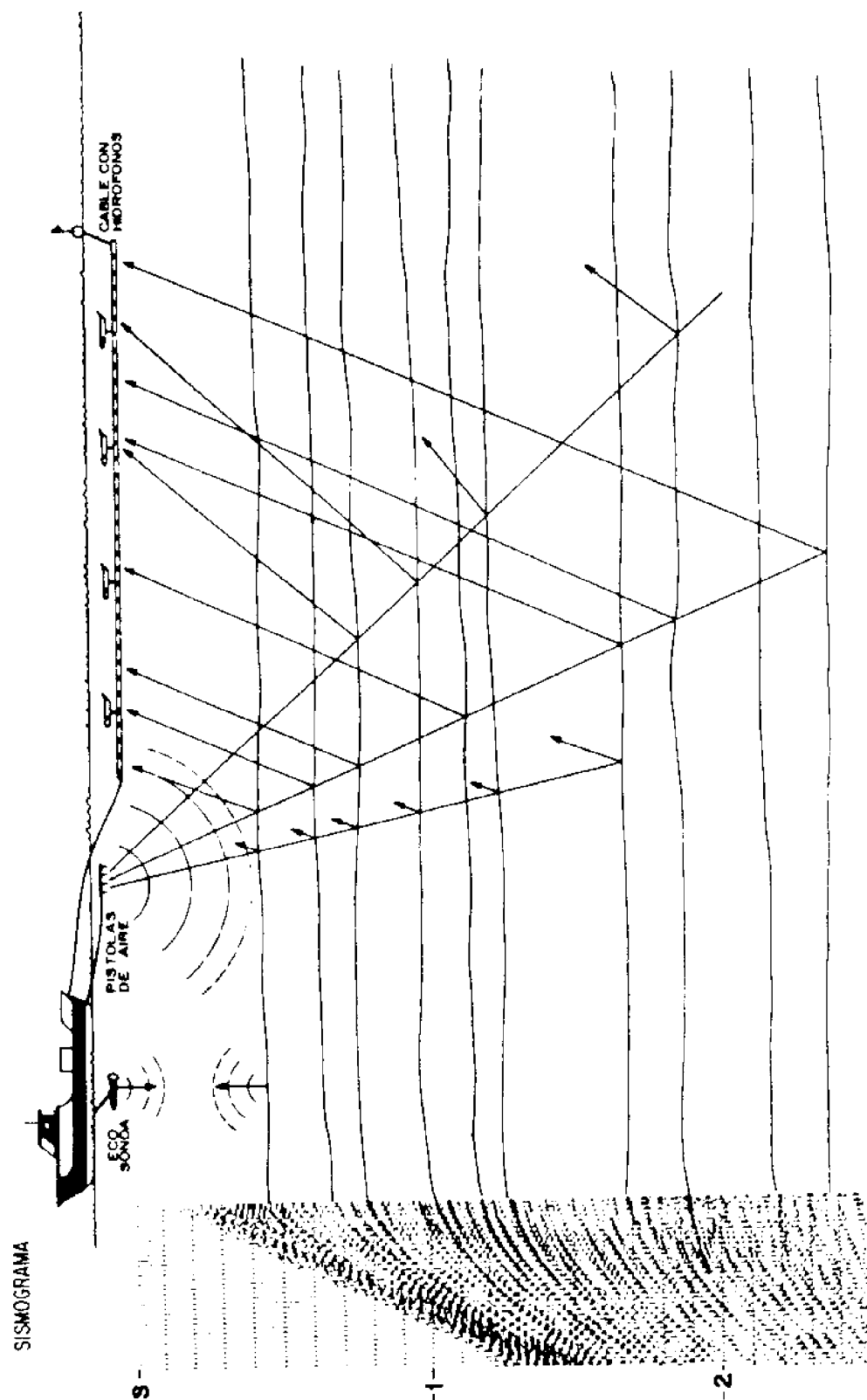
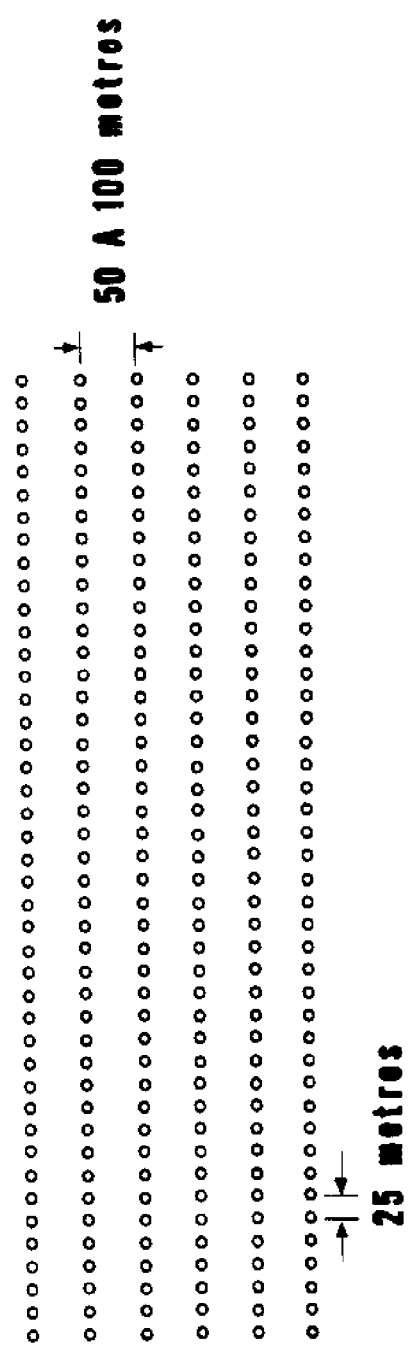


FIGURA 4

SISTEMA DE COLECCION DE DATOS TRIDIMENSIONALES

PRINCIPAL CARACTERISTICA: COLECCION DE ALTA DENSIDAD DE DATOS



H.P.R.

FIGURA 5

SECCION SISMOLOGICA Y PLANO DE ISOTIEMPOS DEL PROSPECTO LE-ACACH PARTE NW

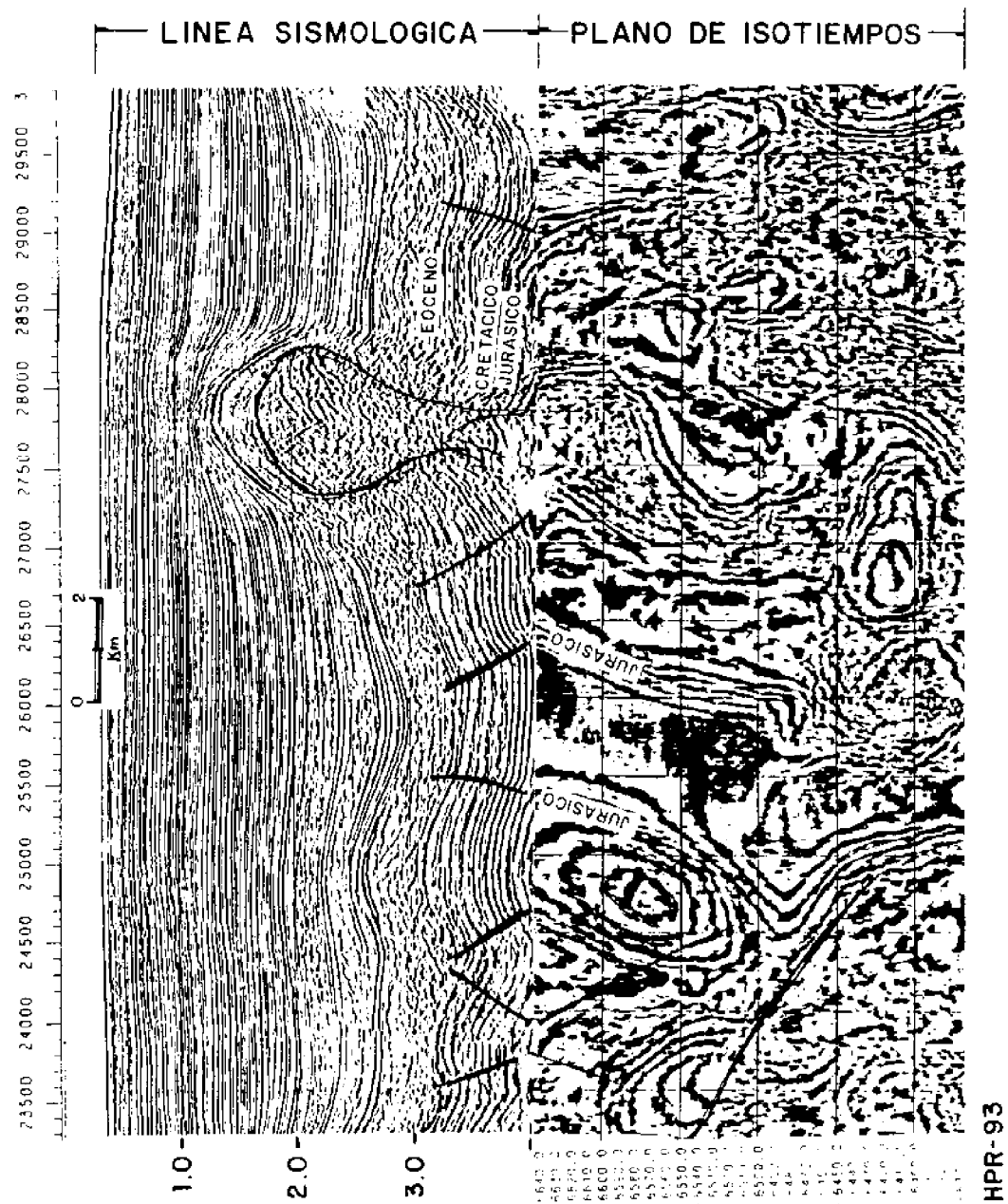
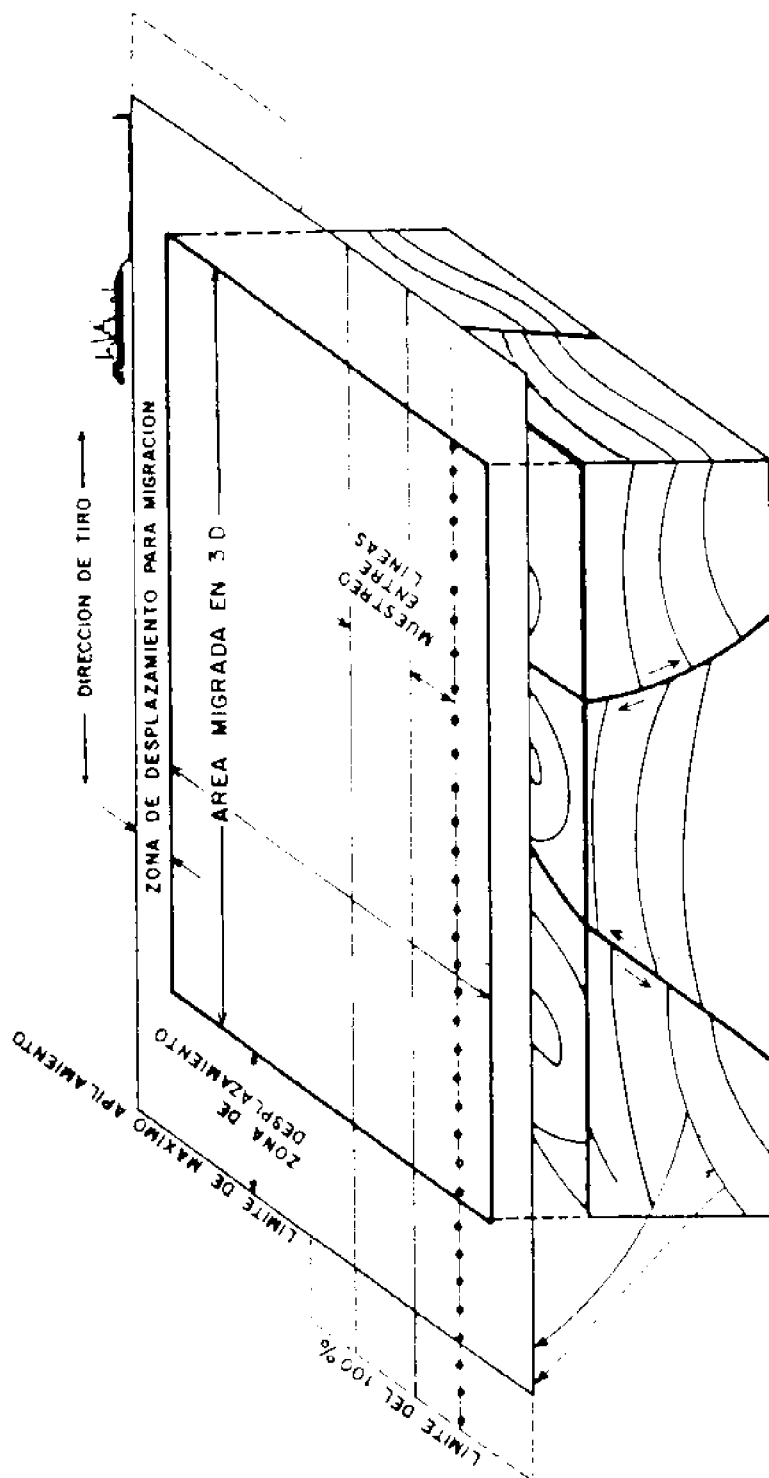


FIGURA 6

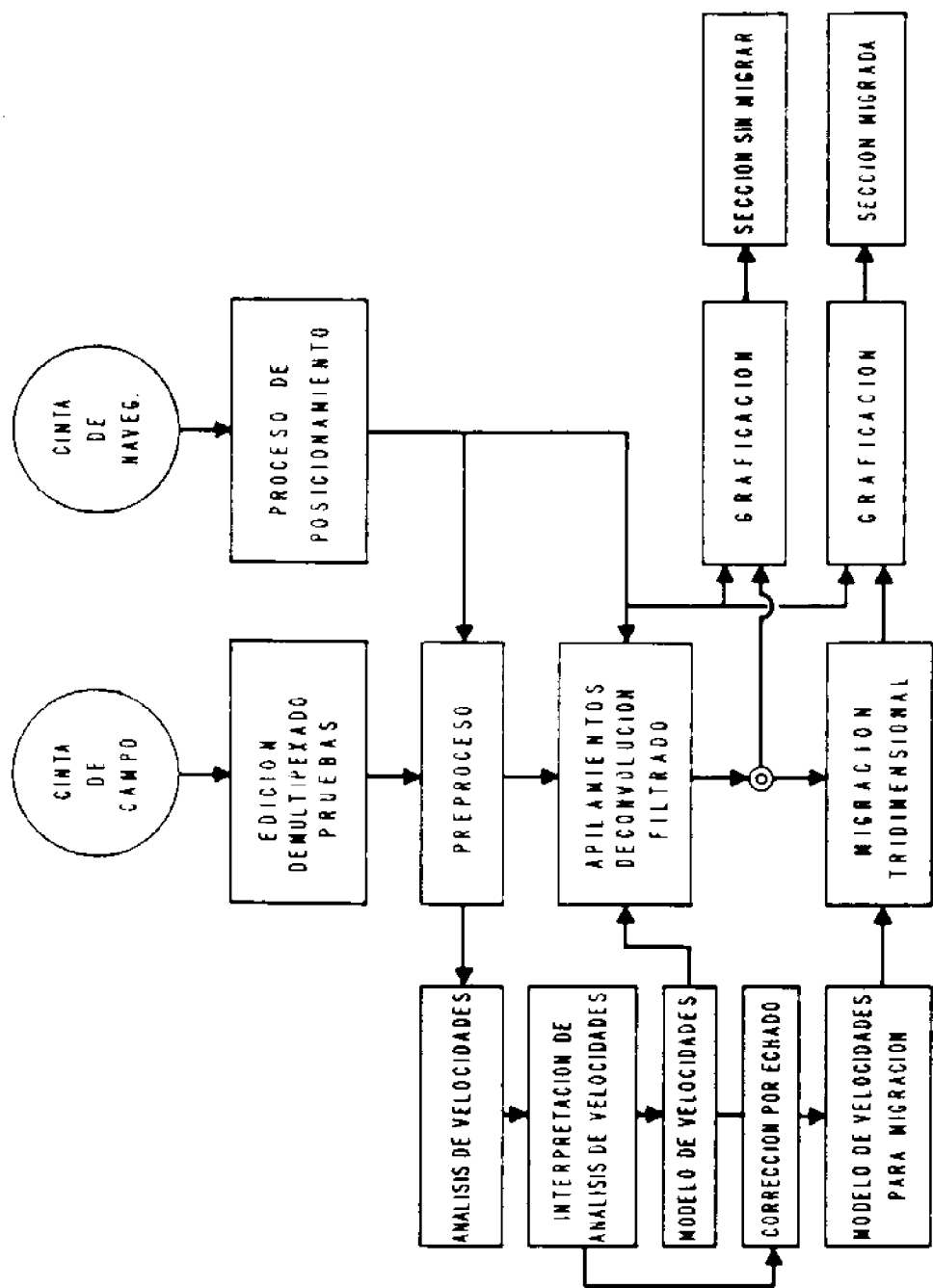
SISTEMA DE COLECCION DE DATOS TRIDIMENSIONALES



(WESTERN GEOPHYSICAL MODIFICADA POR MPR)
(HPR 87)

