

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**División de Ingeniería  
en Ciencias de la Tierra**

**Proyecto Terminal**

**INTERPRETACIÓN SISMO-ESTRUCTURAL DEL  
PROYECTO "3D" FORTUNA NACIONAL**

**Para obtener el grado de:**

**Especialista en Ingeniería  
de Interpretación Sísmica**

**Presenta:**

**Víctor Manuel Martínez Ramírez**



**Ciudad Universitaria, D.F.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A Dina Martínez Corral  
Esposa y compañera  
por su apoyo y comprensión.

A Mis Hijos:

Octavio Alfredo  
Liliana Arizbeth  
Víctor Manuel  
Daniel Arturo  
Luis Fernando

Motivo de mi esfuerzo y existencia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a PEMEX Exploración y Producción por haberme dado la oportunidad de haber realizado la Especialidad en Ingeniería de Interpretación Sísmica en la UNAM.

A la Subdirección de Tecnología y Desarrollo Profesional, en especial al Ing. Teódulo Gutiérrez Acosta y a la Ing. Bertha Patricia Ocegüera Serrano, al haber hecho posible la impartición de la Especialidad en Ingeniería de Interpretación Sísmica en la UNAM, así como por su constante interés en el mejoramiento de la calidad de la enseñanza.

Fué motivante y reconfortante volver a mi querida Facultad de Ingeniería de la UNAM, por lo que no encuentro palabras para expresar la gratitud que por siempre le guardo.

Al Ing. Quintín Cardenas Jammet, Administrador del Activo Macuspana, mi agradecimiento por todo su apoyo, así como en las facilidades brindadas en la obtención de la información, tema de este trabajo.

Es de destacar la participación de los maestros que impartieron los diferentes cursos, mismos que pusieron todo su empeño y esfuerzo, máxime que era la primera vez que se daba esta especialidad en la Facultad de Ingeniería. Gracias por siempre.

A los integrantes del Jurado; Dr. Héctor Sandoval Ochoa, Dr. Guillermo Pérez Cruz, Dr. Gorgonio García Molina, Físico Jaime González Alanís y M. en I. Ricardo Alcántara García, mi agradecimiento por sus invaluable consejos y opiniones en la elaboración de este trabajo. Al M.en I. Efraín Méndez Hernández le agradezco su apoyo y consejos. Quedo en deuda con todos ustedes.

Al Coordinador de la Especialidad Ing. Ricardo Castrejón Pineda, por su invaluable ayuda y expedita asistencia en la resolución de problemas.

Gracias También al personal de la Compañía Schlumberger, por su pronta asistencia en el manejo del Software Charisma.

A todos los que me han ayudado, y que por olvido omito sus nombres, mi eterno agradecimiento.

# CONTENIDO

## RESUMEN

<b>1. - GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
I.1.- LOCALIZACION	1
I.2.—FISIOGRAFIA	2
<b>II.- ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS</b>	<b>2</b>
<b>II.1.- GEOLOGÍA</b>	<b>2</b>
II.1.1.- SUPERFICIAL	2
II.1.2.- HISTORICA	2
II.1.3.- ESTRUCTURAL	4
II.1.4.- DEL SUBSUELO	4
III.1.5.- OTROS METODOS GEOFÍSICOS	6
<b>III.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO</b>	<b>8</b>
<b>IV.- METODO DE TRABAJO</b>	<b>8</b>
<b>V.- ESTRATIGRAFIA</b>	<b>9</b>
<b>VI.- SISTEMA PETROLERO</b>	<b>9</b>
<b>VII.- INTERPRETACIÓN SÍSMICA</b>	<b>11</b>
VII.1.- CALIDAD DE LA INFORMACIÓN UTILIZADA	11
VII.2.- INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL	12
VII.2.1.- FALLAS	15
VII.3.- CORRELACION Y DESCRIPCION DE HORIZONTES	27
VII.4.- CONTROL DE VELOCIDADES	32
VII.5.-ATRIBUTOS SISMICOS	32
<b>VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>36</b>
VIII.1.- CONCLUSIONES	36
VIII.2.- RECOMENDACIONES	37
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>39</b>

## RESUMEN

El área de estudio se localiza en la porción Sur de la Cuenca Terciaria de Macuspana, aproximadamente a 40 Km. al sureste de Villahermosa, Tabasco. Geológicamente se encuentra dentro de las Cuencas Terciarias del Sureste, la cual se encuentra limitada, en su lado oriental, por la Plataforma de Yucatán, al Poniente por el Alto de Reforma-Akal y al Sur por las estribaciones de la Sierra de Chiapas.

El área del cubo sísmico comprende una superficie de aproximadamente 350 km<sup>2</sup>. En su porción NE se localiza el Campo Fortuna Nacional descubierto en 1949, mismo que ha sido productor de gas y aceite en varios pozos que se han perforado en un anticlinal armado en rocas siliciclásticas del Terciario y cuyas relaciones estructurales, de acuerdo a interpretaciones sísmicas anteriores con líneas "2D", no habían podido ser bien definidas debido a la mala a regular calidad de información que presentaban las líneas, muchas de ellas sin migrar, lo cual hacía difícil su interpretación.