FIGURA 7

SECUENCIA DE PROCESO TRIDIMENSIONAL



MPR

FIGURA 8

OBTENCION DE PLANOS DE ISOTIEMPOS Y SECCIONES MIGRADAS EN 3D

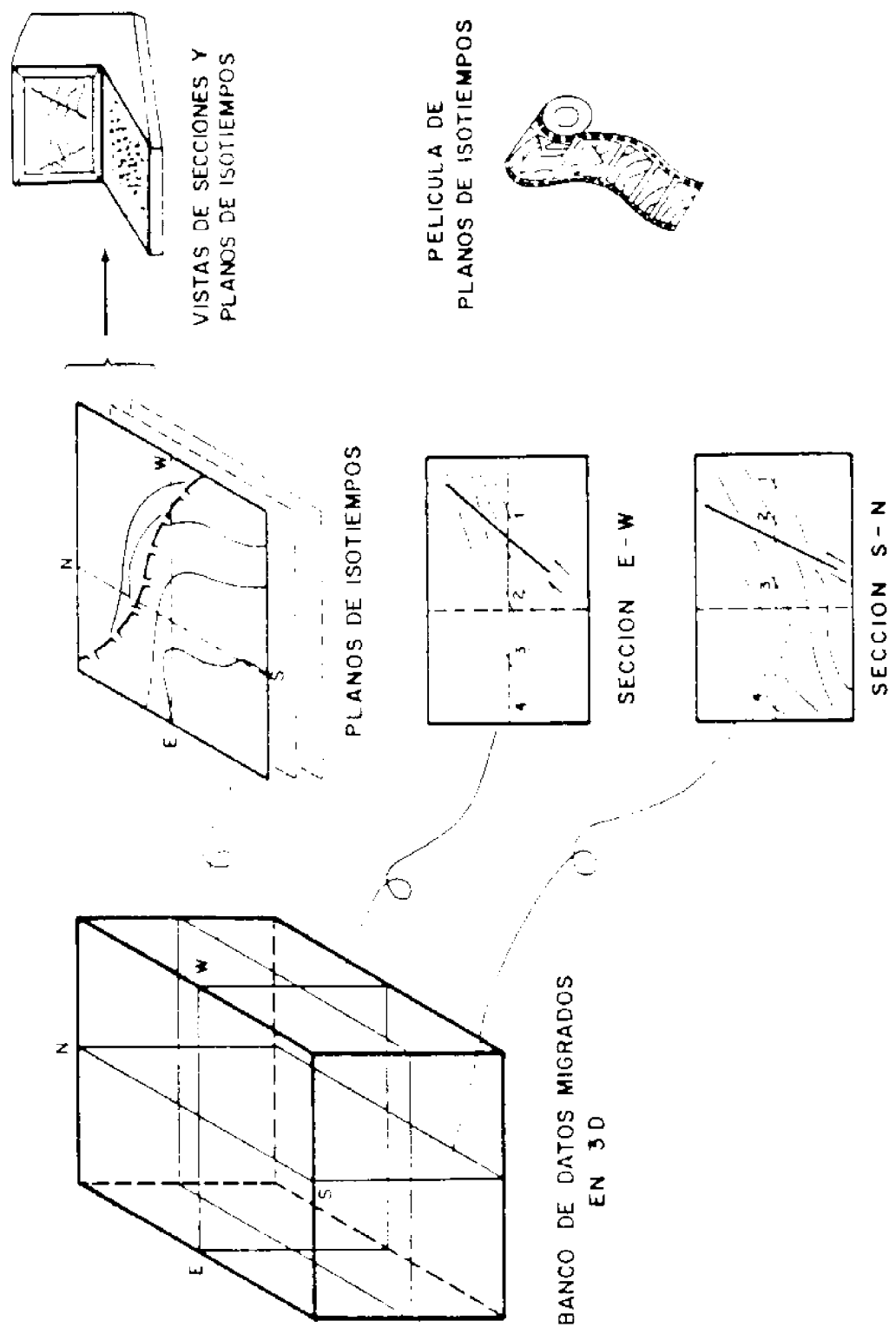
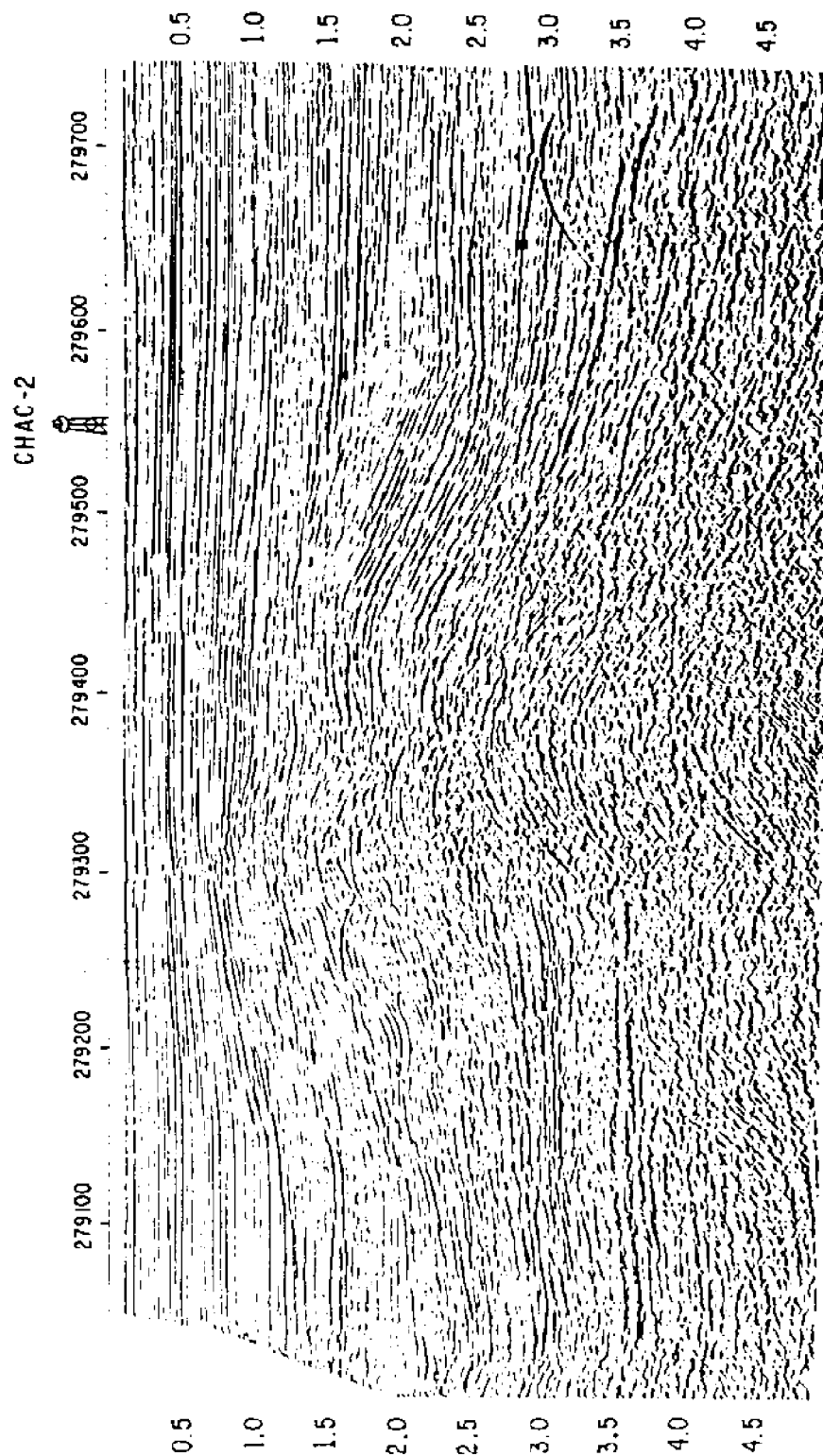


FIGURA 9

LINEA 1270 SIN MIGRAR



HPR-93

FIGURA 10

LINEA 1279 MIGRADA EN 3D

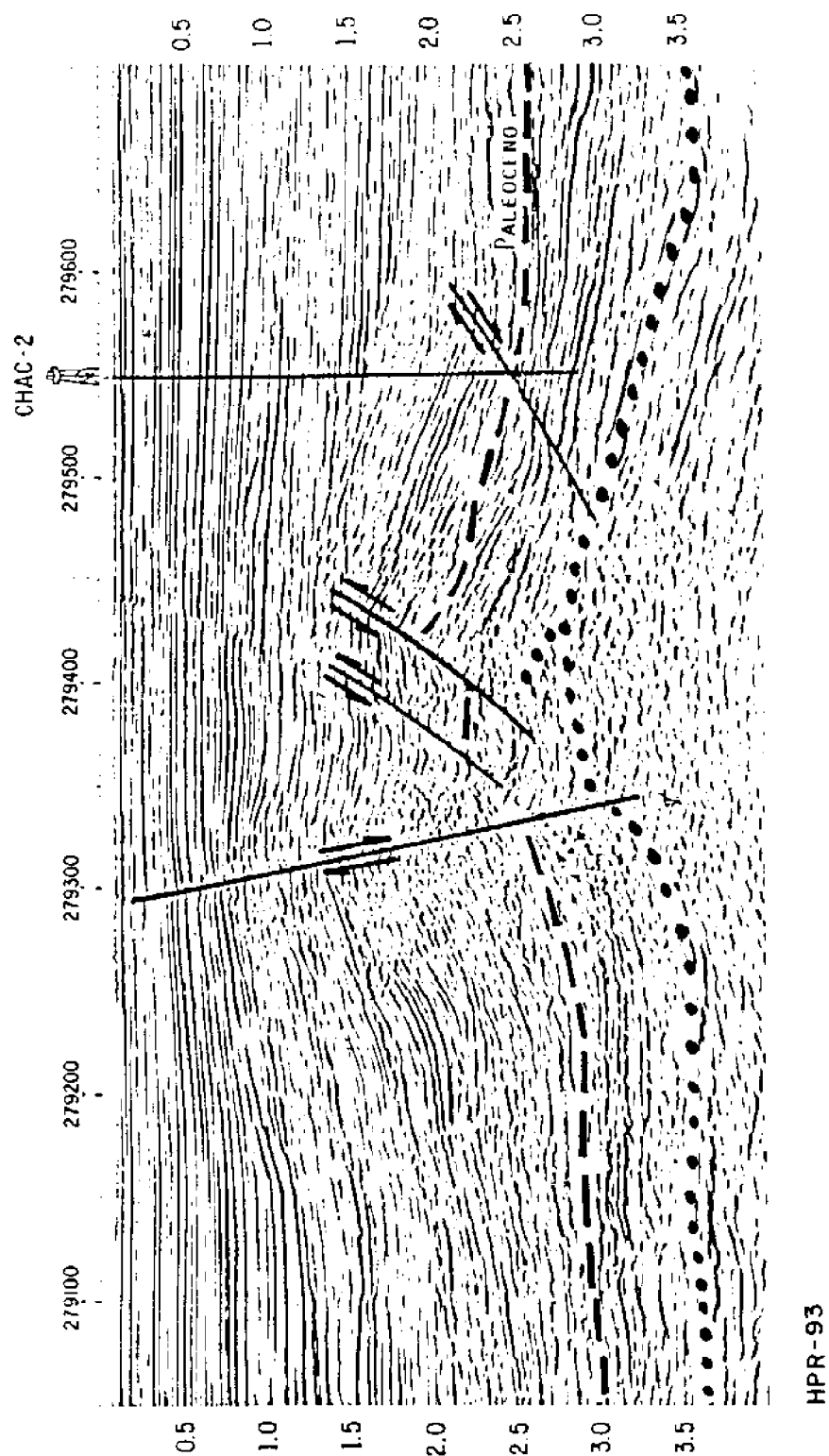


FIGURA 11

VISTA ISOMETRICA DEL HORIZONTE CRETACICO SUPERIOR

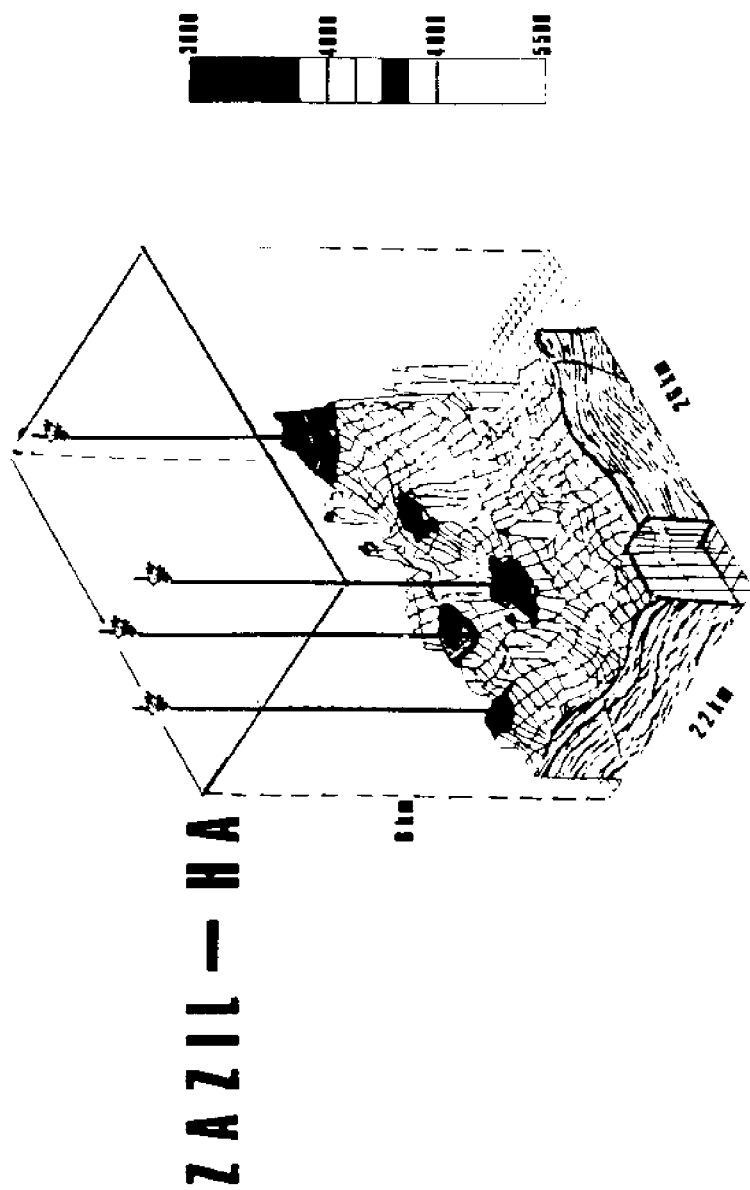
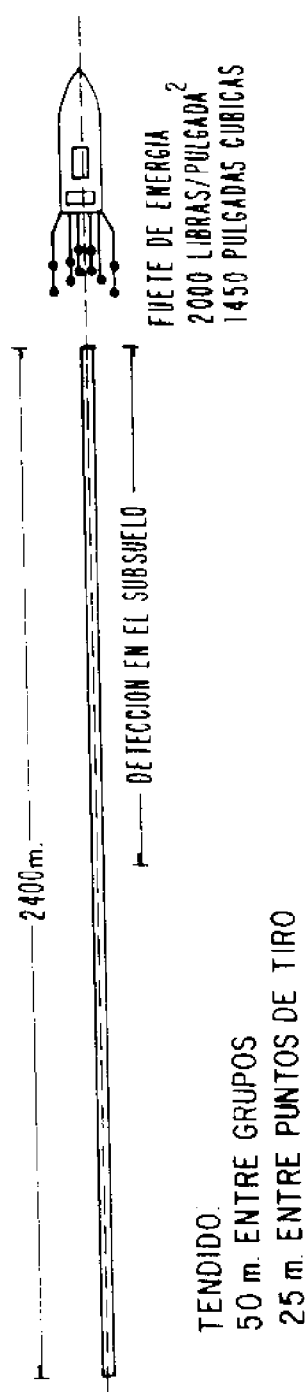


FIGURA 12

OPERACION SISMOLOGICA CON UN CABLE CON 48 CANALES SISMICOS



H.P.R.

FIGURA 13

DISTRIBUCION DE LINEAS DE TIRO EN LAS SECCIONES I II Y III DEL GOLFO DE CAMPECHE

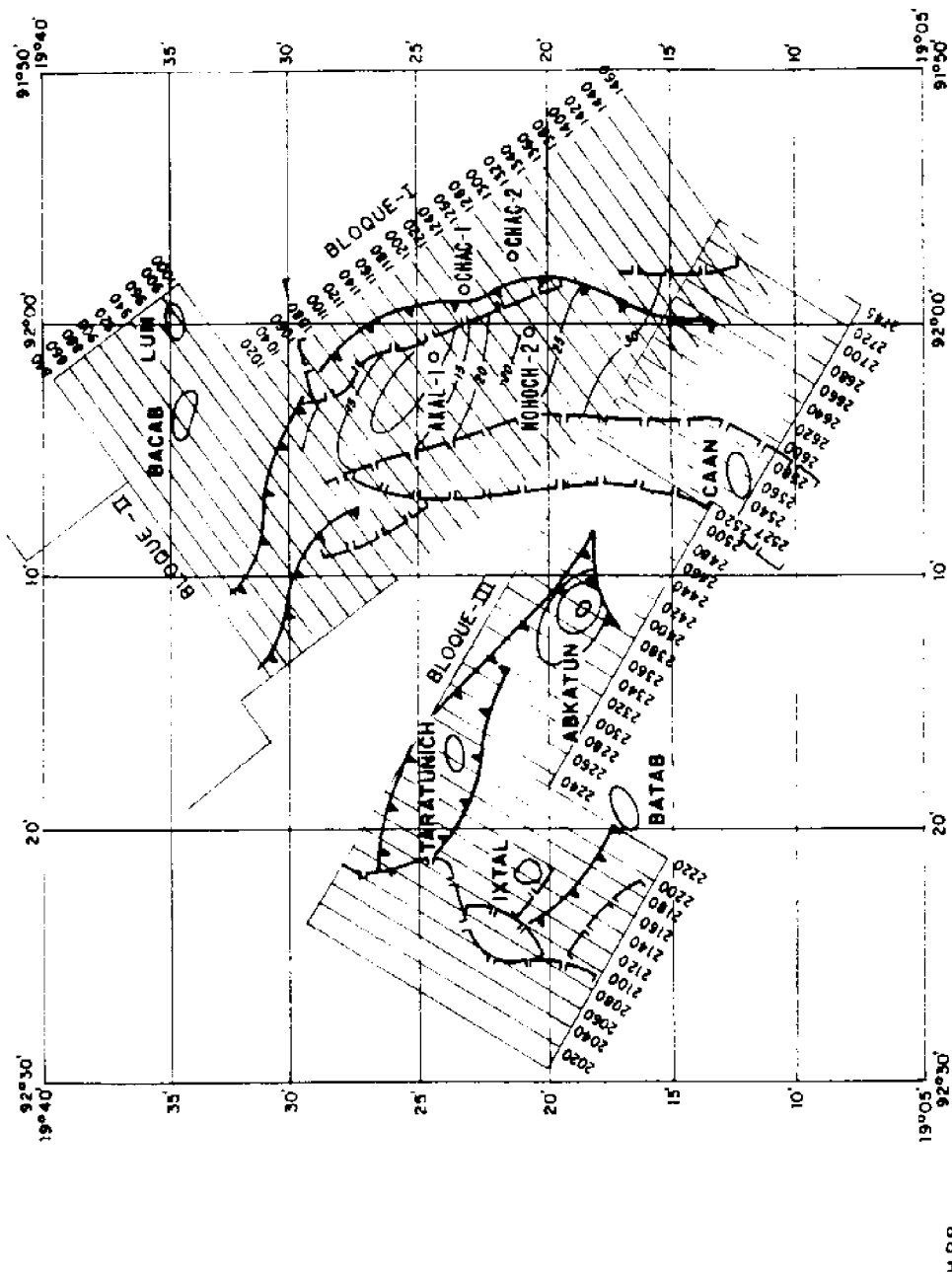
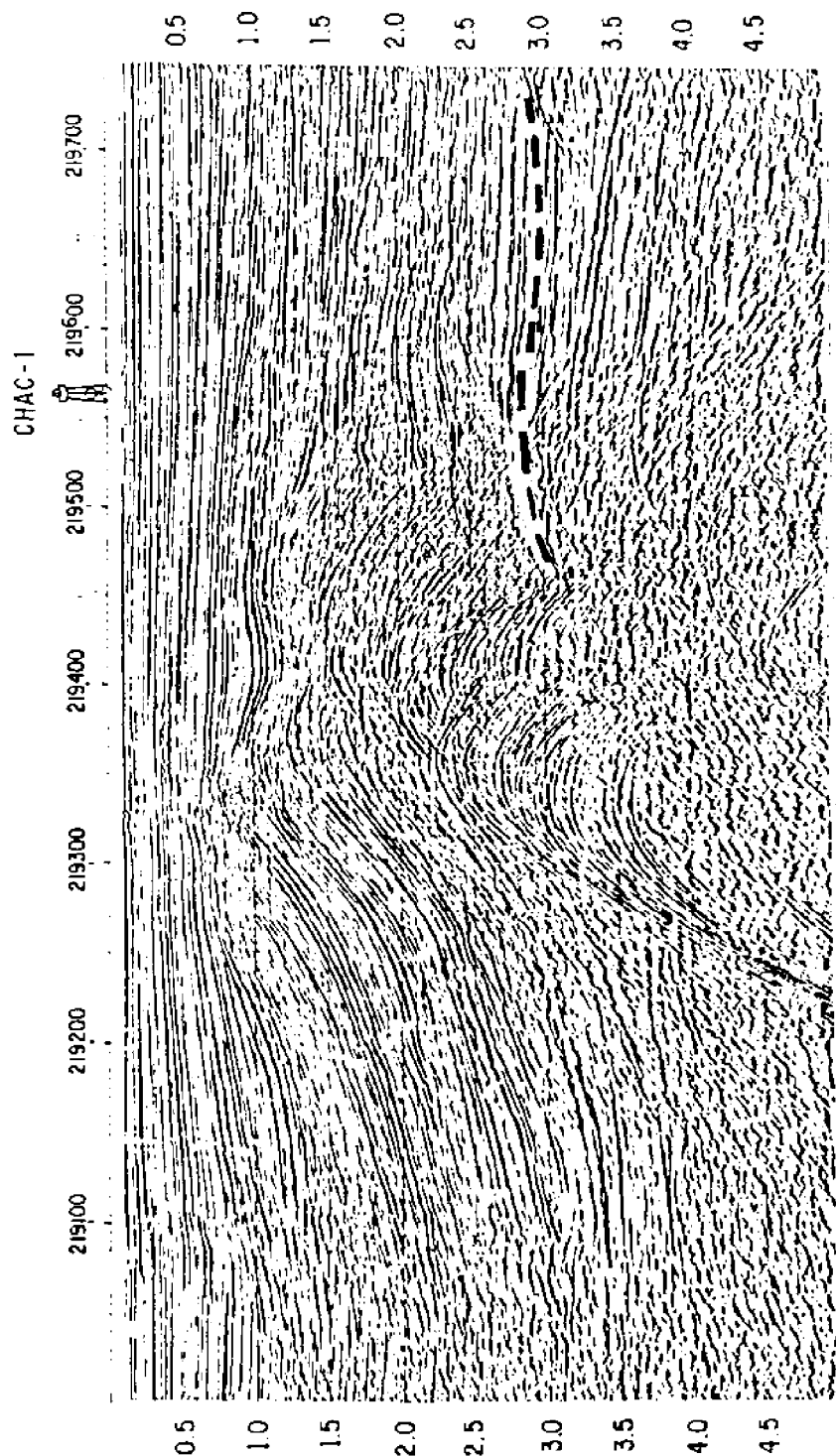


FIGURA 14

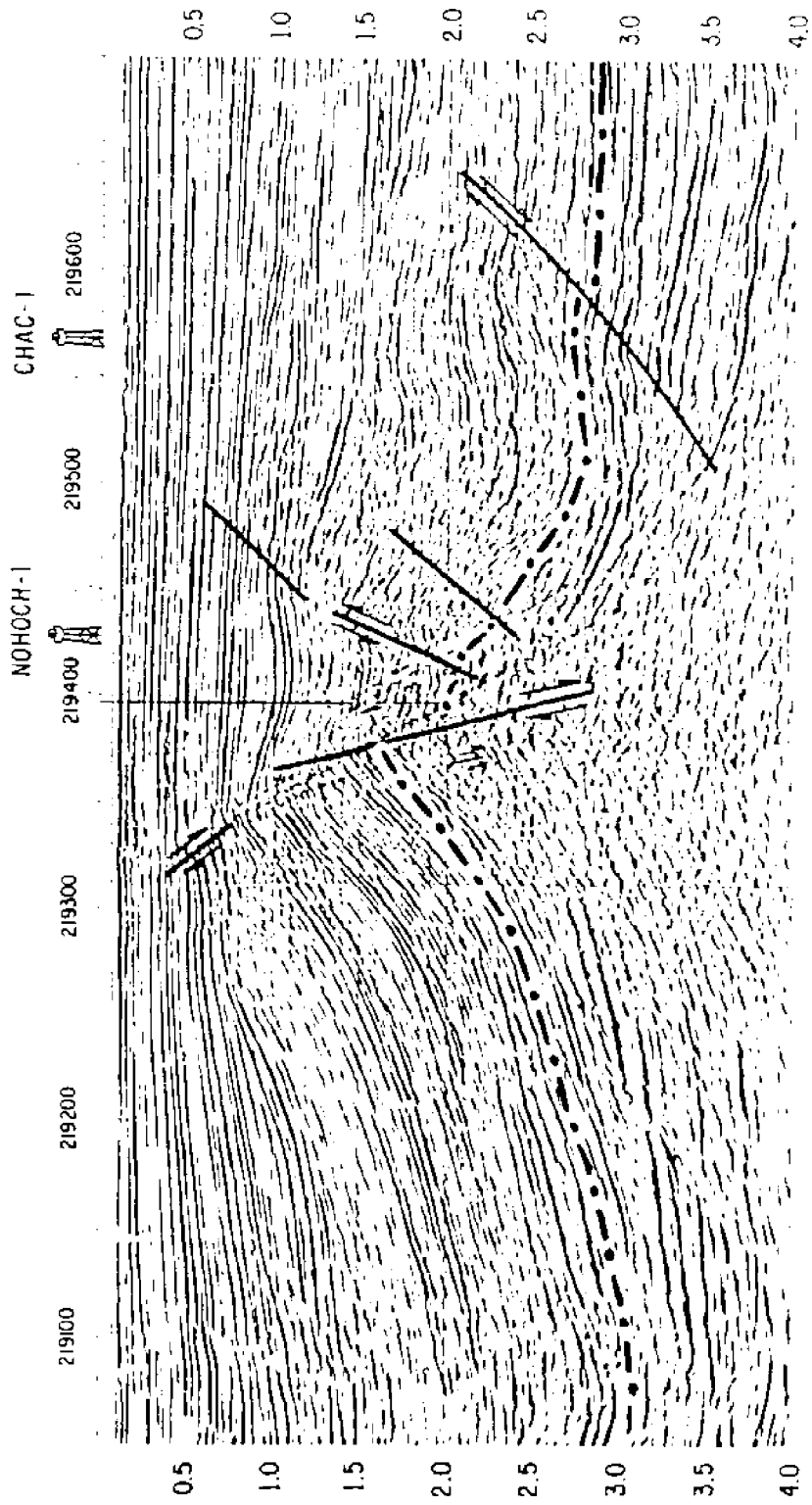
LINEA 1219 SIN MIGRAR



HPR-93

FIGURA 15-A

LINEA 1219 MIGRADA EN 3D



HPR-93

FIGURA 15-B

SECCION APILADA SIN MIGRAR DE LA LINEA 2188

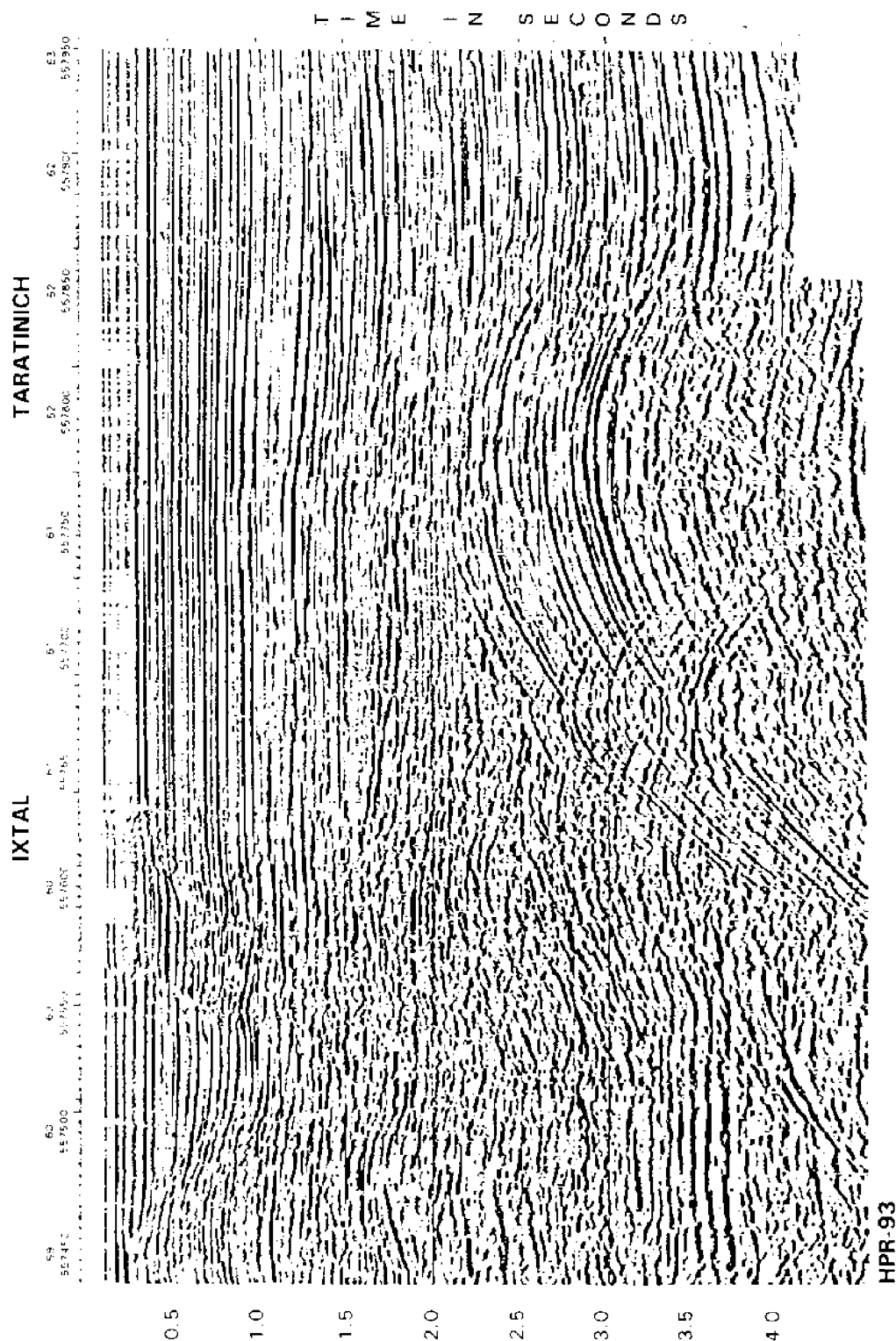
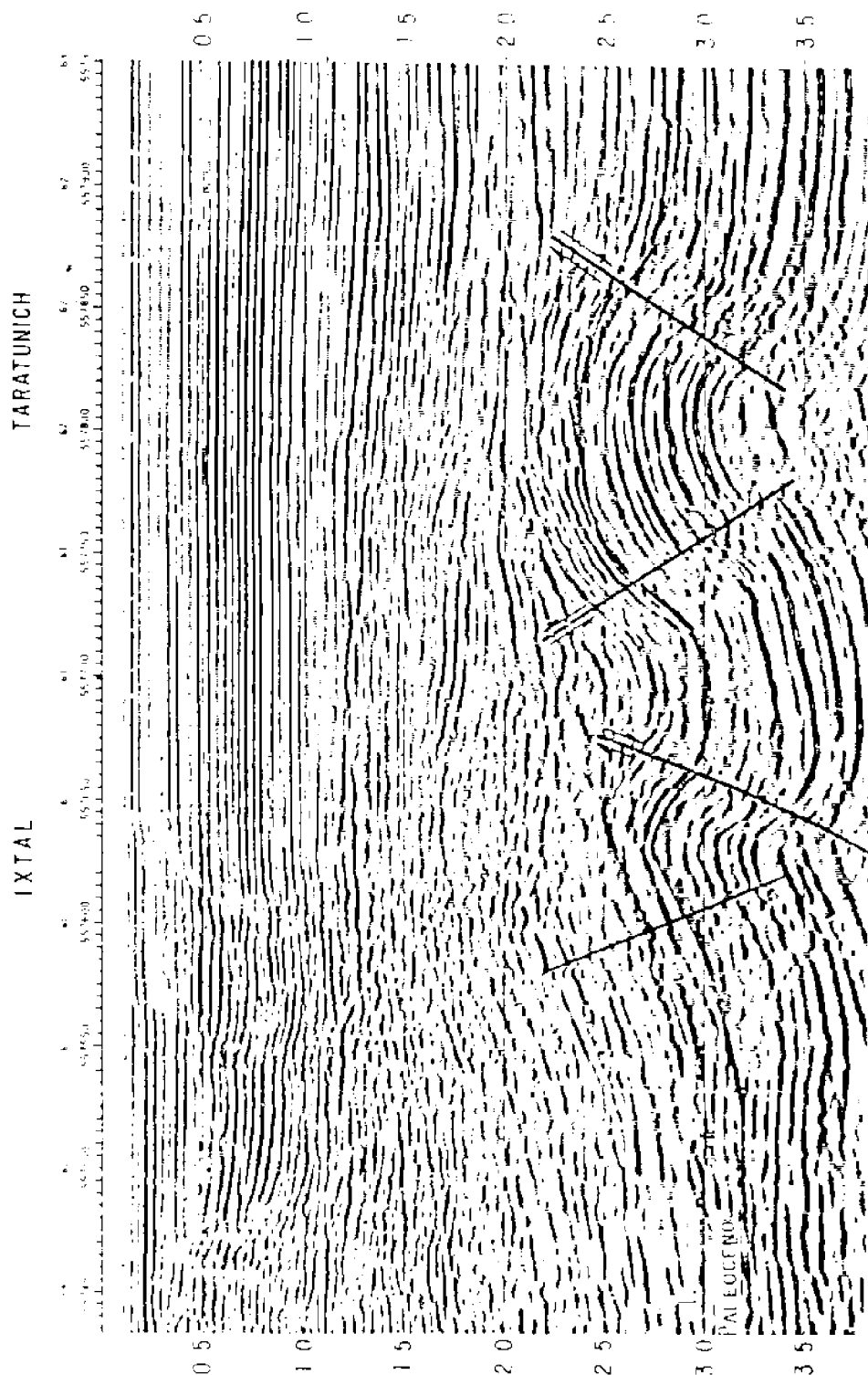


FIGURA 16-A

SECCION MIGRADA DE LA LINEA 2188



HPR-93

FIGURA 16-B

SECCION SISMOLOGICA BIDIMENSIONAL (1972)

LOC. CHUC - 2 CHUC - 1

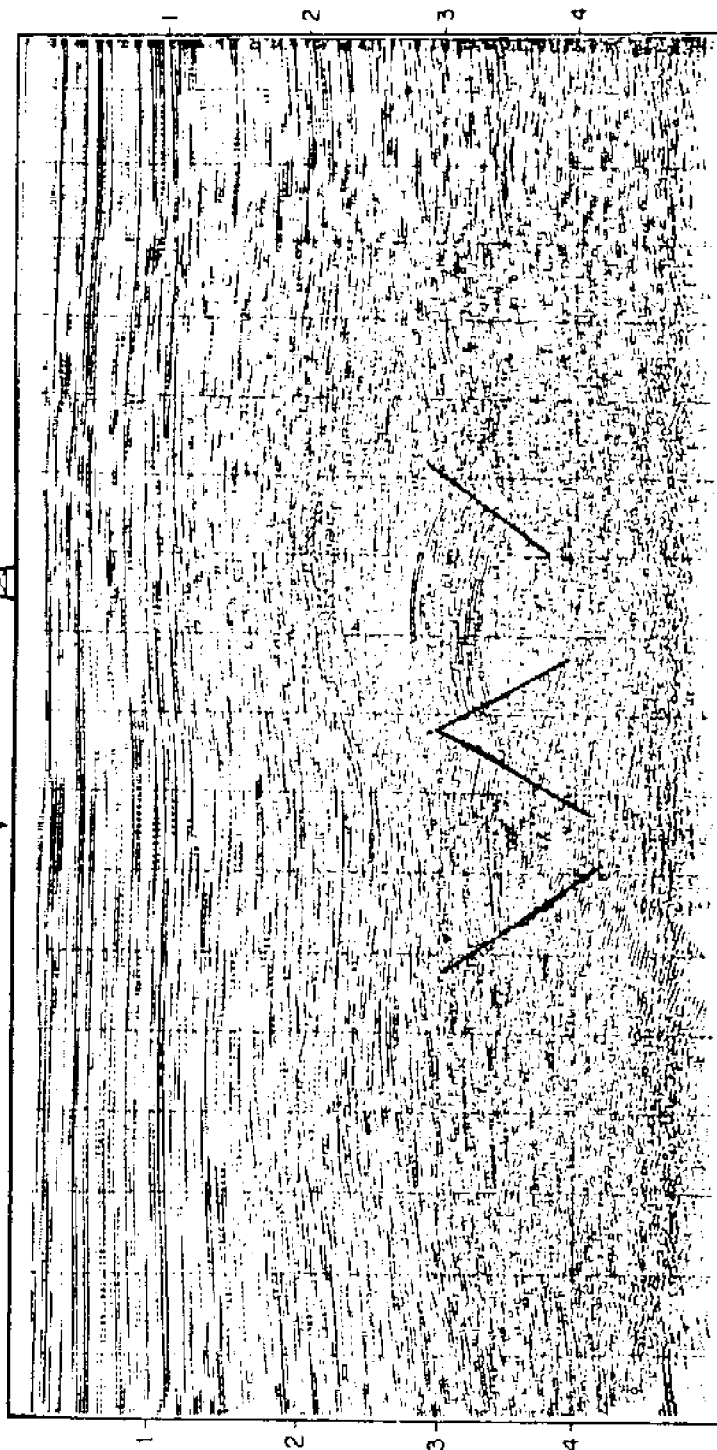


FIGURA 17-A

SECCION SISMOLOGICA BIDIMENSIONAL

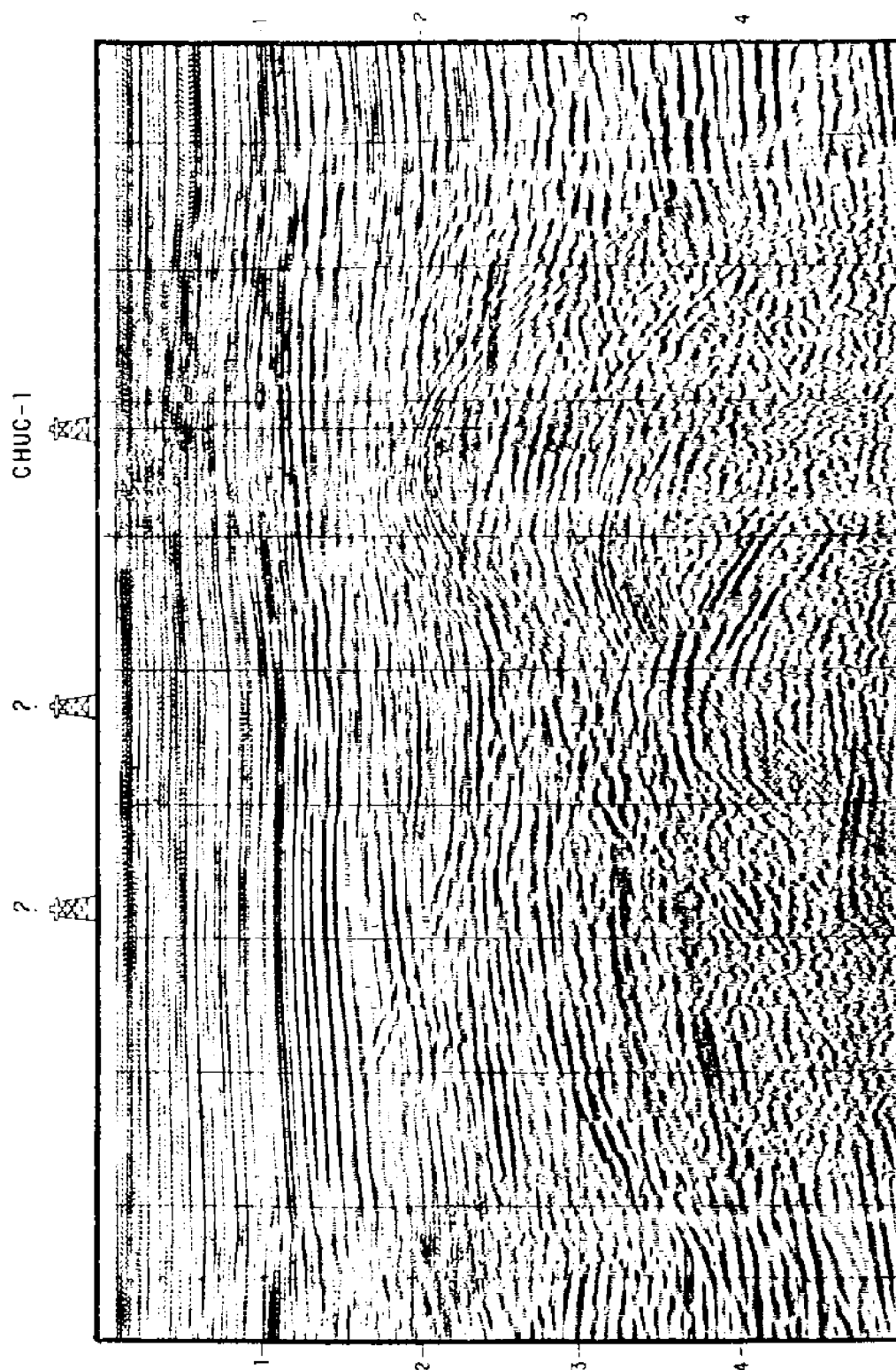


FIGURA 17-B

SECCION SISMOLOGICA TRIDIMENSIONAL

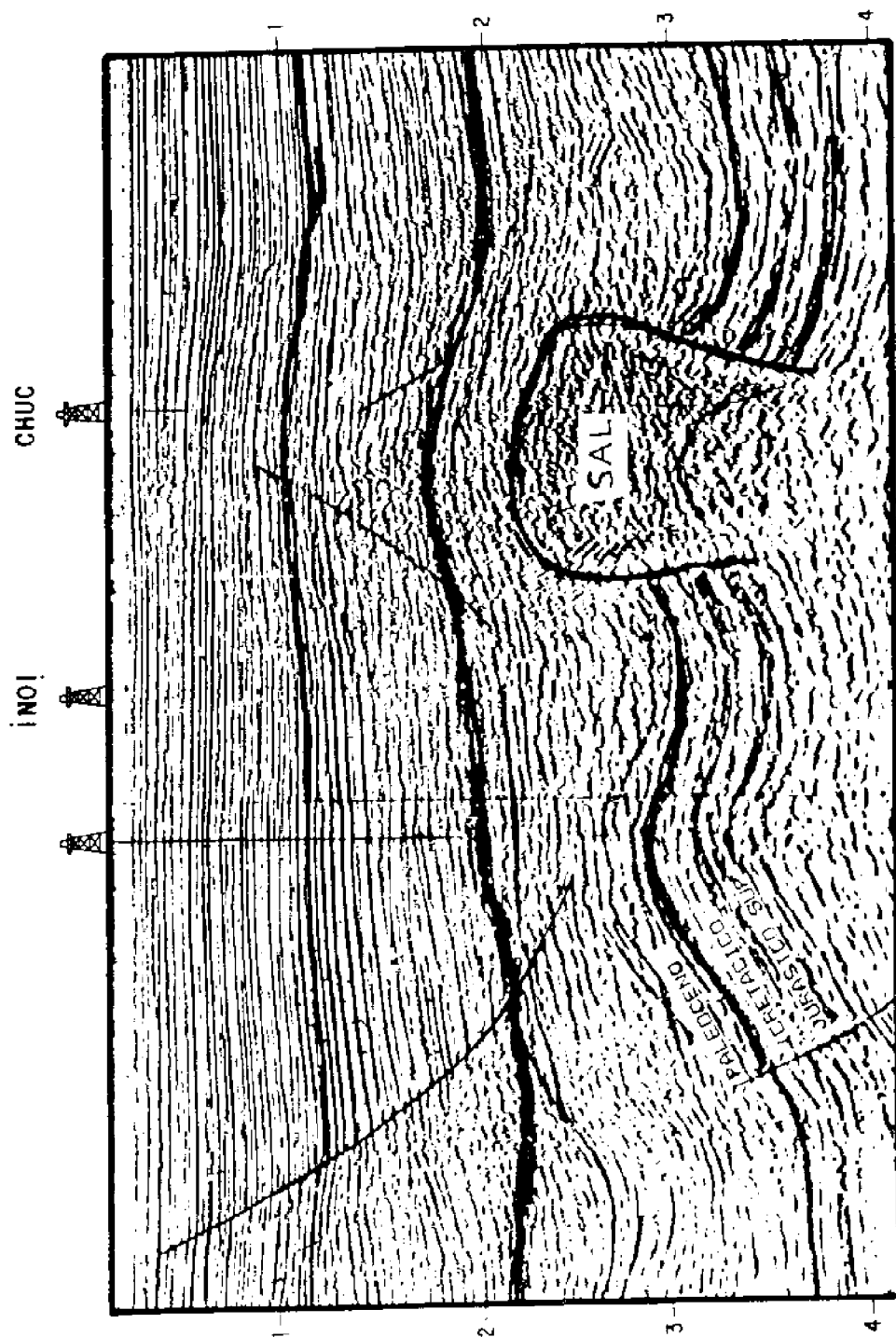
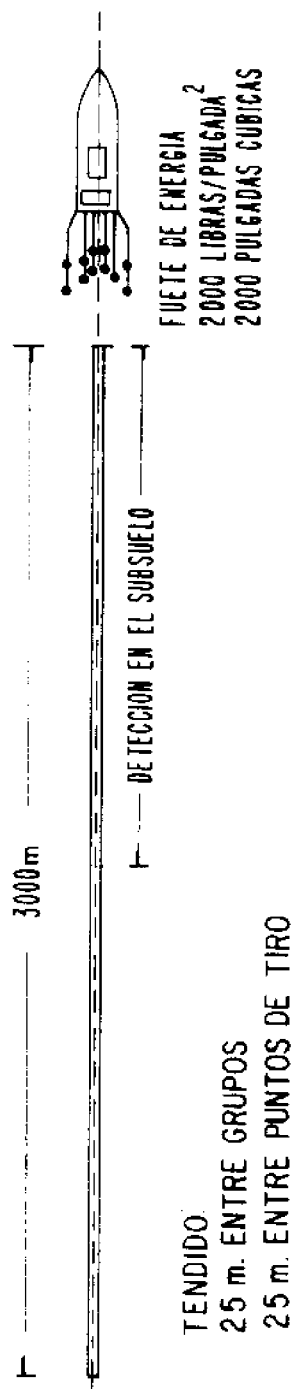