Con la obtención del Cubo sísmico "3D" en Mayo del 2000, el Grupo Multidisciplinario del Activo Macuspana inició la interpretación del mismo con fines de generar nuevas localizaciones exploratorias. Paralelamente, el Grupo Multidisciplinario de Caracterización de Yacimientos del Activo de Producción Chilapilla-Colomo hizo su respectiva interpretación, con el objeto de conocer la geometría interna del yacimiento y realizar la caracterización estática del yacimiento. De los resultados obtenidos en esta última interpretación no se tuvo conocimiento debido a la reciente entrega de su respectivo informe.

El objetivo del presente Trabajo Terminal, además de obtener el grado de Especialista en Interpretación Sísmica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Generación 2000, fue el tratar de definir el marco estructural que rige en el área, así como también, un modelo geológico, que permita conocer la geometría y extensión lateral del yacimiento del Campo Fortuna Nacional, el cual se encuentra contenido en una estructura anticlinal armada en rocas siliciclásticas del Terciario. Lograr además, la definición de trampas estructurales, con el objeto de aumentar las reservas de gas.

La metodología aplicada en la interpretación sísmica "3D", realizada del 13 de Agosto al 20 de Octubre del 2001, consistió, en primer lugar, en la compilación de la información Geológica y Geofísica del área que estuvo disponible, como el reporte y registros de pozo, mapas de Geología Superficial, cima de las unidades, etc. Dicha información se cargó a la base de datos de la estación de trabajo de la sala de cómputo avanzado de la Facultad de Ingeniería, posteriormente se revisó y se validó. Para la interpretación sísmica del cubo Fortuna Nacional, se utilizó el Sistema interactivo GEOFRAME (Charisma) de la Compañía GeoQuest de Schlumberger.

Con el objeto de hacer una correlación confiable entre la información de pozo y la sísmica de superficie en tiempo, se generó el sismograma sintético de cada pozo, a partir de los registros sísmico y de densidad. En donde no se contaba con registro sísmico, se generó su respectivo pseudo sísmico a partir del registro de resistividad, aplicando la fórmula de Fausto.

La última parte del estudio consistió en la interpretación detallada del Campo Fortuna Nacional, para lo cual se determinó el patrón de fallas que afecta al área, así como el corrimiento de los horizontes Arena 13 y Arena 32, cuyas cimas fueron ligadas en la sísmica con los sismogramas sintéticos, previamente calibrados; asimismo, se corrió la cima de un cuerpo arcilloso de naturaleza regional.

Como resultado de lo anterior, se generaron mapas estructurales en tiempo de los eventos corridos. El área interpretada comprendió una superficie aproximada de 85 km<sup>2</sup>.

El Campo de Fortuna Nacional presenta una complejidad estructural, sin embargo de acuerdo a la interpretación sísmica "3D" realizada, se pudo definir el marco estructural que lo afecta, dominado por un evento arcilloso regional identificable en la imagen sísmica abajo de los 2 seg. Dicho evento sismoestratigráfico se encuentra afectado por una falla lítrica normal en su flanco NE, de poco desplazamiento en su extremo NW y de gran magnitud en su extremo SE, al Norte del pozo Macuspana-201.

El Anticlinal de Fortuna Nacional, de dirección Norte Sur, parece ser consecuencia de un evento más somero que el anterior, relacionado con una apósis alóctona del cuerpo arcilloso regional, misma que, al poniente del Pozo Macuspana-201, fluyó hacia arriba siguiendo el plano de la falla FN\_1. A la altura del pozo FN-2, se desprende del cuerpo principal y toma una dirección Norte franco, de tal manera que, al intrusionar, levantó y plegó espectacularmente a la secuencia sedimentaria arriba de un segundo; constituyendo el Anticlinal de Fortuna Nacional, relativamente estrecho y alargado; tal y como lo evidencia el plegamiento de la Arena-13.

Al parecer, la apósis arcillosa alóctona sobreyace en casi todo el campo a la Arena-32, mismo que podría fungir como roca sello. Tiene una forma semitabular con una ligera inclinación hacia el SW, lo cual causa que la estructura anticlinal de Fortuna Nacional se encuentre ligeramente recostada en la misma dirección. Dicha situación podría presentar condiciones favorables en el entrapamiento estructural de hidrocarburos al chocar los estratos, echado arriba, contra el cuerpo arcilloso.

# I.-GENERALIDADES

## I.1.- LOCALIZACIÓN

El área de estudio, correspondiente al Proyecto sísmológico "3D" de Fortuna Nacional, se localiza aproximadamente a 40 Km al sureste de Villahermosa, Tabasco (Figura 1). Pertenece a la jurisdicción del Activo Macuspana, Subdirección de la Región Sur de PEMEX-Exploración y Producción (PEP)

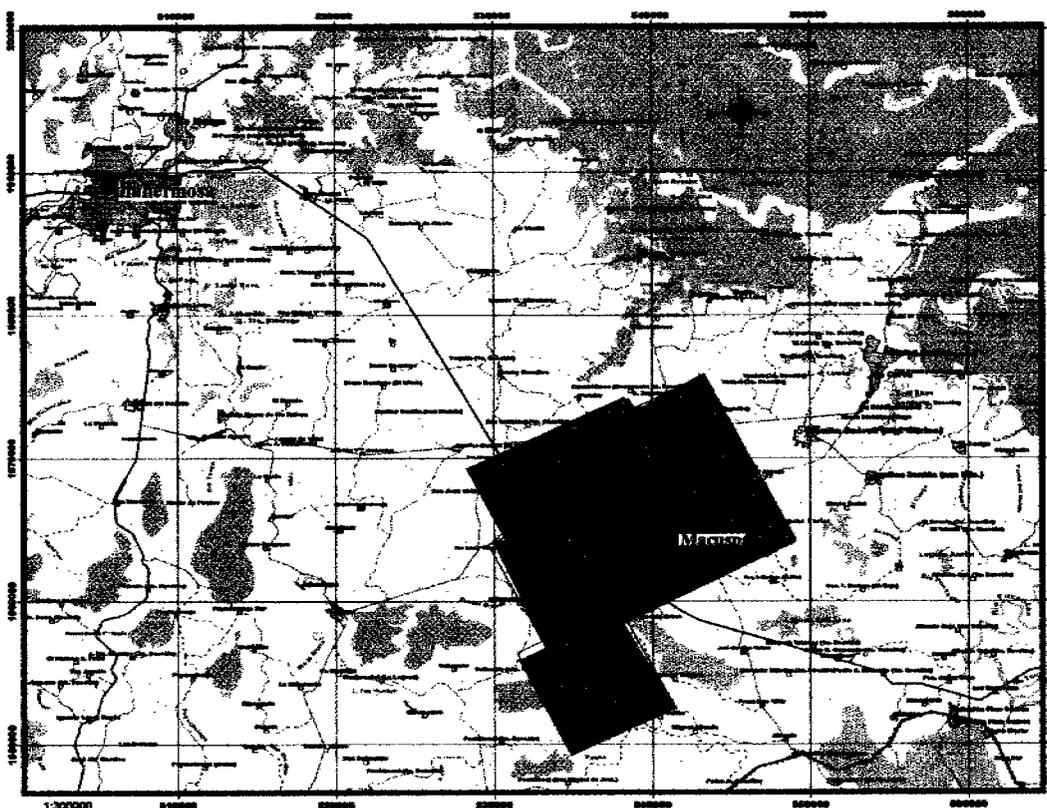


Figura 1.- Plano de Localización del Proyecto Sísmico "3D" Fortuna Nacional

En el extremo NE del cubo sísmico, de aproximadamente 350 Km<sup>2</sup>, se localiza el Campo Fortuna Nacional, productor de gas, aceite y condensado, en una estructura anticlinal armado en rocas siliciclásticas del Terciario. Fue descubierto en 1947 con el pozo FN-1, mismo que fue productor de gas y condensado en el intervalo 1611-1613 m.

Al SE del campo se localiza el pozo Macuspana-1B, el cual es productor de gas en el intervalo 820-836 m, en arenas del Plioceno Inferior.

## **I.2.- FISIOGRAFIA**

Fisiográficamente, El área de estudio se localiza justo al Norte de las estribaciones de la Sierra de Chiapas, en donde comienza la Planicie Costera del Golfo, por lo que su topografía se encuentra dominada por lomeríos de suave pendiente y poca altitud, así como también por algunas partes planas y pantanosas.

## **II.- ANTECEDENTES GEOLOGICOS Y GEOFÍSICOS:**

### **II.1.- GEOLOGÍA**

El área de estudio se localiza dentro de la Provincia Geológica de las Cuencas Terciarias del Sureste, justo al Norte de la faja plegada de la Sierra de Chiapas de dirección Este-Oeste, así como al oriente del levantamiento Reforma-Akal de dirección NE-SW (Figura 2).

#### **II.1.1.- SUPERFICIAL**

En la mayor parte del área de estudio afloran rocas de la Formación Belem del Pleistoceno, así como materiales del Cuaternario y Reciente. Hacia la costa se presentan materiales propios del ambiente litoral; lacustres, barras de arena y eólicos.

#### **II.1.2.- HISTORICA**

Durante el Jurásico Tardío, el área de estudio fue parte de la Cuenca Salina de Chiapas. El depósito de los carbonatos de plataforma se estableció en el Cretácico Temprano. La deformación parcial de la secuencia mesozoica ocurrió en la región de Chiapas-Tabasco al

final del Albiano (Moran-Zenteno, 1994). La sedimentación de los carbonatos de plataforma predominó durante el Cenomaniano-Turoniano.