FIGURA 17-C

OPERACION SISMOLOGICA CON UN CABLE CON 120 CANALES SISMICOS



HPR

FIGURA 18

43

VISTA ISOMETRICA DEL HORIZONTE CRETACICO SUPERIOR

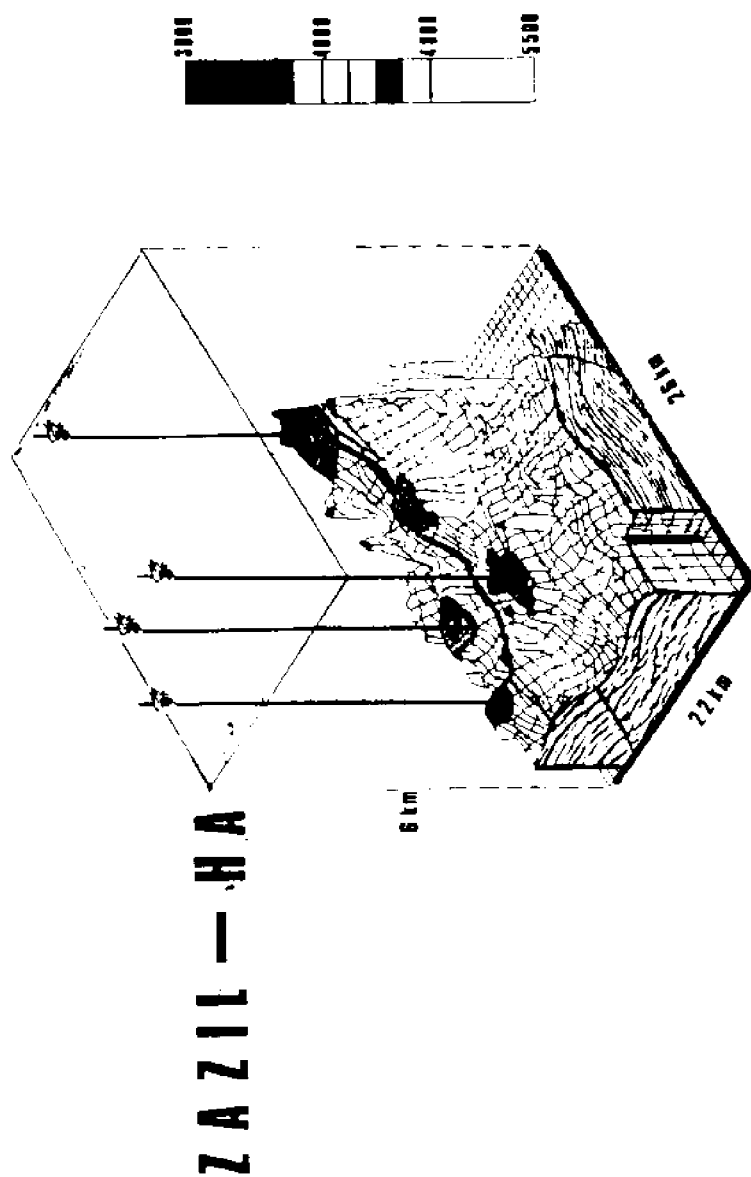
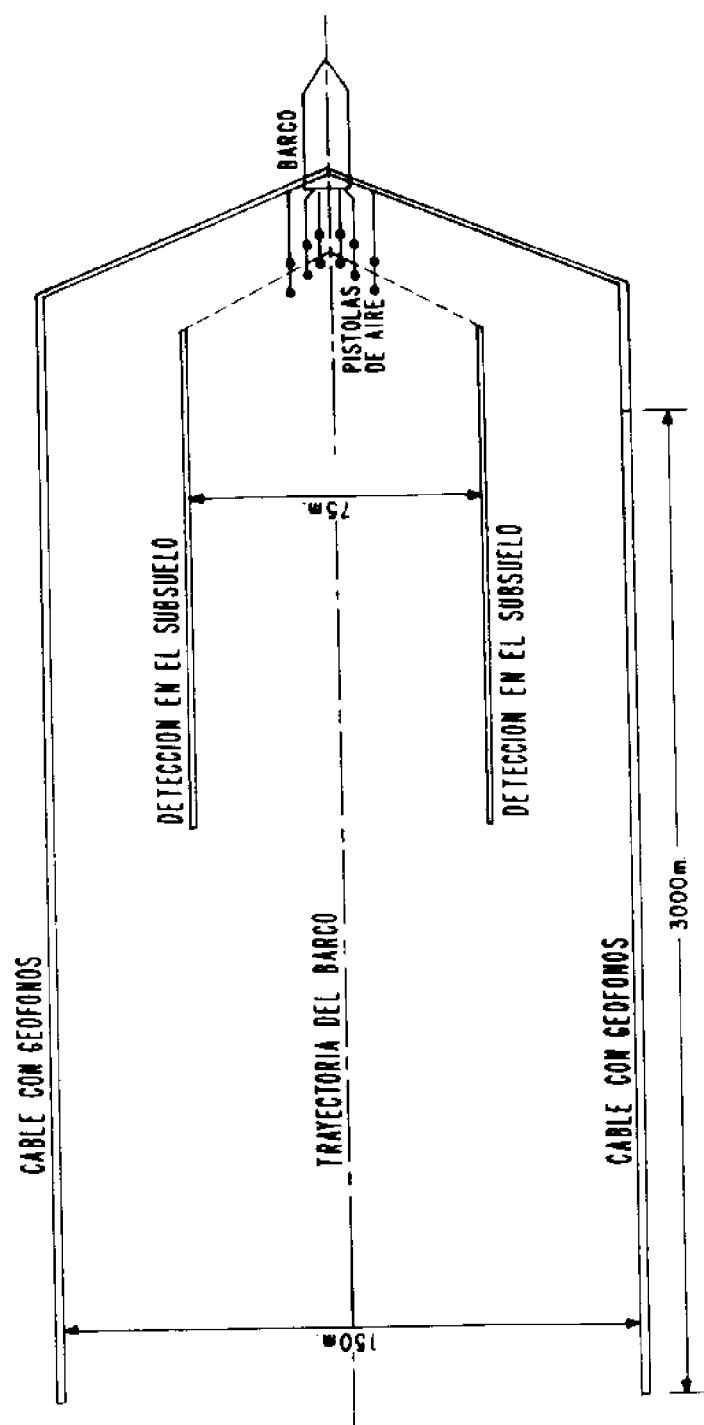


FIGURA 19-B

OPERACION SISMOLOGICA CON DOS CABLES DE GEOFONOS



HPR

FIGURA 20

CRETACICO MEDIO

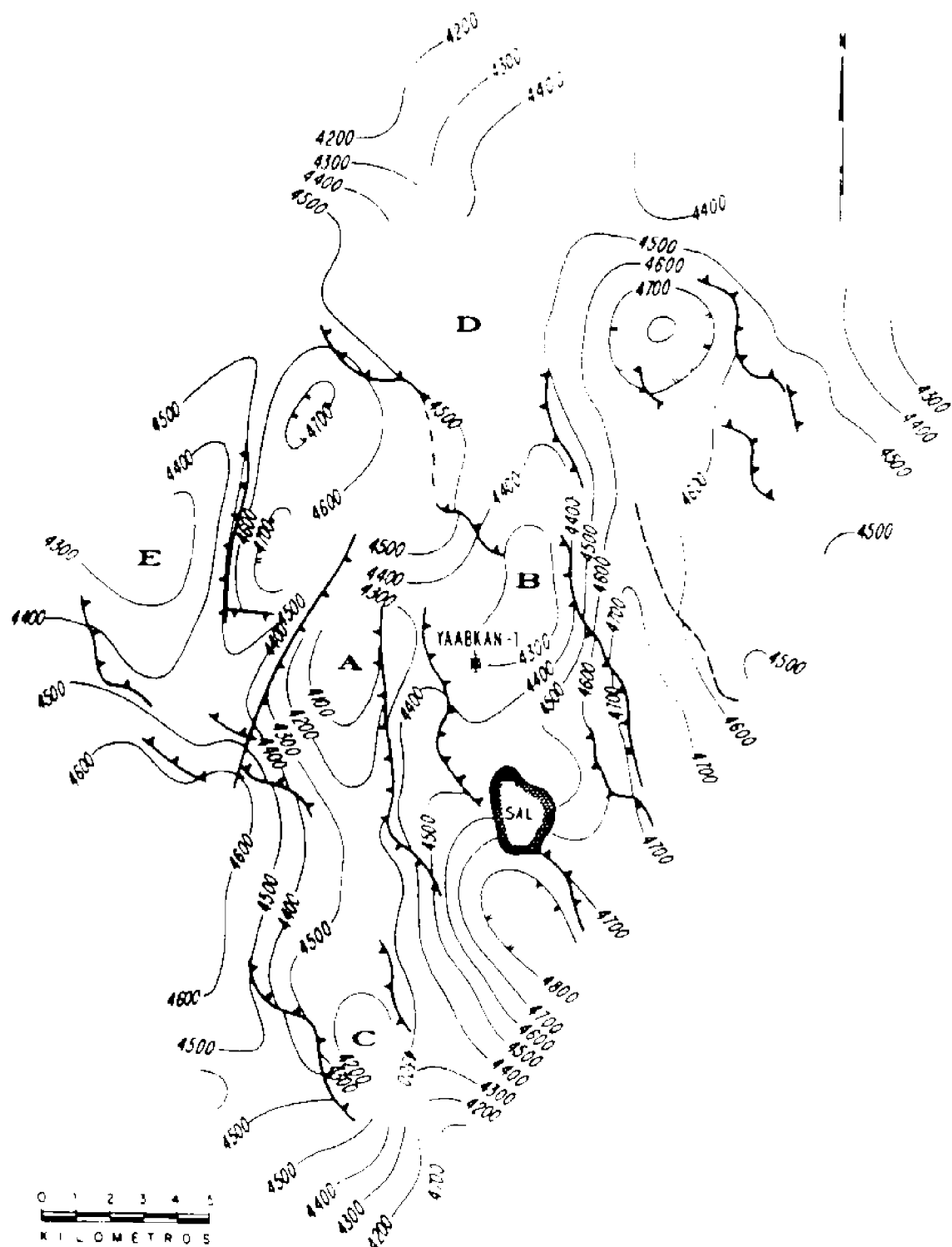


FIGURA 21

SECCION SISMOLOGICA DE LA LINEA 210 (YAABKAN)



FIGURA 22

JURASICO SUPERIOR TITHONIANO

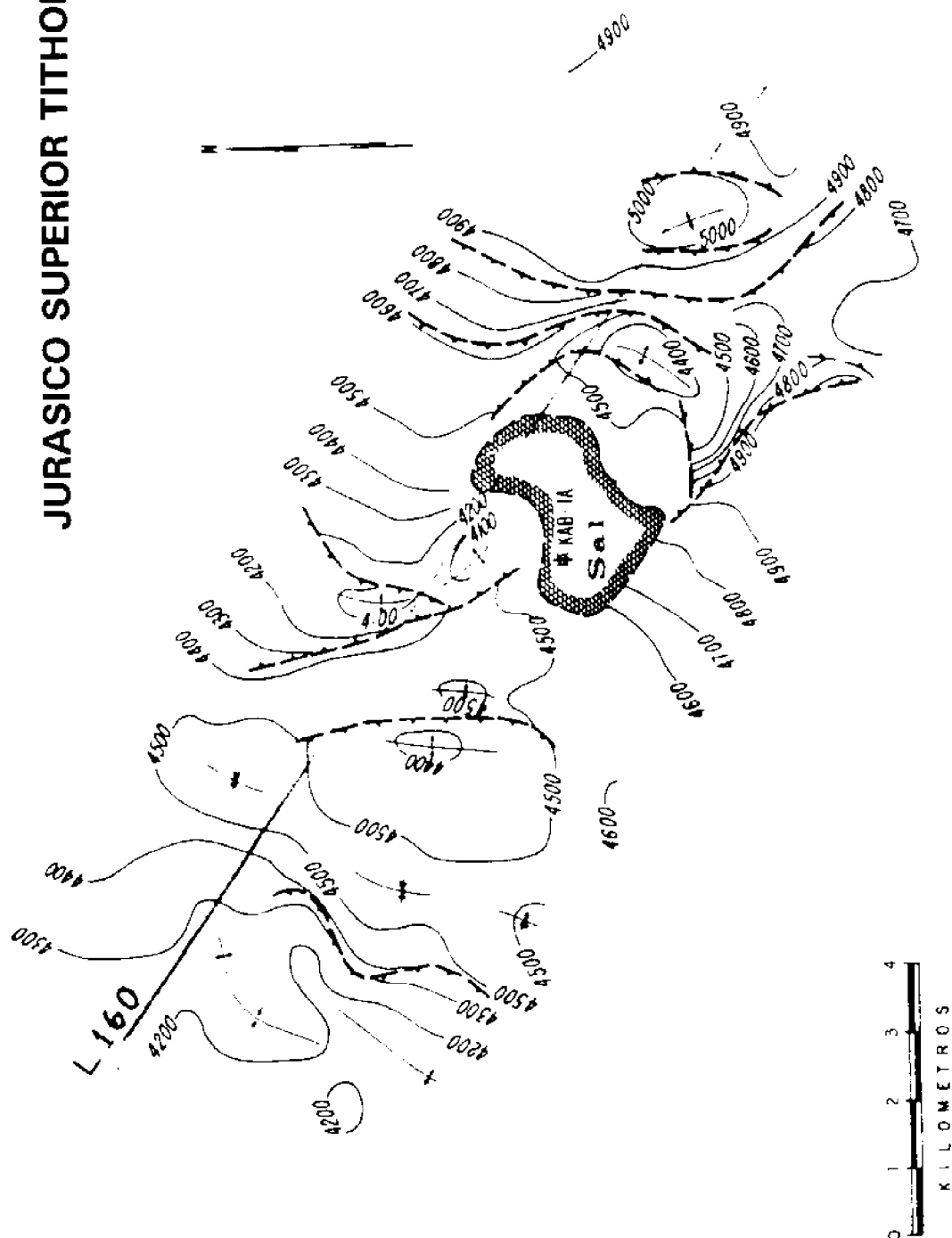


FIGURA 23

KAB SISMOLOGIA 3-D

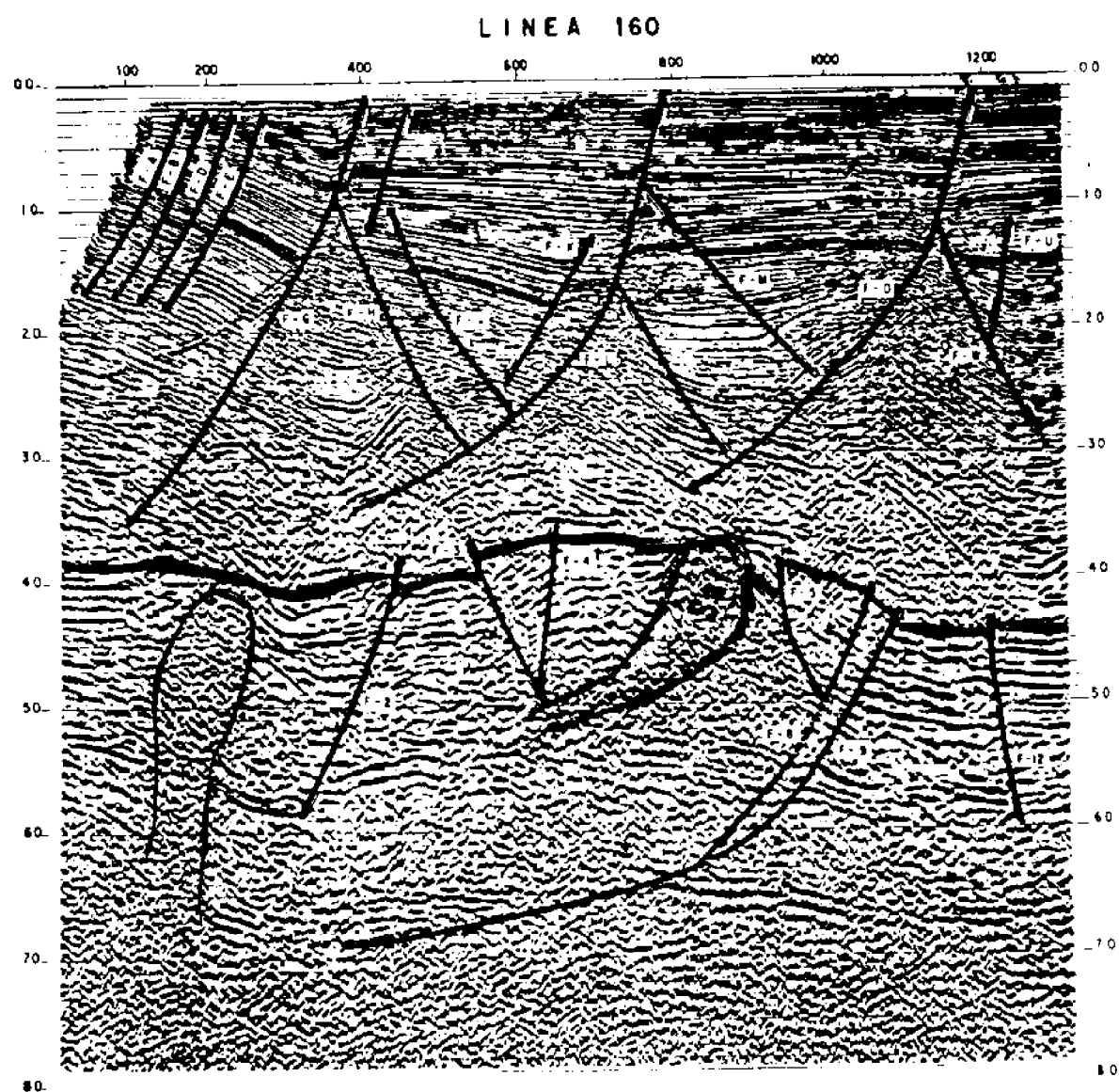


FIGURA 24

CRETACICO SUPERIOR

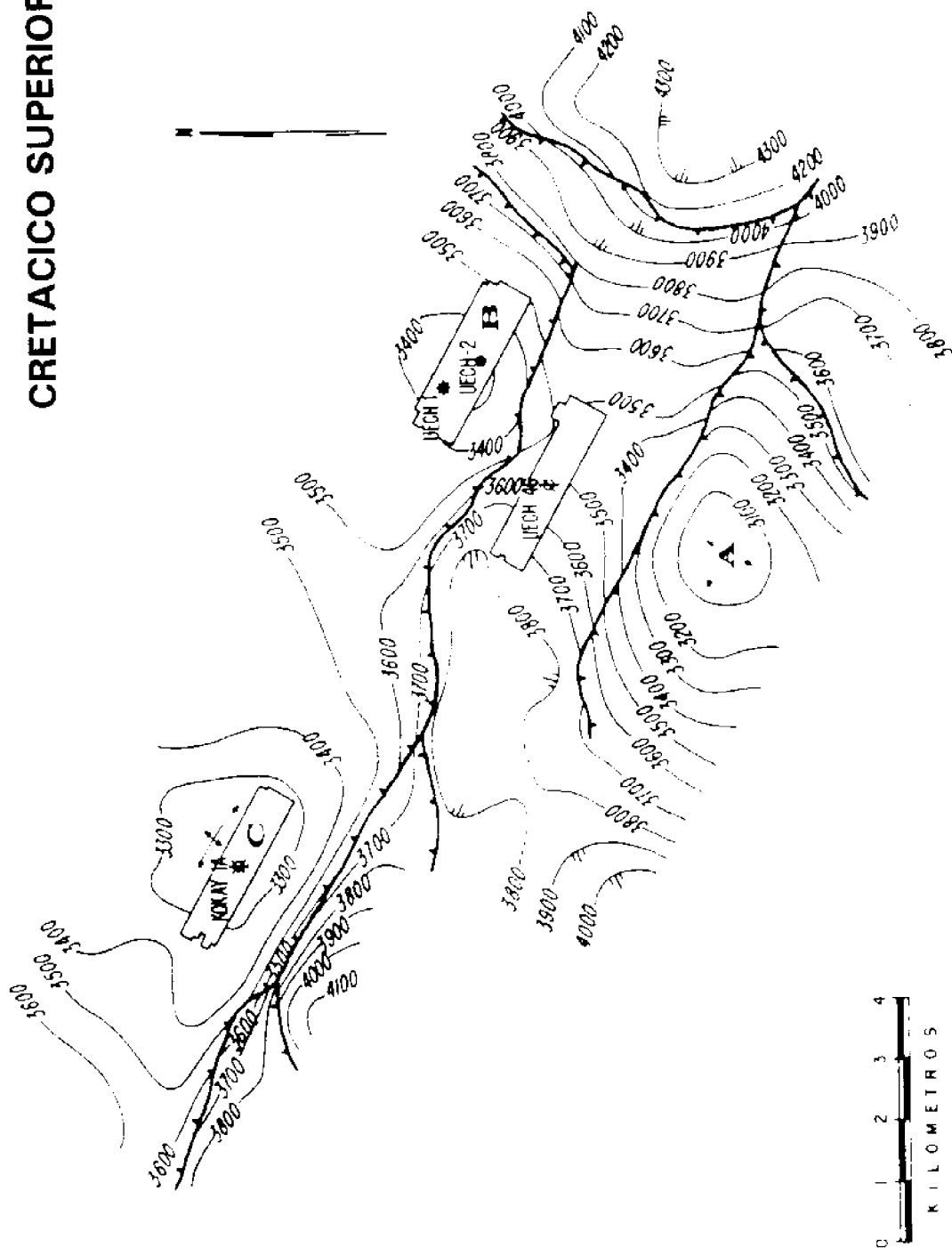


FIGURA 25-A

VISTA EN PLANTA
HORIZONTE CRETACICO SUPERIOR
AREA SONDA DE CAMPECHE
PROSPECTO UECH-KOKAY

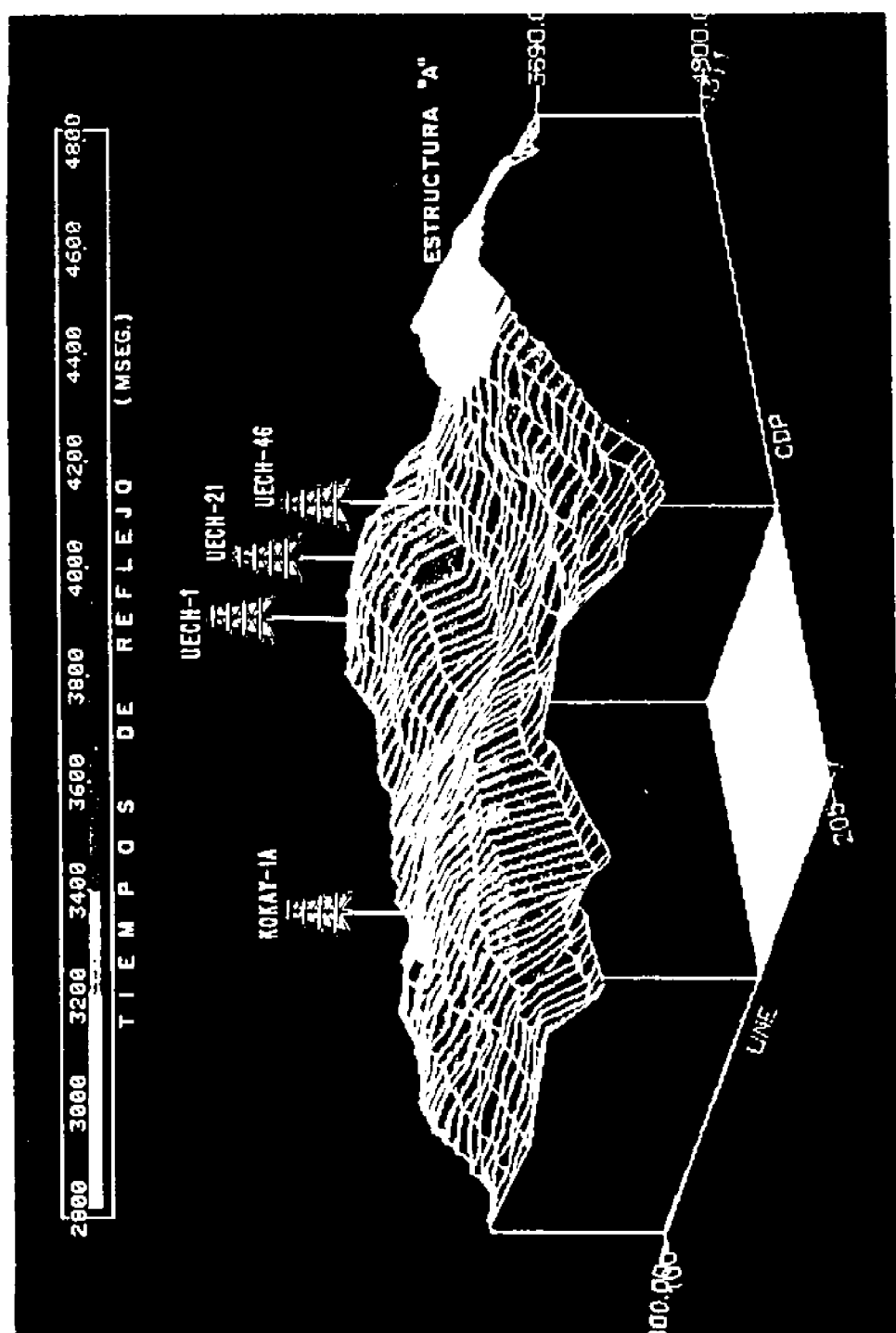


FIGURA 25-B

**VISTA EN PLANTA
HORIZONTE JURASICO TITHONIANO
AREA SONDA DE CAMPECHE
PROSPECTO UECH-KOKAY**

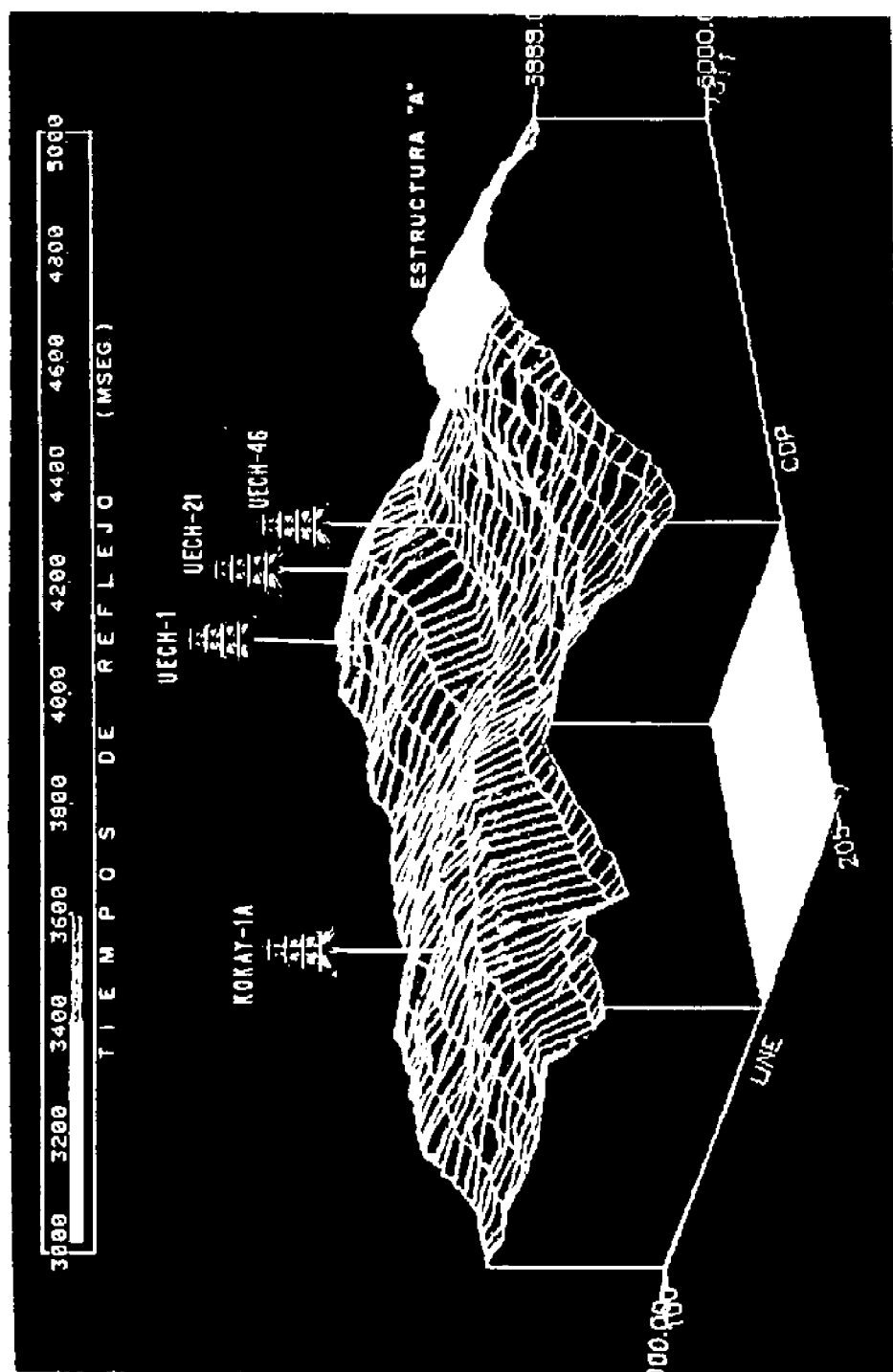
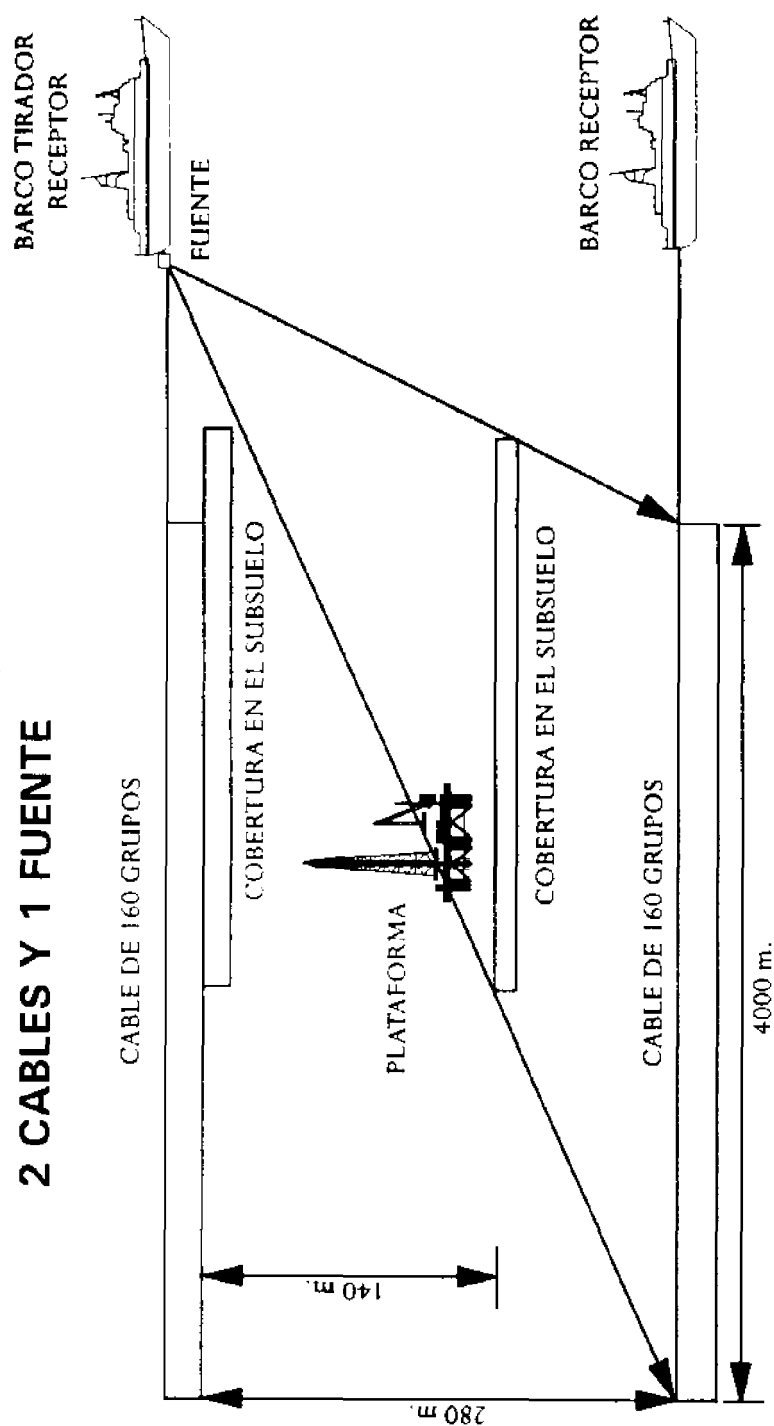


FIGURA 26

OPERACION CON 2 BARCOS 2 CABLES Y 1 FUENTE



DISTANCIA ENTRE GRUPOS 25m. APILAMIENTO 8000%
DISTANCIA ENTRE PTS. 25 m.

FUENTE DE ENERGIA: 24 PISTOLAS 6000 pulg 3 DE VOLUMEN
Y 2500 PSI.