Como consecuencia de la subducción de la placa del Pacífico, bajo la placa de Norteamérica, a fines del Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano) hasta el Eoceno (Santiago y Baro, 1992), se comenzaron a manifestar los primeros esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide, causando que en el Norte de México, la carpeta sedimentaria mesozoica se levantara y plegara para dar origen a la Sierra Madre Oriental; mientras que, en la porción Sur de México afectó parte de la plataforma de Chiapas en donde hubo un cambio en el patrón sedimentológico de la cuenca, de una secuencia carbonatada a terrígena, misma que continuó en el área hasta el Eoceno cuando culminó la fase final de la deformación compresiva (Lauback & Jackson, 1990).

Durante el Terciario Medio y Superior, se originaron grandes sistemas fluviales, cuyas cabeceras se encontraban posiblemente en la emergente Sierra de Chiapas, los cuales drenaban hacia la costa del Golfo de México en donde comenzaron a formar enormes sistemas deltáicos, progradando el margen continental. El rápido depósito de las arenas deltáicas sobre el talud continental, posiblemente incrementó la presión sobre las unidades lodosas y mecánicamente inestables más profundas, con lo que se originó un sistema de fallas sindeposicionales de crecimiento, el cual se tradujo en la formación de bloques a manera de franjas, limitadas por fallas lineales de edades diferentes y en donde se depositaron unidades estratigráficas relativamente diferentes a las franjas adyacentes.

Asociadas a las fallas lístricas normales se evidencia el flujo vertical y posiblemente horizontal de masas arcillosas, las cuales al parecer, originaron a la estructura de Fortuna Nacional.

El origen de la estructura debido a fallas de crecimiento y su consecuente rollover, no se evidencian en el área; sin embargo, es posible que en un principio hayan actuado en menor grado que en áreas más al Norte y que actualmente se encuentran enmascaradas por los emplazamientos arcillosos.

### II.1.3.- ESTRUCTURAL

Estructuralmente, el área de estudio se localiza en la porción suroeste de la Cuenca Terciaria de Macuspana, limitada al oriente por la Plataforma de Yucatán, al Poniente por el Alto de Reforma- Akal y al Sur por las estribaciones de la Sierra de Chiapas (Figura 2).

Los sedimentos se encuentran constituidos por una alternancia de arenas y arcillas que varían lateralmente tanto en composición como en gradación; dicha secuencia se inclina regionalmente al oriente, hacia donde se verifica un aumento paulatino de los espesores que a menudo varían al pasar de un lado hacia el otro de las fallas, sobre todo si estas son de crecimiento.

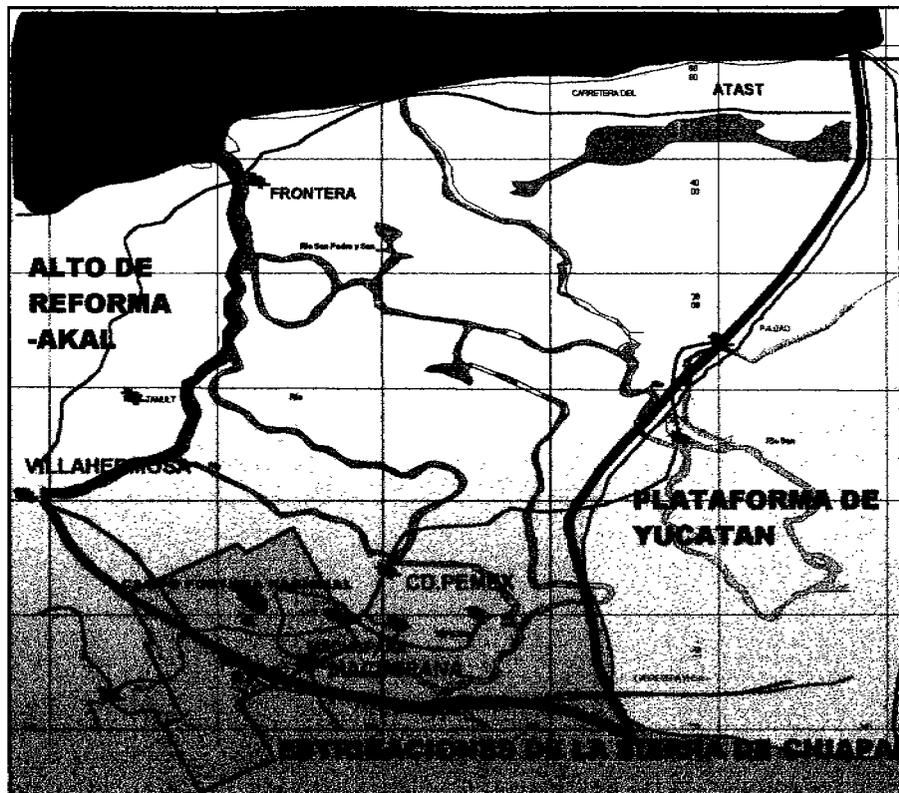


Figura 2.- Plano Estructural

### II.1.4.- DEL SUBSUELO

Los diversos pozos que se han perforado en el Campo de Fortuna Nacional, han permitido conocer las características estratigráficas del subsuelo; principalmente desde el Oligoceno Medio hasta el Reciente.

Desde 1949 hasta la fecha, se han perforado aproximadamente 21 pozos en el área de estudio (Tabla 1); no obstante, las principales estructuras se descubrieron en los primeros 20 años (1949-1968).

P OZO	INTERVALO PRODUCTOR	PROF. TOTAL	PERFORACION	CLASIFICACION	STATUS
FN-1	1611-1613	2125	15/11/47-08/04/49	PROD. ACEITE Y GAS	TAPONADO
FN-2	1595-1597; 1624-1626	1981	19/06-06/1949	PRODUCTOR DE ACEITE	TAPONADO
FN-3	1526-1530	1650	02/025-30/04/1950	PRODUCTOR DE ACEITE	TAPONADO
FN-4	1042-1046	1549	07/11-16/1950 02/02-19/04	PRODUCTOR DE ACEITE	TAPONADO
FN-5	1020-1025; 1380-1386	1650	15/06-27/08/1950	PRODUCTOR DE ACEITE	PEND. TAPON
FN-6		1238	31/03-26/06/1951	IMPRODUCTIVO SECO	TAPONADO
FN-8	875-880; 952-973; 992-998; 1021-1024; 1075-1080	1200	12/11-27/12/1954	PRODUCTOR DE ACEITE	BAJA RENTABILIDAD
FN-9	1098-1106; 1760-1770; 1780-1790 (ARENA-34)	1845	10/06-28/08/1955 07/04-02/10/98	PROD. GAS Y CONDENSADO	FLUYENTE
FN-11A	285-294	1200	23/03-28/04/1955	PROD. GAS SECO	TAPONADO
FN-101	1803-1804 (ARENA-34)	2014	09/06-14/10/1967	PRODUCTOR DE ACEITE	BAJA RENTABILIDAD
FN-104	1914-1920	2270	03/12/1967- 31/01/1968	PROD. DE GAS Y COND.	PEND. TAPON
FN-105	1058-1066	2174	11/02-08/04/1968	PRODUCTOR INCOSTEABLE	TAPONADO
FN-108		2255	22/06-09/09/1968	IMPRODUCTIVO, AGUA SALADA	TAPONADO
FN-109	1735-1740, 1775-1785, 1795-1800	3000	06/02-25/06/1969	PRODUCTOR ACEITE Y GAS	FLUYENTE
FN-106		2359	27/11/1967- 01/02/1968	TERMINACION. INCONCLUSA, PESCADO A 1448 m	TAPONADO
FN-110	1654-1662	2262	21/05-19/09/1975	PROD. GAS Y CONDENSADO	CON POSIBILIDAD
FN-107		2000	14/04-26/05/1968	IMPRODUCTIVO, AGUA SALADA	TAPONADO
FN-140		2230	25/04-27/06/1976	IMPRODUCTIVO, AGUA SALADA	TAPONADO
FN-201		2800	29/10/1969- 06/02/1970	IMPRODUCTIVO, SECO	TAPONADO
FN-301		3025	10/01-29/03/1969	IMPRODUCTIVO	TAPONADO

Tabla 1.- Relación de pozos perforados en el área

Lo anterior ha originado que los criterios y conocimientos que se tenían para la identificación y ambientes de depósito de las unidades estratigráficas en el subsuelo, hayan ido cambiando y ampliándose con el paso del tiempo a medida que se han realizado nuevas perforaciones, esto ha conducido a que, actualmente, existan discrepancias en la información de las columnas de pozo, en lo concerniente a identificación de unidades, espesores y correlación regional, con respecto a la información aportada por la sísmica.

Dichos problemas a menudo se han solucionado con la aplicación de modelos geológicos que incluyen interdigitaciones, acñamientos, aumento y disminución de espesores en corta distancia o a través de fallas, cambios de facies, etc. soluciones que prácticamente no pueden aplicarse totalmente en la interpretación de las imágenes sísmicas ya que en muchos de los casos no concuerdan entre sí.

#### **II.1.5.- OTROS METODOS GEOFÍSICOS**

En este trabajo se consideró que las anomalías magnéticas y gravimétricas, no son relevantes para la interpretación del prospecto.

Dentro del área del proyecto se han realizado varios trabajos de adquisición sísmica "2D", en los cuales la principal fuente de energía ha sido la dinamita, así como equipos de registro analógicos y digitales.

En Marzo del 2001, La Cía. Mexicana de Geofísica, S.A. de C.V. realizó un análisis de AVO (amplitud versus Offset), sobre el campo de Fortuna Nacional y áreas adyacentes. Debido a la calidad de la información sísmica con que se trabajó, se recomendó mejorarla previamente para realizar estudios de AVO, como aplicar una serie de procesos que preservaran las amplitudes, antes de la migración pre-stack en tiempo.

La información sísmica de entrada para el análisis AVO fueron los CDP gathers pre-apilados en tiempo, entre las inlines 300 a 600 y las crooslines 100 a 550.