FIGURA 27-A

VISTA TRANSVERSAL DE OPERACION CON DOS BARCOS RECUPERANDO INFORMACION ABAJO DE PLATAFORMA

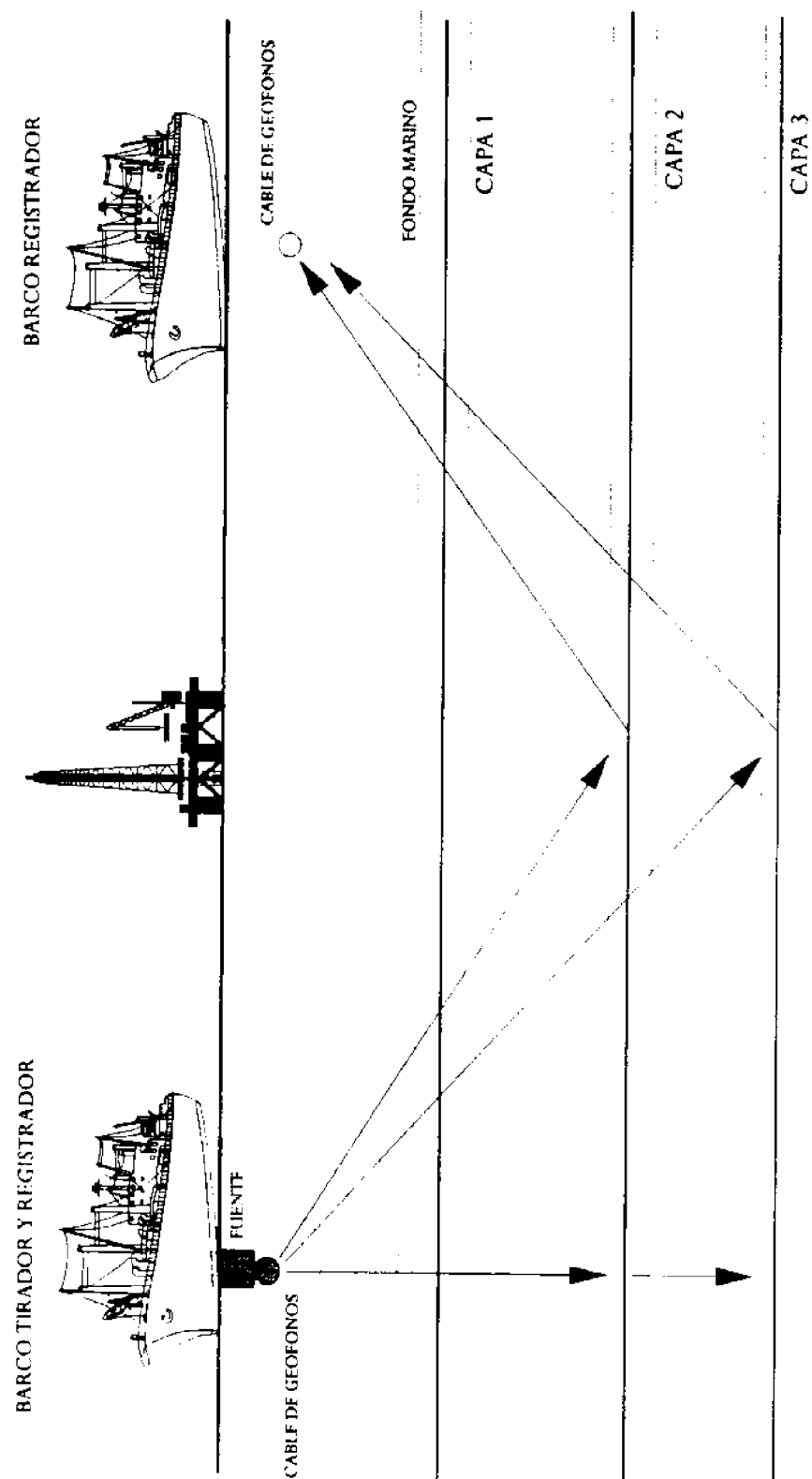


FIGURA 27-B

**PLANO DE UBICACION DEL
PROSPECTO TRIDIMENSIONAL YUM**

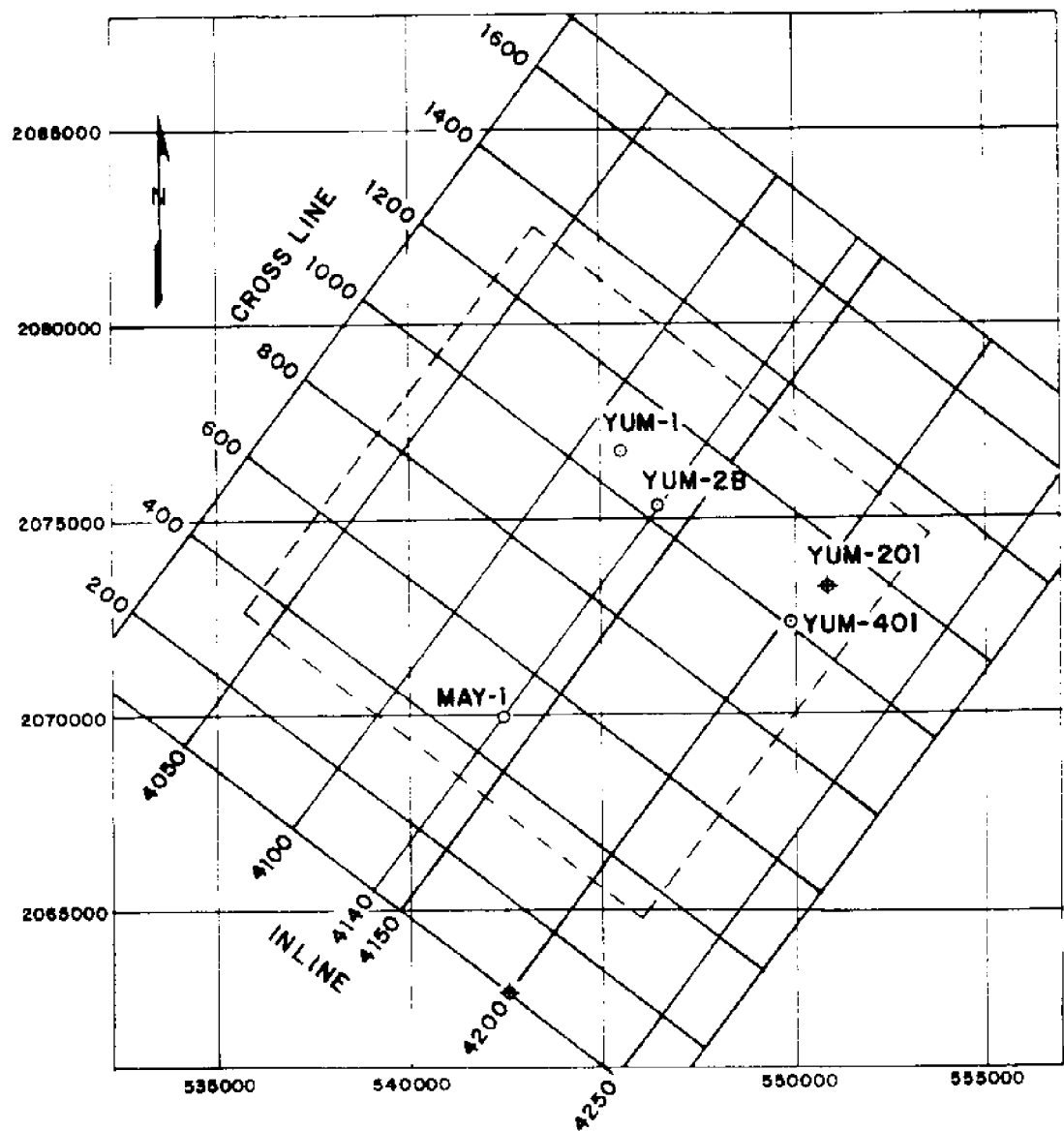
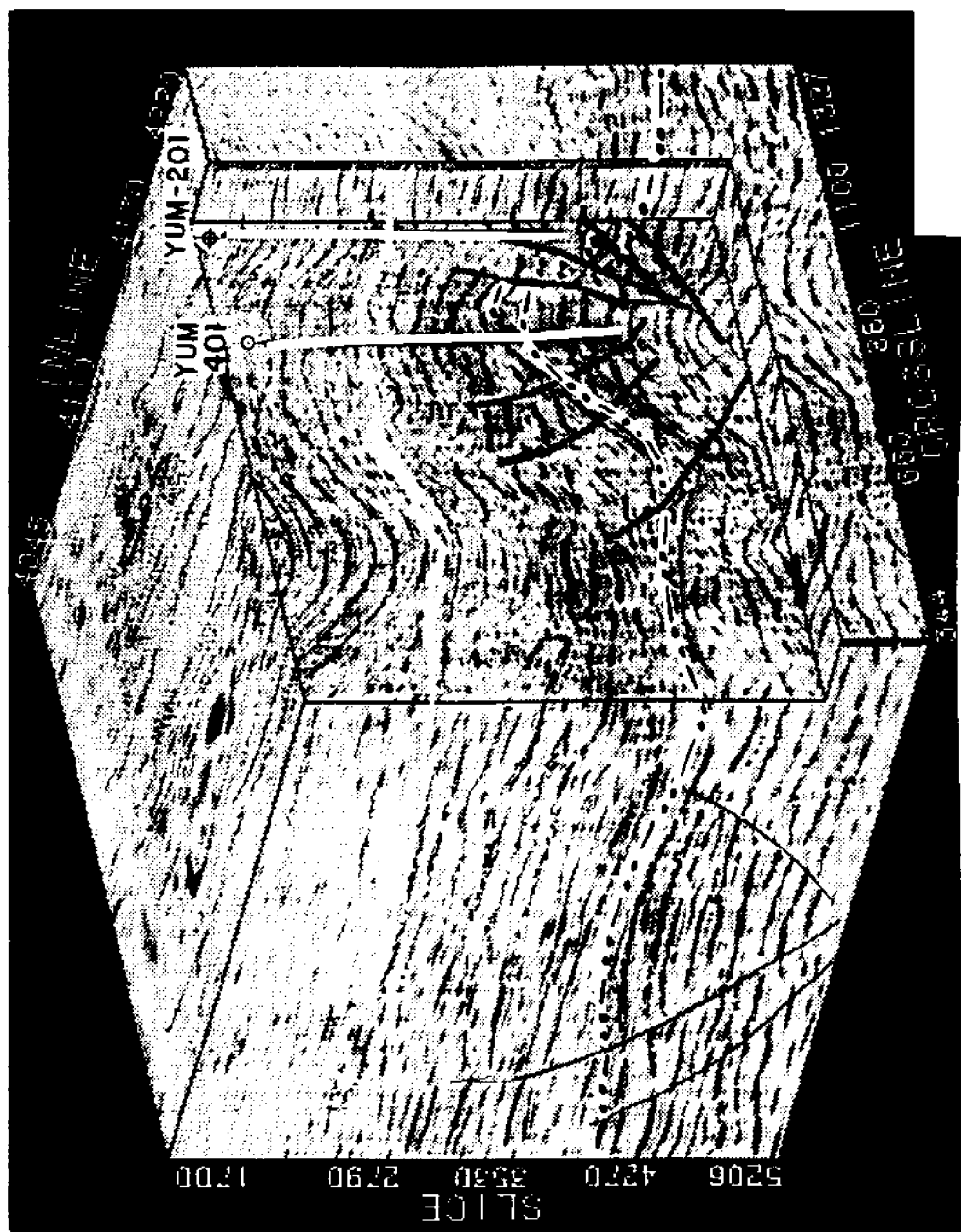


FIGURA 28-A

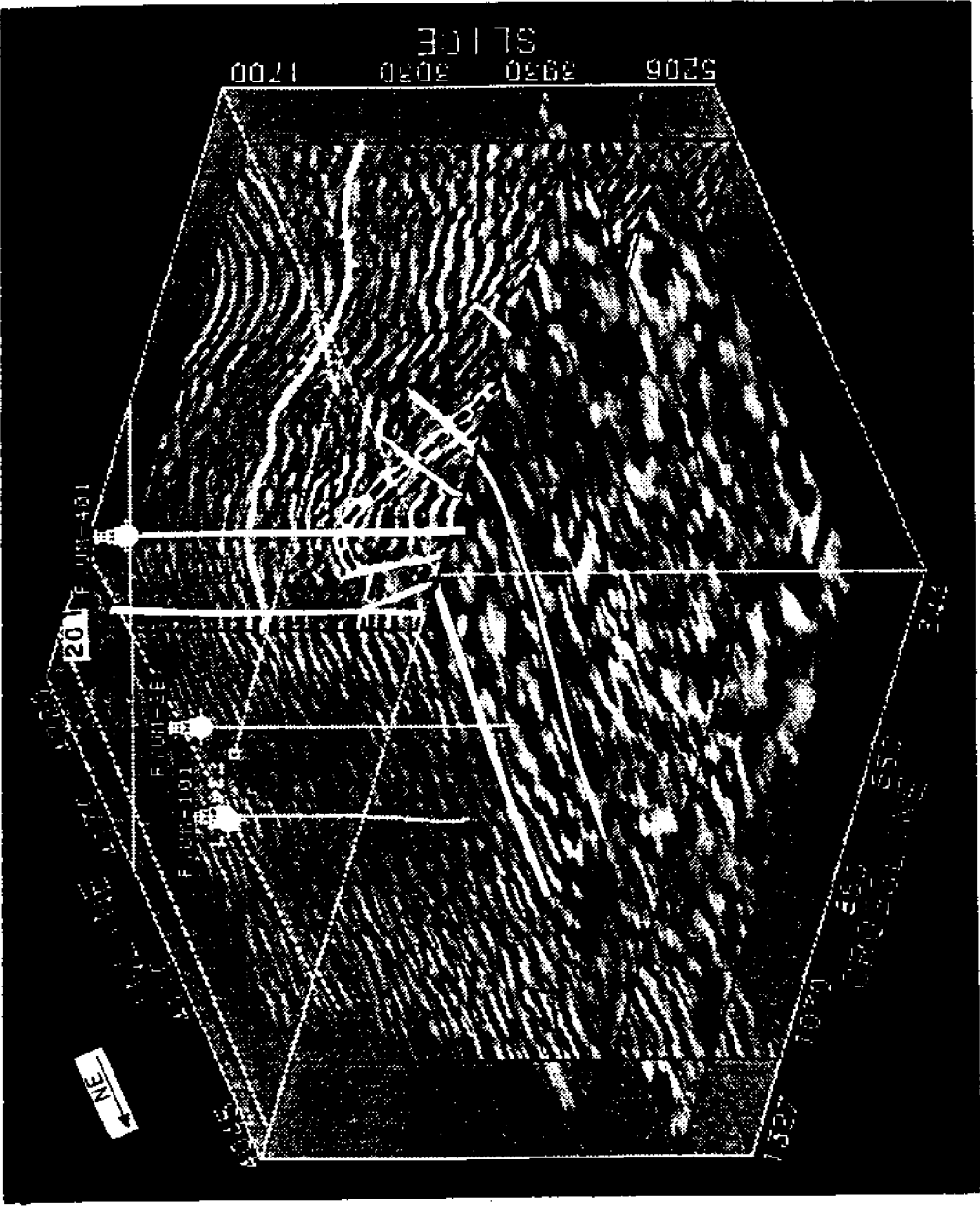
VISTA EN PERSPECTIVA DE LA LINEA 4220 DEL
PROSPECTO YUM



HPR-93

FIGURA 28-B

VISTA EN PERSPECTIVA DE LA LINEA 4220 DEL
PROSPECTO YUM



HPR-93

FIGURA 28-C

SECCION SISMICA TRIDIMENSIONAL DE LA LINEA 4140 DEL PROSPECTO YUM

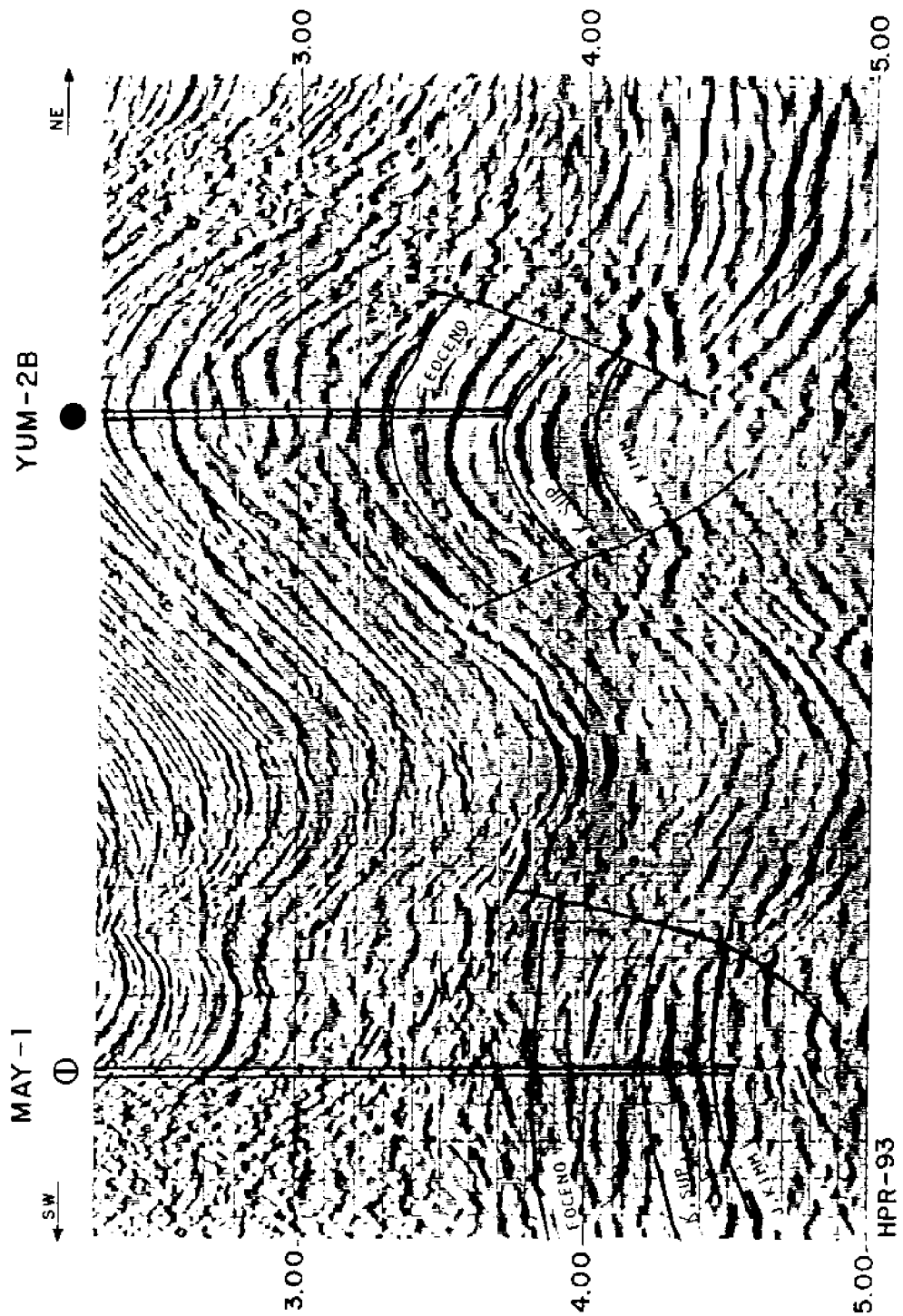
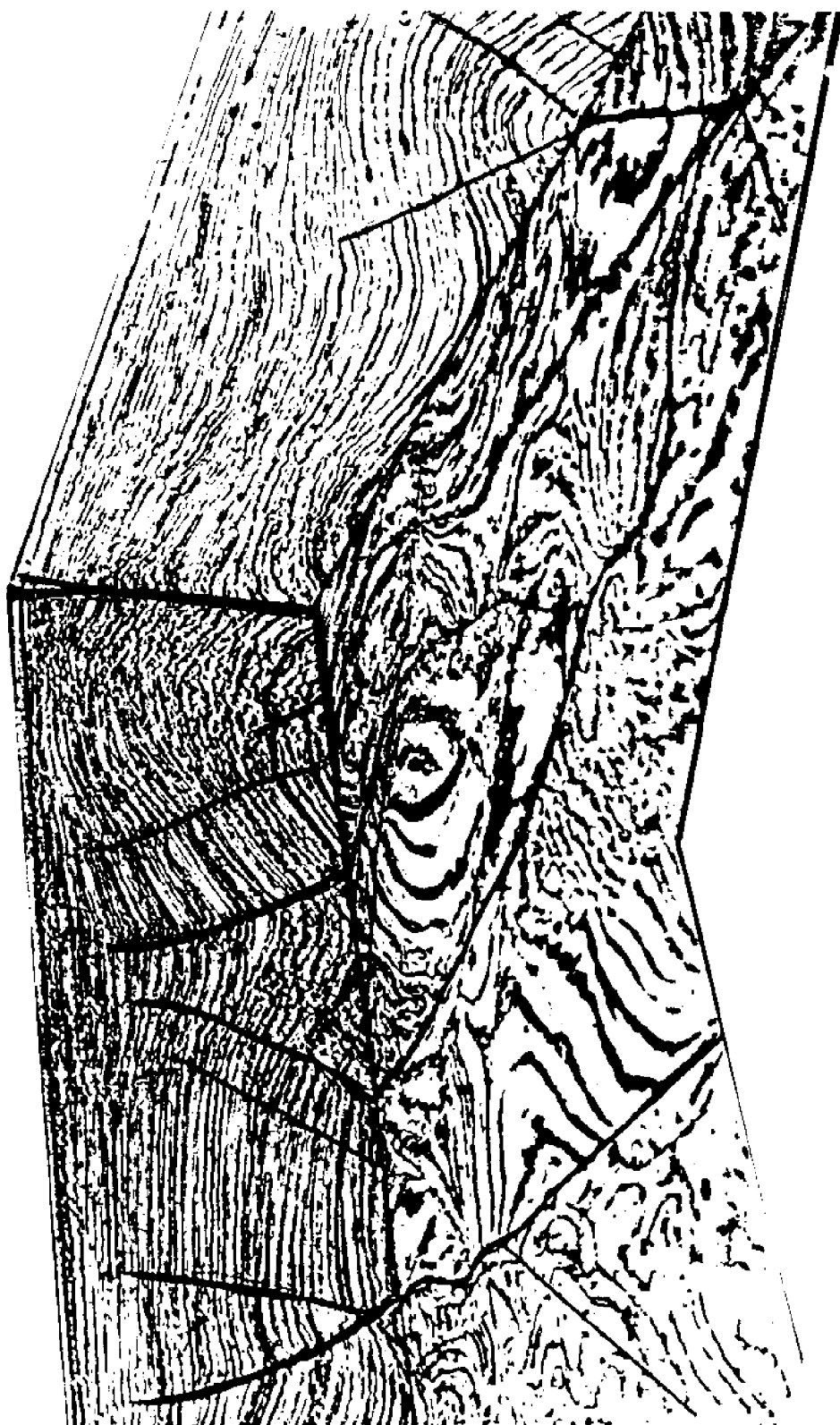


FIGURA 29

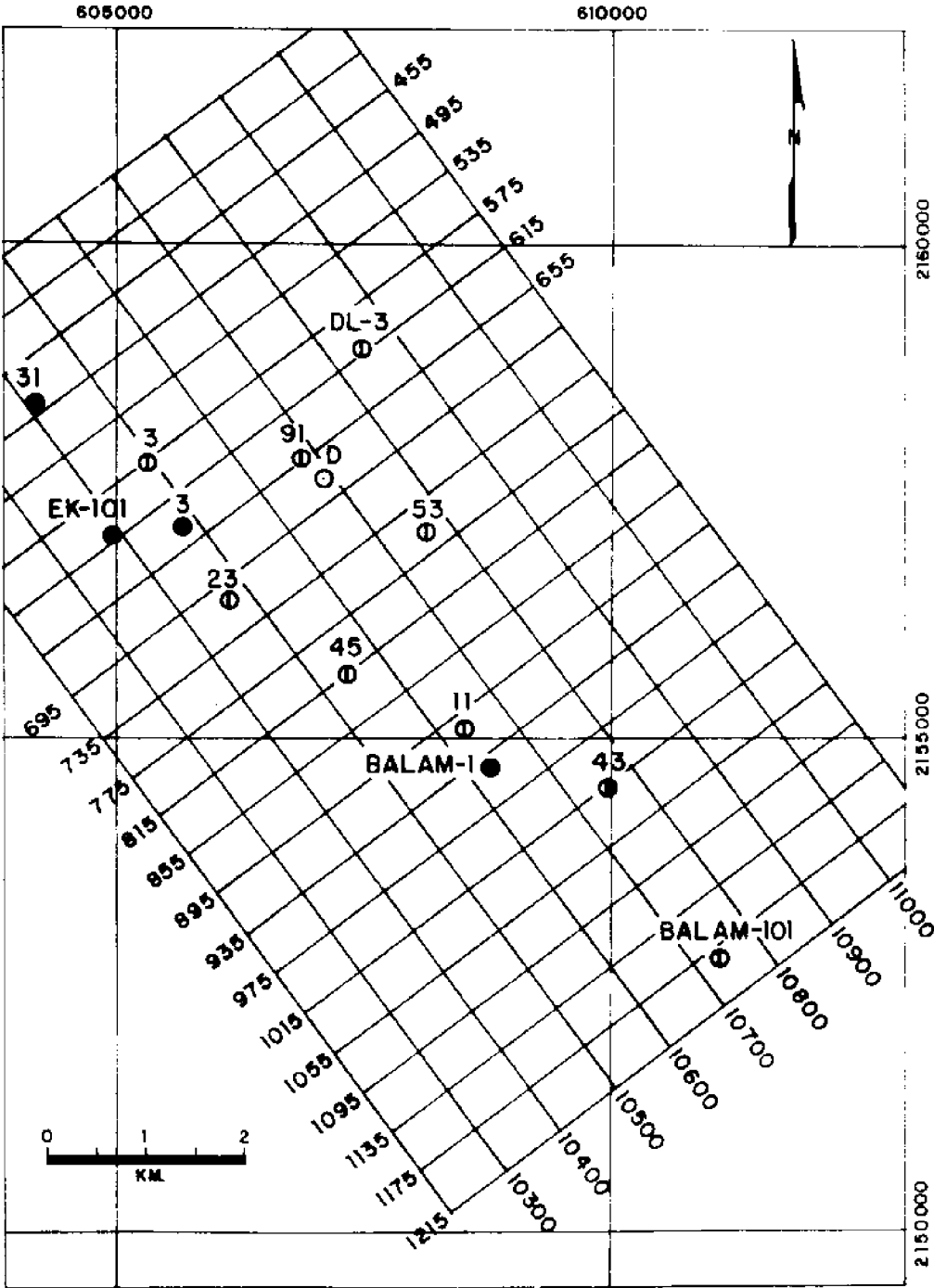
VISTA ISOMETRICA EN EL PROSPECTO YAABKAN



HPR - 93

FIGURA 30

PLANO DEL PROYECTO EK-BALAM



HPR-93

FIGURA 31-A

LINEA CL-815 DEL PROSPECTO TRIDIMENSIONAL EK BALAM

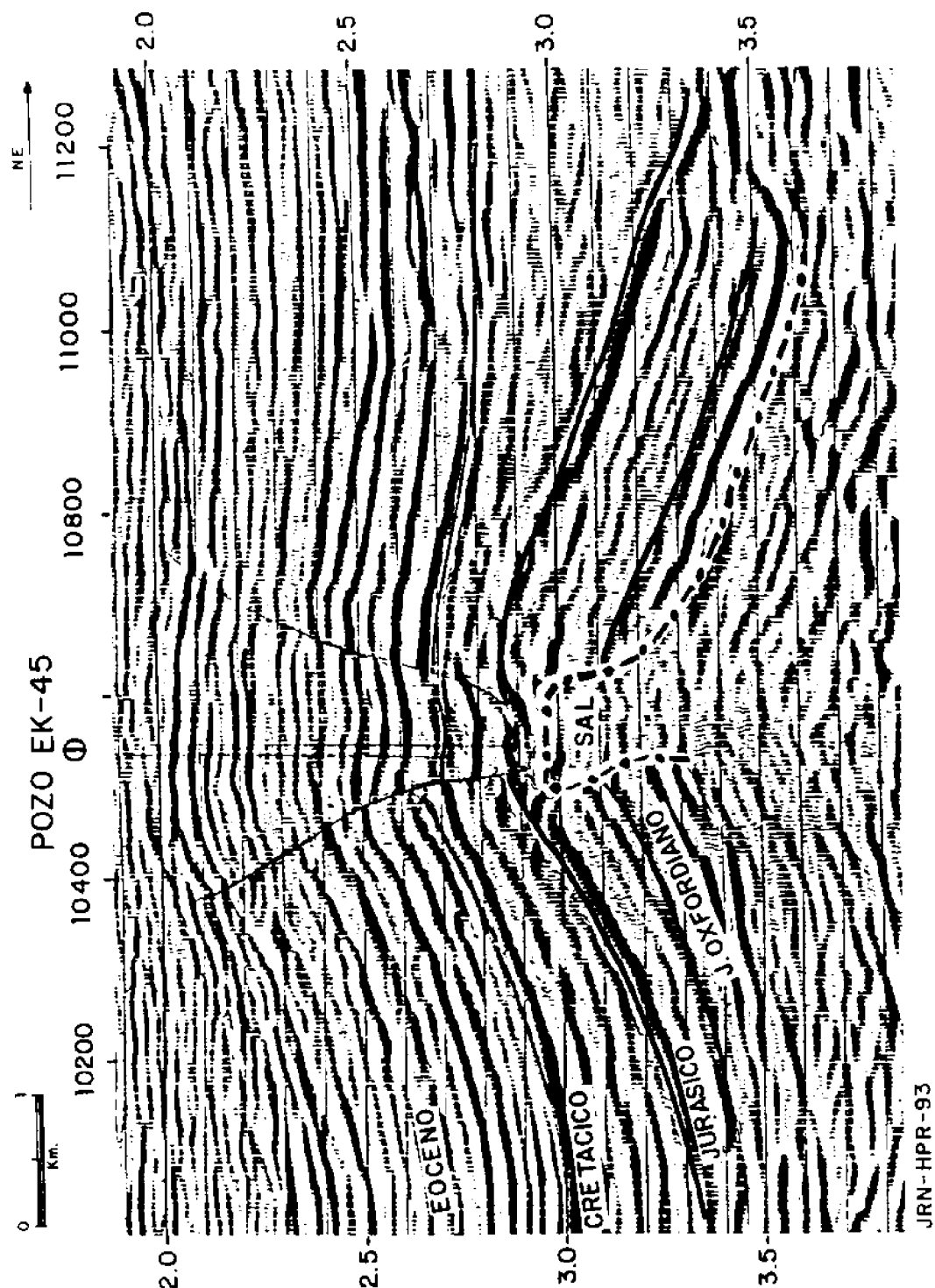
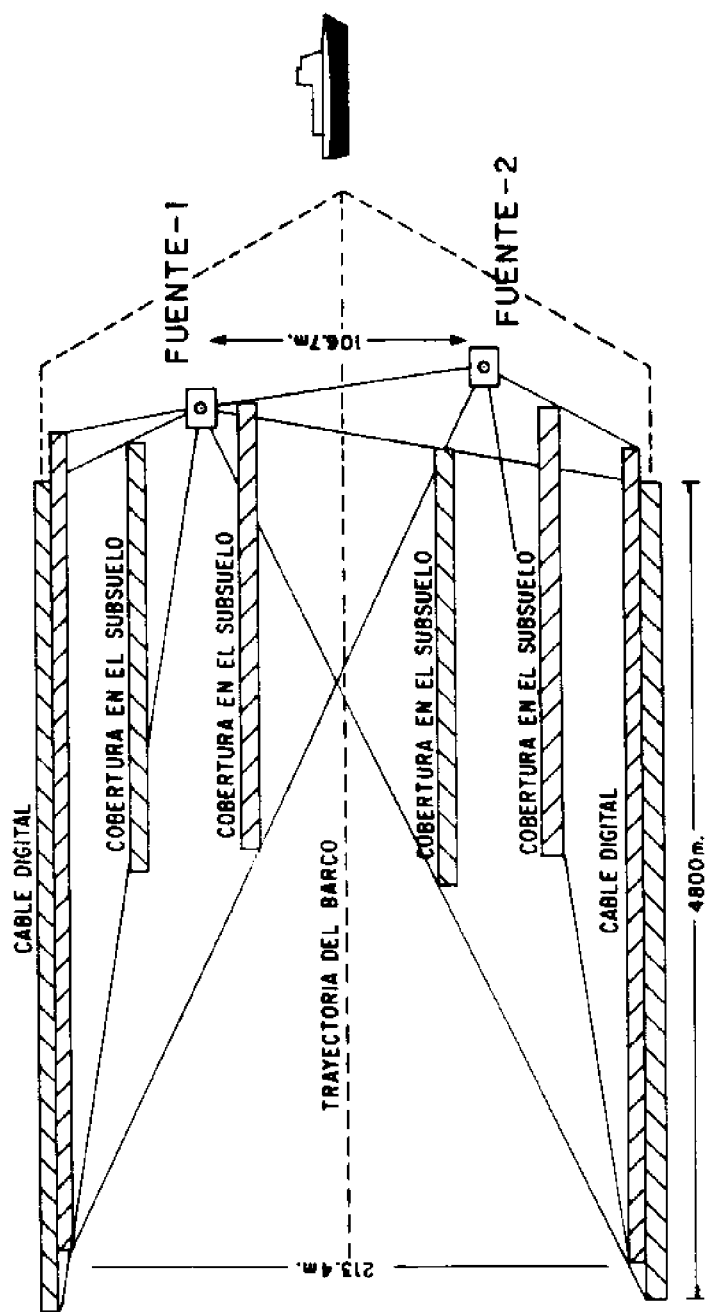


FIGURA 31-B

OPERACION CON 1 BARCO 2 CABLES Y 2 FUENTES

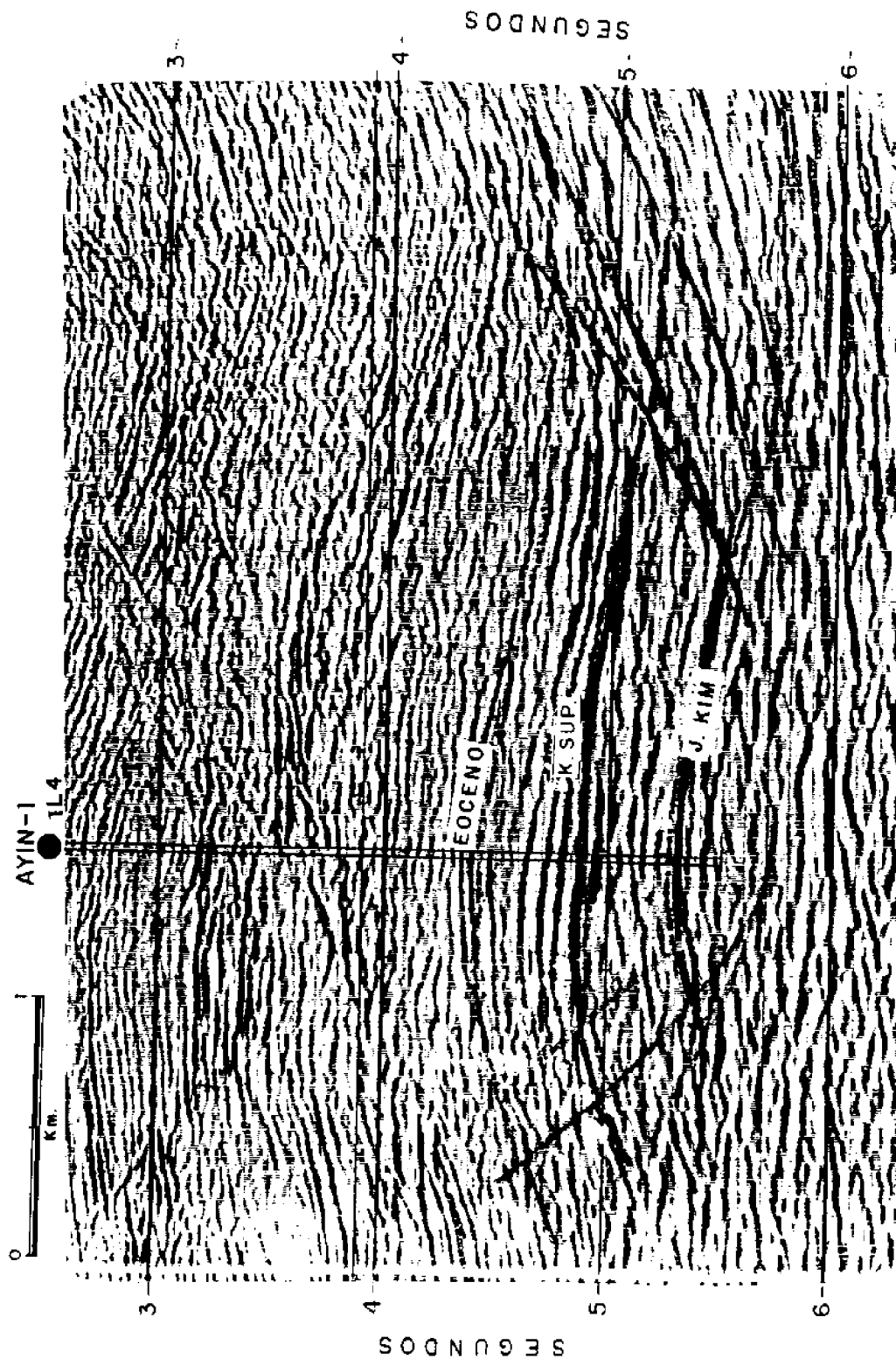


180 GRUPOS POR CABLE
26.7m. ENTRE GRUPOS

HPR-93

FIGURA 32-B

LINEA 1 DEL POZO AYIN 1
TIRADO CON DOS BARCOS (1992)



HPR 92

FIGURA 33-A

LINEA 4 DEL POZO AYIN 1 TIRADO CON DOS BARCOS (1992)

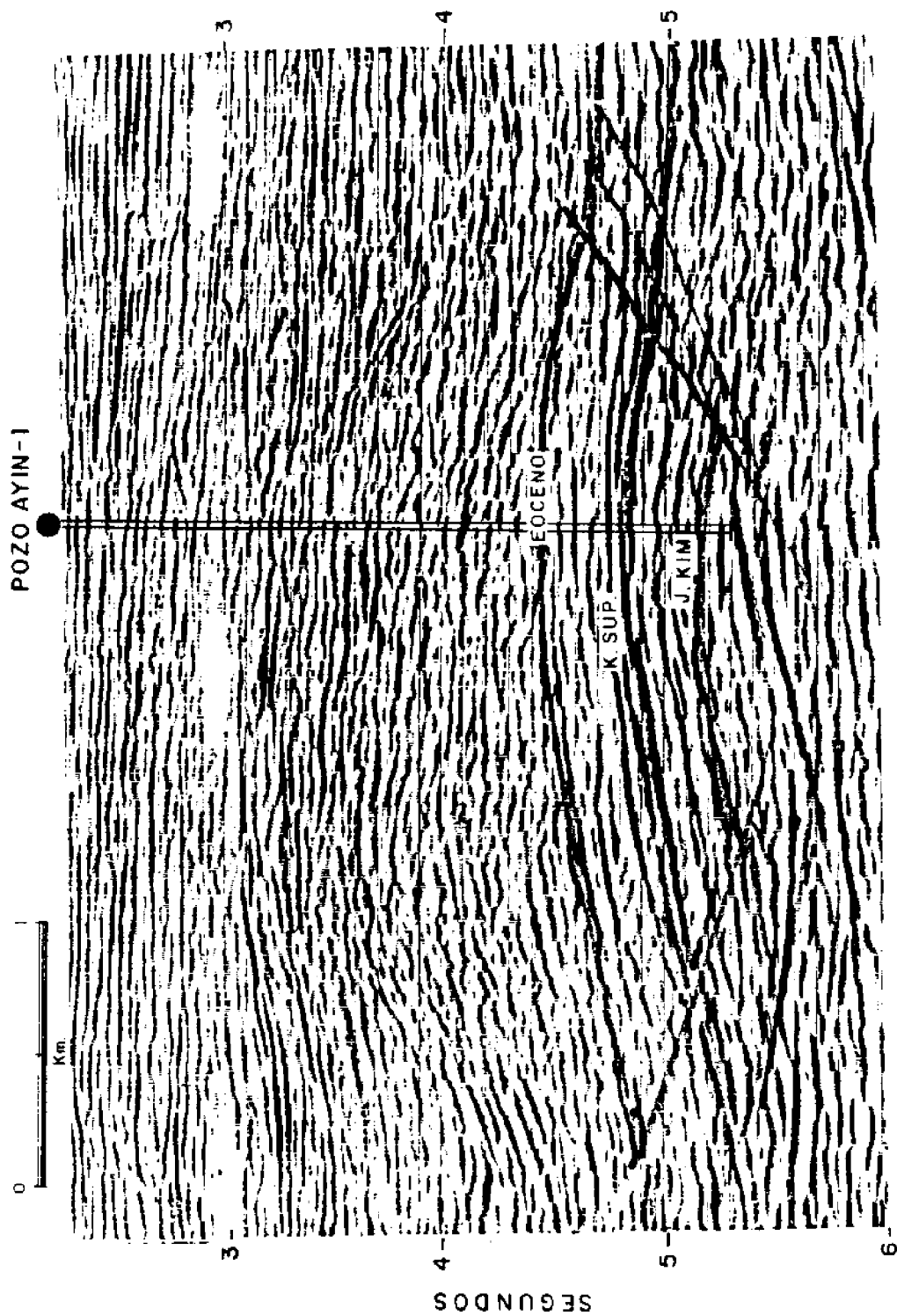


FIGURA 33-B

PROSPECTO LE-ACACH

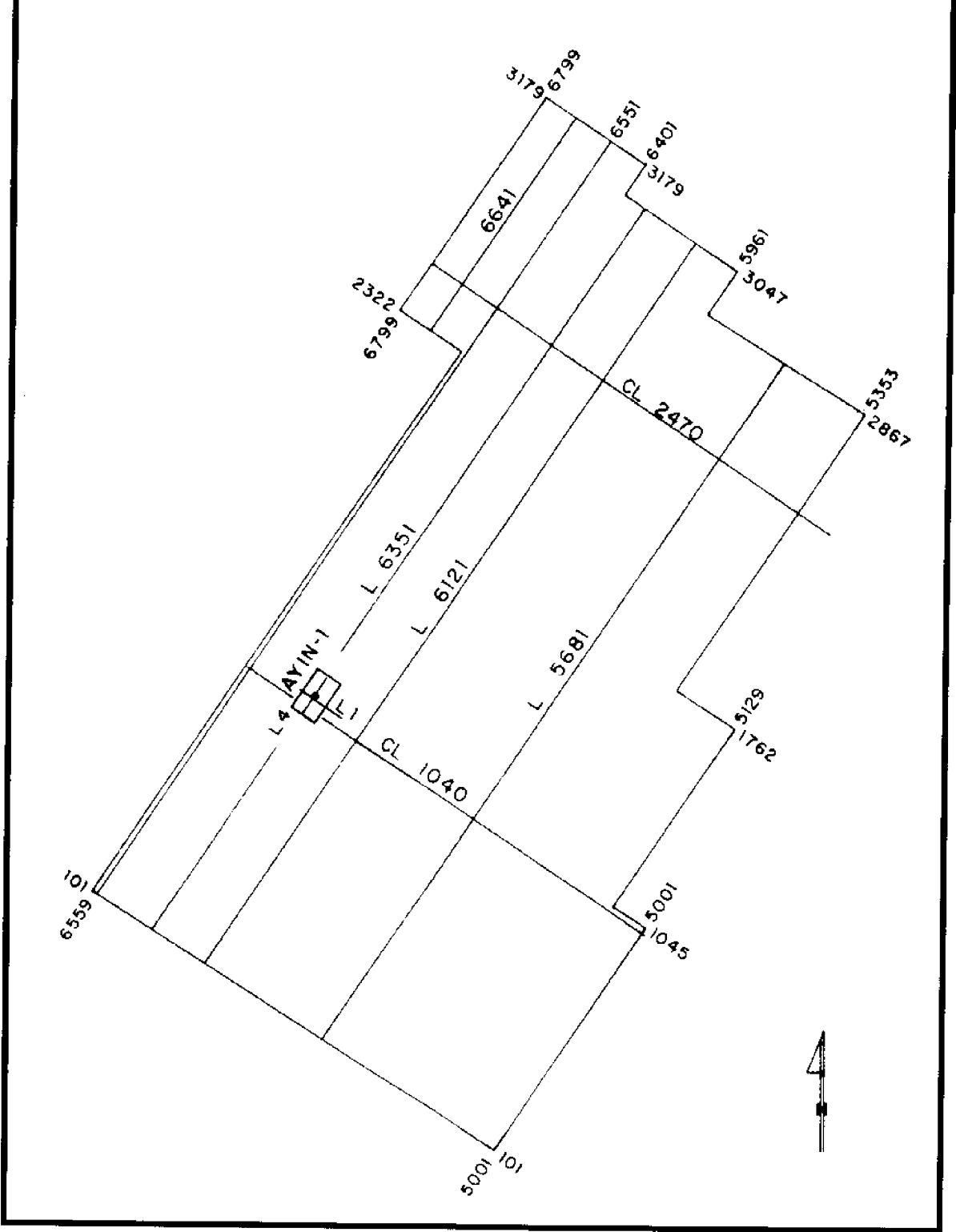


FIGURA 34

SECCION SISMICA 3D DE LA LINEA 6641

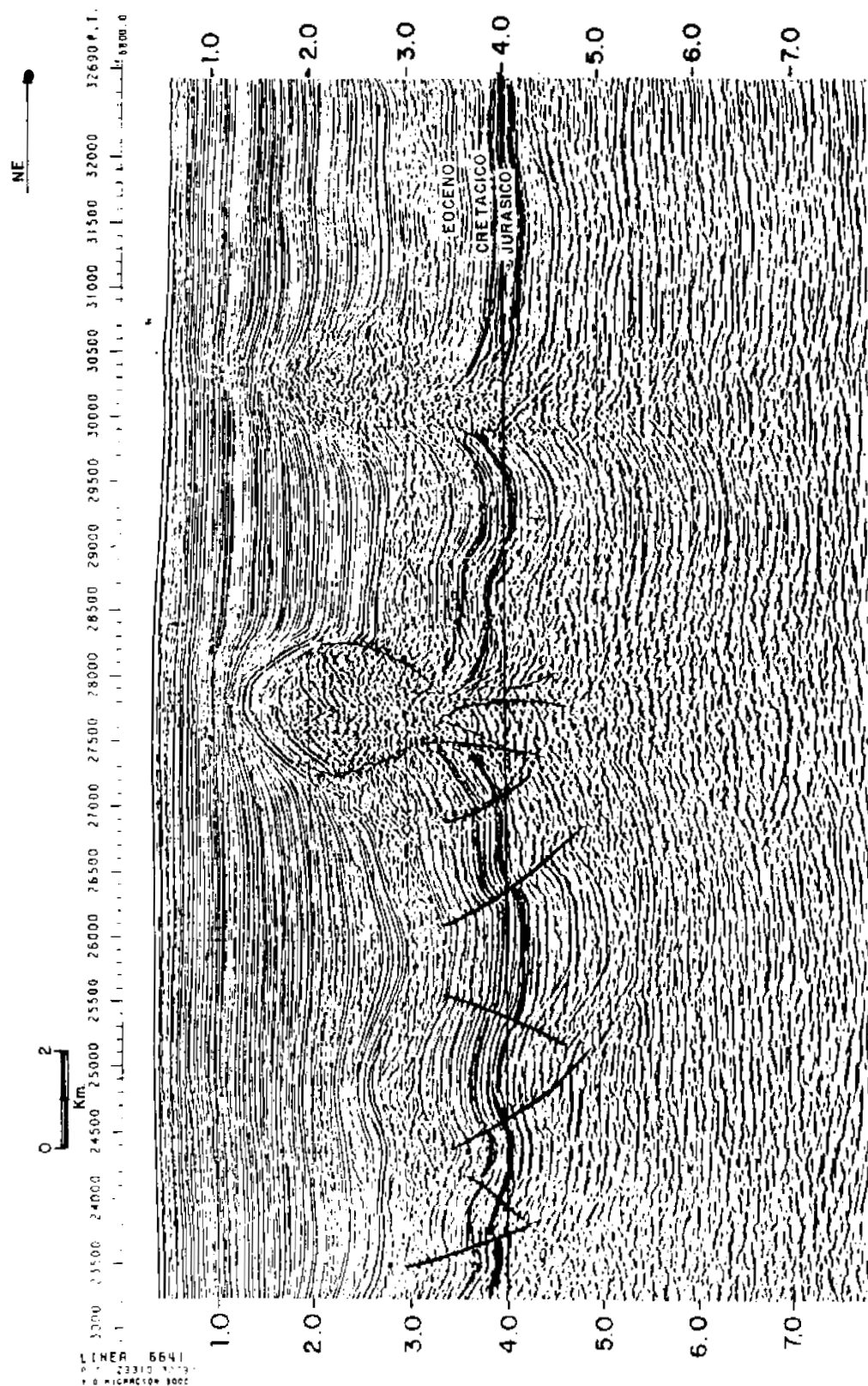


FIGURA 35

PLANO DE ISOTIEMPOS DEL PROSPECTO TRIDIMENSIONAL LE-ACACH PARTE NW (4000 MSEG)