Se analizaron 3 niveles objetivos situados a 800 ms, 1,400 ms y 2,300 ms, respectivamente, con diferentes rangos de ángulos de incidencia con el fin de obtener suficientes trazas sísmicas dentro de los CDP gathers, para poder calcular la intersección y el gradiente, utilizados para generar a los dos atributos del AVO: Producto Apilado (IxG) y el Factor de Fluido (FF).

Debido a que no contaron con registros de pozo, no se realizó un modelo sintético AVO, para la mejor interpretación de las anomalías. Los resultados fueron calibrados con varios pozos productores y secos. Se constató una buena concordancia entre los fluidos y las anomalías en AVO.

En Abril del 2001, la Compañía Mexicana de Geofísica, S.A. de C.V. realizó el "Estudio de Inversión Estratigráfica del Levantamiento Sísmico 3D Fortuna Nacional". Lo cual permitió establecer una relación entre la respuesta sísmica, la impedancia acústica y los parámetros físicos del yacimiento. Se generó un cubo de Impedancia Acústica a partir de la sísmica. Se produjeron secciones de impedancia acústica a través de los pozos principales y las áreas prospectivas., sin embargo, la interpretación detallada de los mapas de impedancia estuvo fuera del alcance del proyecto, recomendando que lo realizaran los intérpretes del Activo Macuspana.

Los resultados de la Inversión tienen buena correspondencia con los del estudio de AVO. Por lo general, las acumulaciones de hidrocarburos conocidas en el prospecto, se caracterizan por tener bajos valores anómalos de impedancia acústica. Los pozos Macuspana-201, FN-109, FN-104 y FN-108, cuentan con buenas anomalías de impedancia acústica, asociadas con intervalos que contienen hidrocarburos.

En Junio del 2001, la Cía. AGI, S.A. tenía en fase de proceso la realización del cubo de coherencia con el software Coherent Vision, motivo por el cual no se tuvo información de los resultados obtenidos.

### **III.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

Con la interpretación del Cubo sísmico se pretende definir el marco estructural que rige en el área, así como también, el modelo geológico que permita conocer la geometría y extensión lateral del yacimiento del Campo Fortuna Nacional, el cual se encuentra contenido en una estructura anticlinal armada en rocas siliciclásticas del Terciario. Lograr además, la definición de trampas estructurales de hidrocarburos, con el objeto de aumentar las reservas de gas.

### **IV.- METODO DE TRABAJO**

La metodología aplicada en la interpretación sísmica, realizada del 13 de Agosto al 20 de Octubre del 2001, consistió, en primer lugar, en compilar toda la información Geológica y Geofísica del área que estuviera disponible, como registros de pozos, editados en formato LIS (resistividad, rayos gamma, sísmico y SP); reportes de los pozos, mapas de Geología Superficial, cima de las unidades, etc. Dicha información se cargó a la base de datos de la estación de trabajo del laboratorio de cómputo avanzado de la Facultad de Ingeniería, para posteriormente ser revisada y validada.

Nueve de los pozos contaron con registro sísmico (DT): FN-101, FN-104, FN-105, FN-106, FN-109, FN-110, FN-140, FN-201 y FN-301. Once de ellos contaron con registro de resistividad: FN-1, FN-2, FN-3, FN-4, FN-5, FN-6, FN-8, FN-9, FN-107, FN-108, y FN-11A, mismos que se escalaron para eliminar el efecto de gas; posteriormente se editaron para generar sus respectivos seudosónicos, utilizando la ley de Fausto.

Para contar con una una ley de velocidades (T-Z) que nos permitiera posicionar las cimas estratigráficas en la sísmica de superficie en tiempo, se generaron sismogramas sintéticos a partir de los registros sísmicos y seudosónicos de cada uno de los pozos. A la sísmica de superficie se le aplicaron varias pruebas con diferentes ondículas para ver con cual de ellas ajustaba mejor la traza sintética de cada pozo.

La interpretación sísmico-estructural 3D consistió en primer lugar en el trazado de las fallas que afectan el área, así como la correlación de los horizontes productores: Arena-13 y

Arena-32. Para tal fin, se utilizaron estaciones de trabajo con pantallas gráficas dobles y el sistema interactivo CHARISMA.

Posteriormente, se aplicó una serie de atributos sísmicos tanto al cubo como a las superficies correlacionadas. Finalmente se generaron mapas estructurales en tiempo de los eventos mencionados. Desafortunadamente, el tiempo disponible para la realización de la interpretación sísmica, así como la carencia del cubo de velocidades del proyecto, hizo imposible hacer un análisis de velocidades con el fin de realizar la conversión a profundidad.

## **V.- ESTRATIGRAFIA**

La secuencia estratigráfica se encuentra constituida por una alternancia de arenas y lutitas pertenecientes a las formaciones Zargazal y Encajonado del Pleistoceno, así como el Amate Superior del Plioceno Superior (Figura 3). Dicha secuencia parece sobreyacer a una discordancia angular que pone en contacto a sedimentos del Mioceno Superior y Plioceno con secuencias progresivamente más antiguas hacia la parte más profunda de la cuenca (Miranda Canseco, et al).

Se correlacionaron las unidades estratigráficas productoras: Arena 13 y Arena 32, Los horizontes Amate Superior y Arena-32, no se corrieron debido a que se localizan muy cerca de las unidades anteriores.

## **VI.- SISTEMA PETROLERO**

El sistema petrolero en el área de estudio quedó establecido con el descubrimiento del Campo Fortuna Nacional, el cual se encuentra dentro del subsistema generador Terciario, constituido por rocas depositadas en ambientes deltáicos del Mioceno Superior (aprox. 6.4 ma), mismas que expulsaron los hidrocarburos y que migraron a través de fallas durante el Pleistoceno (aprox. 1.7 ma) hasta quedar atrapados.

Un estudio de caracterización isotópica (HARC, 1998), reveló que el gas de la Cuenca de Macuspana fue originado por dos procesos distintos: microbial y termal, siendo este último el que prevalece en el área de estudio.

Las fallas normales y la estructura anticlinal, responsables del entrapamiento del yacimiento, probablemente fueron el resultado de esfuerzos verticales originados por el flujo de cuerpos arcillosos, posiblemente postdeposicionales.

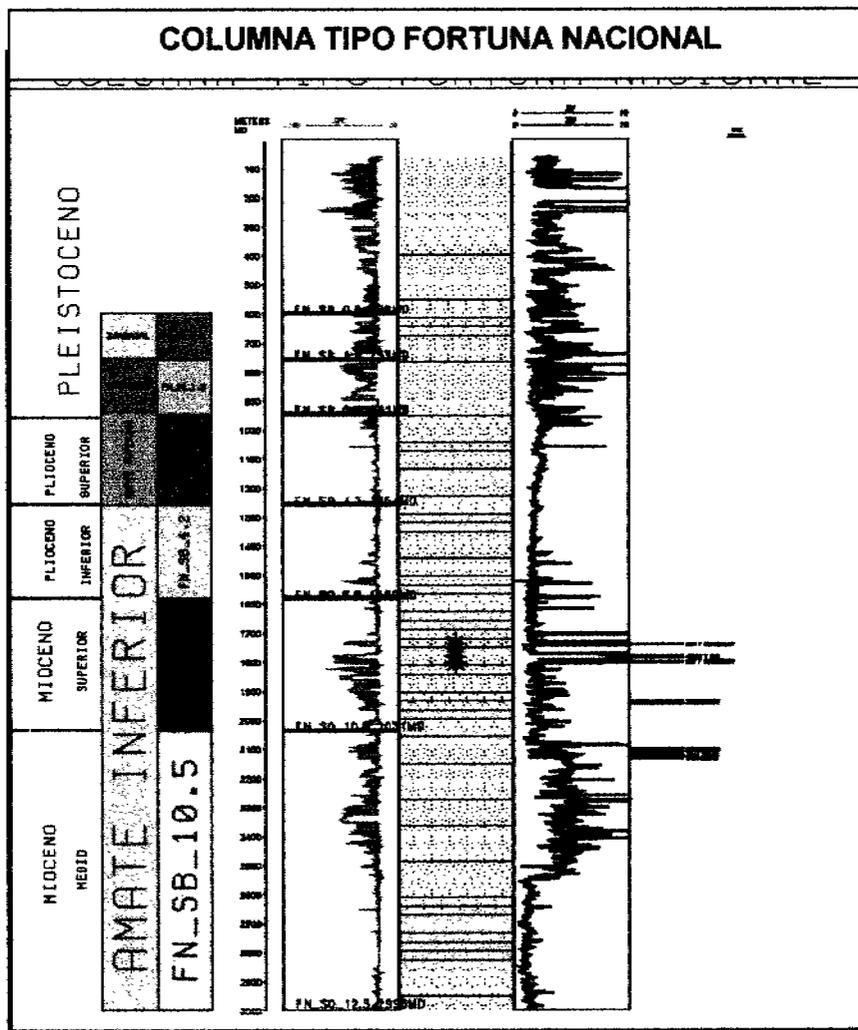


Figura 3.- Columna tipo del área de Fortuna Nacional

## VII. INTERPRETACIÓN SÍSMICA

### VII.1.- CALIDAD DE LA INFORMACIÓN UTILIZADA

La interpretación sísmica del Proyecto Fortuna Nacional se hizo apoyado en el cubo sísmico "3D", el cual fue adquirido en 1999 por la Compañía COMESA para PEMEX y procesado a principios del año 2000 por la misma empresa. Cubre aproximadamente 350 Km<sup>2</sup>, de los cuales se interpretaron 85 Km<sup>2</sup> (Figura 4).