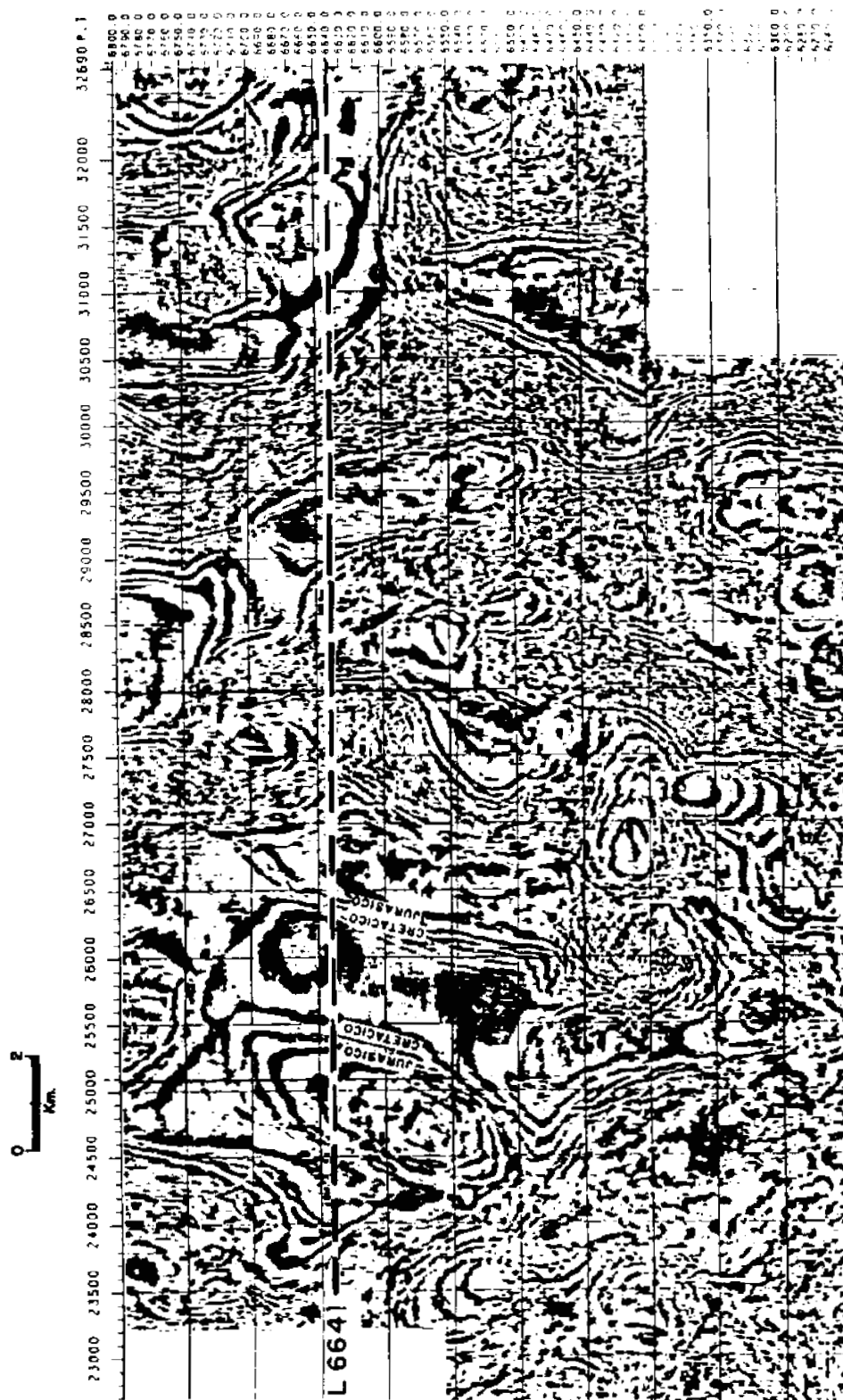


FIGURA 36

AREA: LE-ACACH LINE: 5681

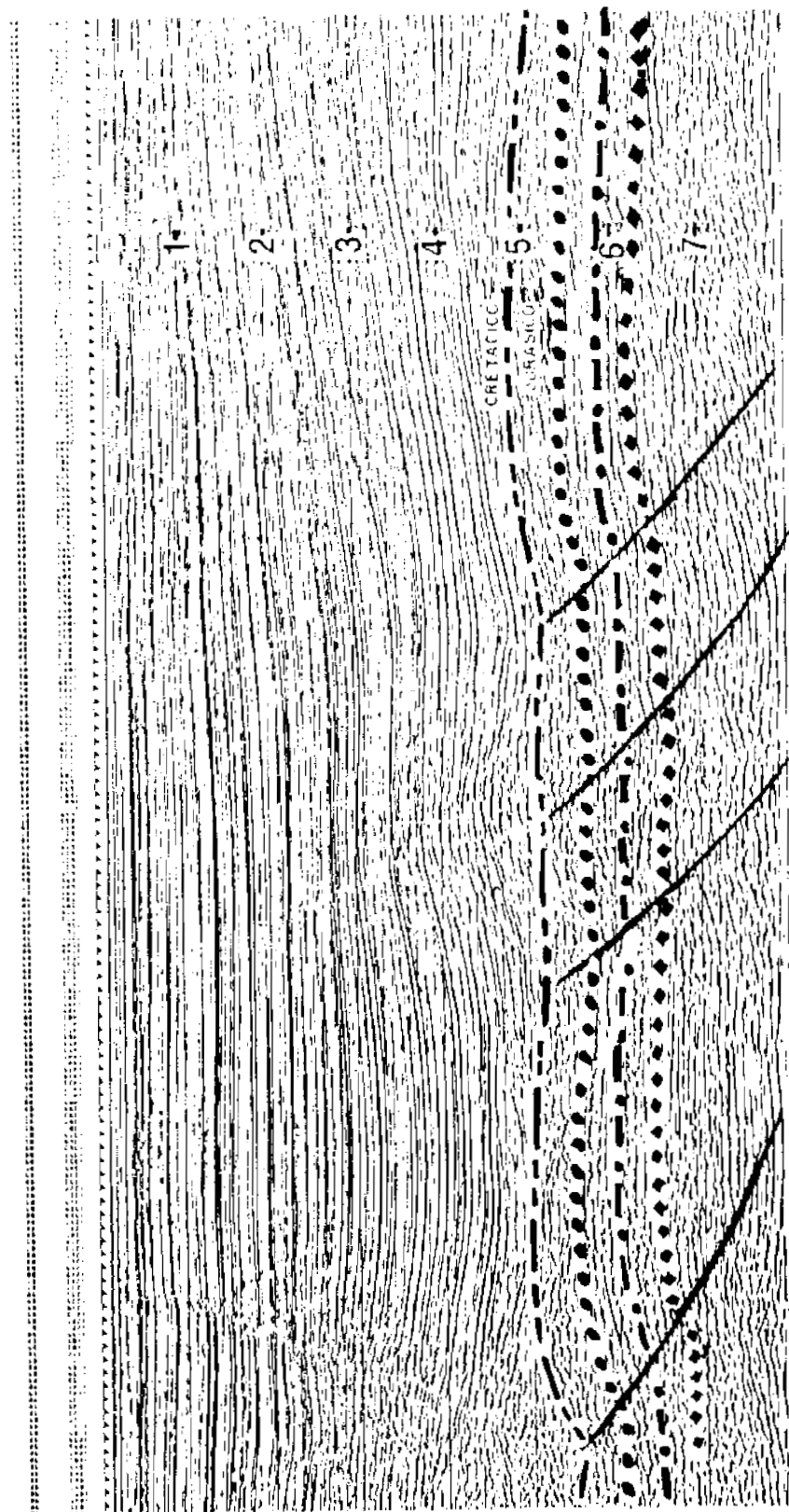


FIGURA 37

LINEA: 6121 P.T. 1110-31470 3-D MIGRACION 9000%

1
--- 3 m ---

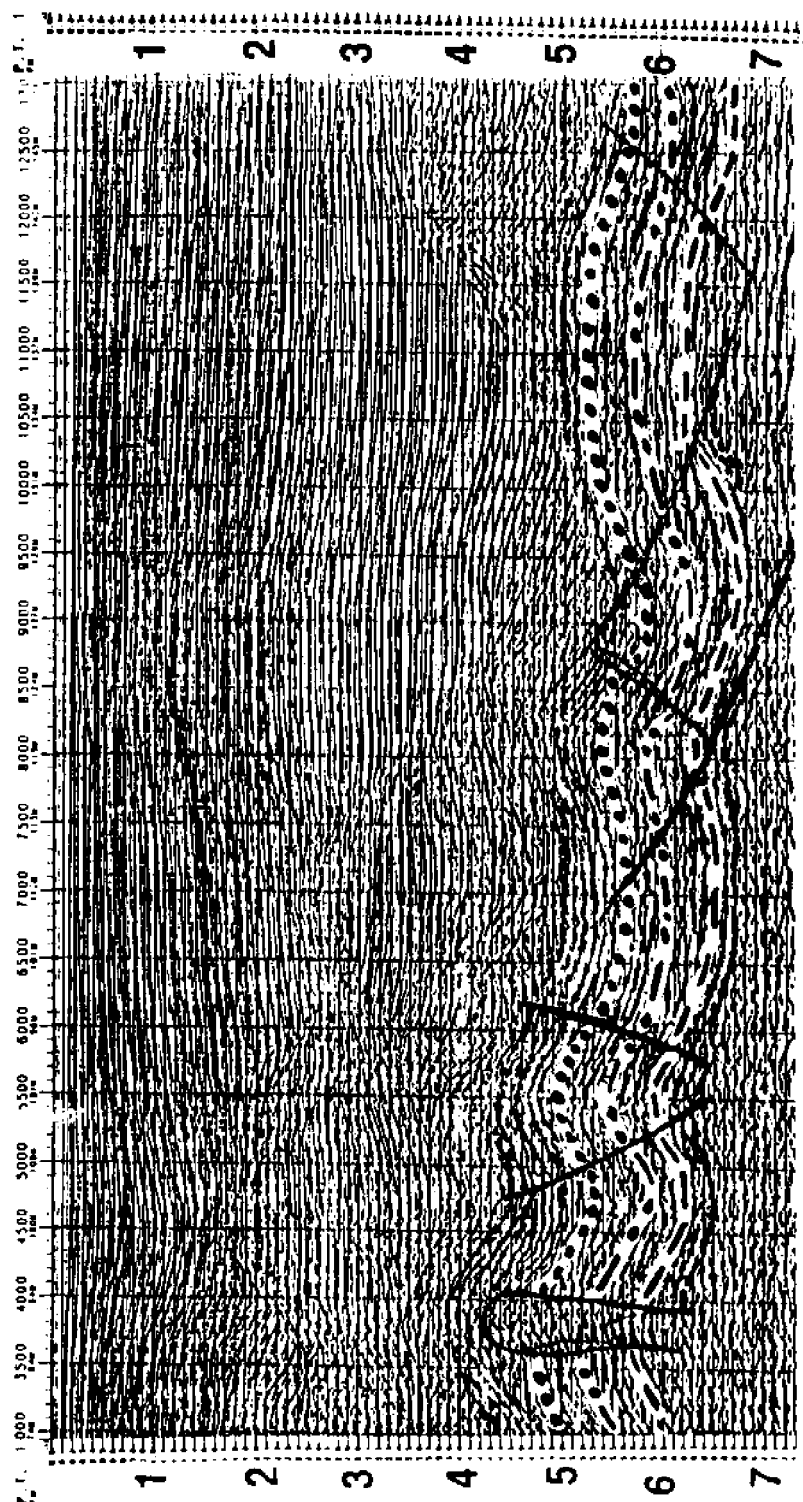


FIGURA 38

T A B L A 1

TECNICAS DE ADQUISICION DE DATOS

CARACTERISTICAS GENERALES	P R O S P E C T O	
	W. YAABKAN-YUM	EK-BALAM
No. DE BARCOS POR TRAYECTORIA	1 a 3	2
No. DE FUENTES DE ENERGIA	1	1
No. DE STREAMERS	1 a 3	2
No. LINEAS OBSERVADAS EN FORMA SIMULTANEA	1 a 3	2
NUMERO DE LINEAS	539 - 273	208
ESPACIAMIENTO	70 m	70 m
ORIENTACION	NE ↔ SW	NW ↔ SE
TOTAL KMS. LINEALES	≈14,230 - 4,950	6,277
AREA APROX. CUBIERTA	685 - 268 Km²	500 Km²
DIMENSIONES DE CELDA O BIN	25 x 75	25 x 75
CUBRIMIENTO DEL SUBSUELO	8,000%	8,000%

T A B L A 2

PARAMETROS OPERATIVOS EMPLEADOS EN W DE YAABKAN, YUN Y EK-BALAM

<u>FUENTE DE ENERGIA:</u>	
TIPO	AIRE ARREGLO DE PISTOLAS DE AIRE ENTONADAS
No. DE FUENTES	1
VOLUMEN TOTAL	6,000 pulg3.
PRESION DE AIRE	2,000 psi.
INTERVALO ENTRE PUNTOS DE TIRO	25 m.
PROFUNDIDAD	7.5 m.
<u>STREAMER:</u>	
TIPO	DIGITAL DSS-240
No. DE CABLES	1 A 3
SEPARACION	140 m.
LONGITUD	4,000 m.
No. DE CANALES	160
INTERVALO ENTRE GRUPOS DE GEOFONOS	25 m.
No. DE COMPASES MAGNETICOS	12
No. DE INDICADORES DE PROFUNDIDAD	16
PROFUNDIDAD	10 m.
<u>EQUIPO DE GRABACION:</u>	
TIPO	DSS-240
LONGITUD DE GRABACION	8 seg.
INTERVALO DE MUESTREO	2 mseg.
FILTRO DE GRABACION	
ALTO Y BAJO	8 Hz - 160 Hz
FORMATO DE GRABACION	SEG-Y

T A B L A 3

TECNICAS DE ADQUISICION DE DATOS

CARACTERISTICAS GENERALES	PROSPECTO LE-ACACH
COMPañIA CONTRATISTA	WESTERN G.C.
No. BARCOS POR TRAYECTORIA	1
No. FUENTES DE ENERGIA	2 (ALTERNADAS)
No. STREAMERS	2
No. LINEAS OBSERVADAS EN FORMA SIMULTANEA	4
NUMERO DE LINEAS	900
ESPACIAMIENTO	53.34 m.
ORIENTACION	NE ↔ SW
TOTAL KMS. LINEALES	≈ 57,400
AREA APROXIMADA CUBIERTA	2,590 Km²
DIMENSIONES DE CELDA O BIN	IN LINE 26.67 m. CROSS LINE 53.34 m.
CUBRIMIENTO DEL SUBSUELO	9,000%
PUNTOS DE TIRO	1'080,000
REGISTROS DE 8 SEG. 180 CANALES	2'160,000
CINTAS DE CAMPO (36,000 + 4,000)	40,000
GIGABYTES DE INFORMACION DE CAMPO	6,480

T A B L A 4

ESPECIFICACIONES DE ADQUISICION DE DATOS SISMICOS EN EL PROSPECTO LE-ACACH

PARAMETROS DE CAMPO:

GRABADO PARA:
ADQUISICION POR:

PETROLEOS MEXICANOS
WESTERN GEOPHYSICAL
BARCO: M/W WESTERN ATLAS
BRIGADA No.: 116
FECHA: MAYO-OCTUBRE 1991

FUENTE DE ENERGIA:

CANONES DE AIRE:

FUENTE DUAL
LRS 7000 DE BAJA PRESION
5400 PULGADAS CUBICAS / FUENTE
1800 PSI / FUENTE
28 / FUENTE
7.62 METROS
26.67 METROS

VOLUMEN DE CANONES TOTAL:
PRESION OPERATIVA:

No. DE CANONES:

PROFUNDIDAD DE CANONES:

INTERVALO DE P.T.:

CENTRO DE FUENTE DEL PRIMER
GRUPO:

125.6 METROS

PUNTO DE REFERENCIA DE
NAVEGACION A CENTRO DE
FUENTE DE ENERGIA:

223.5 METROS

INSTRUMENTOS:

SISTEMA DE GRABACION:
FILTROS:

DUAL LRS-16A
LC: 6.0 HZ/24 DB
HC: 128.0 HZ/120 DB

INTERVALO DE MUESTREO:

LONGITUD DE REGISTRO:

FORMATO DE GRABACION:

2 MS
8 SEGUNDOS
SEG-D 8024 180 CANALES X 2 = 360

DIMENSION DEL TENDIDO:

TIPO DE CABLE:

LONGITUD DE CABLE:

PROFUNDIDAD DE CABLE:

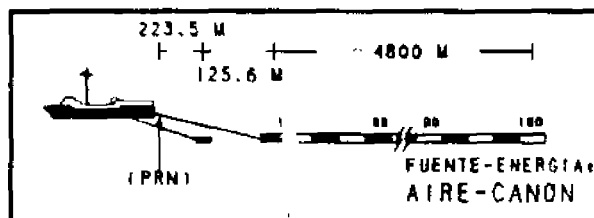
INTERVALO DE GRUPOS:

No. DE GRUPOS:

PUNTO DE REFERENCIA DE

NAVEGACION A ANTENA:

DUAL LRS16
4800 METROS
10.7 METROS
26.67 METROS
180
49.2 METROS



LEYENDA
☒ ANALISIS DE VELOCIDAD
 FM FATHOMETROS EN METROS

TABLA 5

PARAMETROS DE PROCESO:

1. CONVERSION DE FORMATO

SEG-D A WESTERN - 4

2. REMUESTREO DE 2 MS A 4 MS

3. PROCESO ZAP

4. CORRECCION POR DIVERGENCIA ESFERICA

5. DECONVOLUCION PREDICTIVA

NUMERO DE VENTANAS:	2
LONGITUD DE VENTANA #1:	3500 MS
TIEMPO DE PREDICCION MINIMO:	24 MS
LONGITUD DEL OPERADOR:	220 MS
LONGITUD DE VENTANA #2:	4500 MS
TIEMPO DE PREDICCION MINIMO:	44 MS
LONGITUD DEL OPERADOR:	240 MS

6. BALANCEO DE TRAZAS

7. INTEGRACION DE INFORMACION SISMICA Y DE NAVEGACION

8. ANALISIS DE VELOCIDAD: DMO VELAN

9. APLICACION DE FLEXIBIN

10. APLICACION DE CORRECCIONES DINAMICAS

11. 3-D DMO

12. APILAMIENTO 9000%

13. INLINE MIGRACION

MIGRACION ESCALADA CON FINITE DIFFERENCE
(CASCADED FINITE DIFFERENCE MIGRATION)
13.33 METROS EN EL SUBSUELO

14. CROSSLINE INTERPOLACION

53.34 METROS DE ENTRADA
26.67 METROS DE SALIDA

15. CROSSLINE MIGRACION

MIGRACION ESCALADA CON FINITE DIFFERENCE
(CASCADED FINITE DIFFERENCE MIGRATION)
26.67 METROS EN EL SUBSUELO

16. ORDENAMIENTO EN LINEA

(SORT TO INLINE ORDER)

17. FILTRO VARIABLE EN TIEMPO

ZONA DE TIEMPO	FRECUENCIA
0.000 SEG	12 HZ / 18 DB - 65 HZ / 72 DB
1.300 SEG	10 HZ / 18 DB - 65 HZ / 72 DB
3.500 SEG	8 HZ / 18 DB - 55 HZ / 72 DB
4.500 SEG	8 HZ / 18 DB - 40 HZ / 72 DB
6.500 SEG	6 HZ / 18 DB - 30 HZ / 72 DB
8.000 SEG	6 HZ / 18 DB - 25 HZ / 72 DB

18. GANANCIA AGC

GRAFICACION	1.00 KI
ESCALA HORIZONTAL:	18.75 TRAZAS / CM 1 KM - 37.51
ESCALA VERTICAL:	4.0 CM / SEG
GANANCIA DE GRAFICACION:	+ 8 DB
POLARIDAD:	POSITIVA

T A B L A 6

AVANCES TECNOLOGICOS APLICADOS EN LOS ESTUDIOS
REALIZADOS EN 1979, 1985 y 1987

	A Ñ O		
	1978	1985	1987
AREA O PROSPECTO	CANTERELL	ZAZIL-HA	YAABKAN
FUENTE DE ENERGIA PRESION LB/pulg. ² VOLUMEN PULGADAS CUBICAS	4 PISTOLAS 2 000 1 450	16 PISTOLAS 2 000 2 000	30 PISTOLAS 2 500 + DE 4 200
CABLE DE GEOFONOS	2 400	3 200	2 CABLES DE 3 200
NUMERO DE CANALES SISMICOS	48	120	240
SISTEMAS DE COMPUTACION	ALTA CAPACIDAD	ALTA CAPACIDAD INTERACTIVO	ALTA CAPACIDAD INTERACTIVO
INTERPRETACION	MANUAL	MANUAL E INTERACTIVA	MANUAL E INTERACTIVA
PRESICION EN EL POSICIONAMIENTO	+ 10 m ±	+ 10 m ±	+ 5 m ±
COSTO POR Km ²	\$ 8,000.00 Dlls. (USA)	\$ 6,500.00 Dlls. (USA)	\$ 4,300.00 Dlls. (USA)