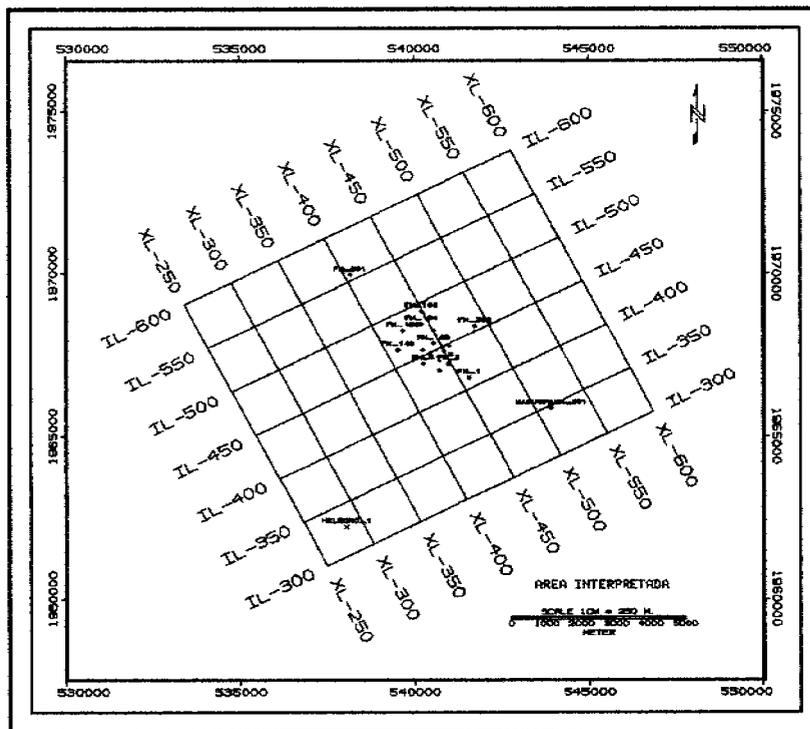


Figura 4.- Área interpretada

Las imágenes sísmicas interpretadas, consistieron de Inlines de dirección SW-NE, así como de Crosslines de dirección NW-SE. Para su interpretación, se tomó en consideración la información de pozos y la Geología Superficial del Activo.

La calidad de la información que se observa en la imagen sísmica se considera de buena a regular hasta los 2 segundos, ya que por abajo de ellos, la calidad se hace de regular a mala, al parecer debido a la presencia de un evento arcilloso regional de dirección NW-SE, cuyo emplazamiento causó empujes verticales hacia arriba que, al menos en el Campo de Fortuna Nacional, originó un arqueamiento anticlinal de menor cierre estructural, limitado en

su flanco NE por la falla FN\_1 de poco desplazamiento y con buzamiento al NE. La Arena-32 sigue el relieve de dicho arqueamiento.

## **DATOS Y PARÁMETROS DEL PROYECTO FORTUNA NACIONAL**

Template	12 líneas de 80 canales cada una
Tamaño del BIN	30*30 M
Apilamiento máximo (fold)	6*4=24
Offset máximo	3186 m
Intervalo entre receptores	60 m
Intervalo entre fuentes	60 m
Intervalo entre líneas receptoras	360 m
Intervalo entre líneas fuente	600 m
No. de canales por línea de registro	80
No. de líneas receptora por registro	12
Arreglo de geófonos	Lineal 6
Profundidad del Pozo	30 m
No. total de Puntos de tiro	4300
Longitud de grabación	8 s
Detectores por traza	6 de 10 hz.
No de líneas receptoras	57
No de líneas fuente	29
Técnica de adquisición	ortogonal
Tipo de fuente de energía	Dinamita

## **VII.2.- INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL**

De acuerdo a la interpretación sísmica "3D", se pudo definir que el área del proyecto se encuentra en un marco estructural netamente distensivo, caracterizado por fallas lístricas normales originadas por el emplazamiento de un cuerpo arcilloso regional de dirección NW-SE, identificable en la imagen sísmica abajo de los 2 segundos, precisamente en donde la calidad de la información se hace de regular a mala; Su flanco NE se encuentra afectado por



contenido en la Arena-32. Tiene una forma semitabular con una ligera inclinación hacia el poniente, lo cual causa que la estructura anticlinal de Fortuna Nacional se encuentre ligeramente recostada en la misma dirección. Dicha situación podría presentar condiciones favorables en el entrapamiento estructural de hidrocarburos al chocar los estratos, echado arriba, contra el cuerpo arcilloso.

En la mayor parte del proyecto, la cima del emplazamiento arcilloso es coincidente con una posible discordancia angular, sin embargo, en otros lugares la arcilla sobrepasó a dicha discordancia, sin haber asimilado completamente al paquete sedimentario subyacente, tal y como lo podrían confirmar los reflectores de regular a mala calidad que se observan dentro del cuerpo arcilloso. El reflector de la discordancia es persistente aún dentro del cuerpo arcilloso y puede servir como horizonte índice para conocer el comportamiento estructural de la intrusión arcillosa.

Es posible que el emplazamiento arcilloso haya sido causado debido a la carga diferencial que ejerció el paquete sedimentario de arenas y lutitas más densas, sobre arcillas poco compactas y de baja densidad, provocando que estas hayan incrementado su ductilidad y facilitado su emplazamiento. Su flanco NE se encuentra afectado por la falla FN\_1 con caída hacia la cuenca (Figuras 6 y 7). Dicho modelo coincide con estructuras reportadas en las costas de Texas y parte Norte del Golfo de México (Bruce, 1973).

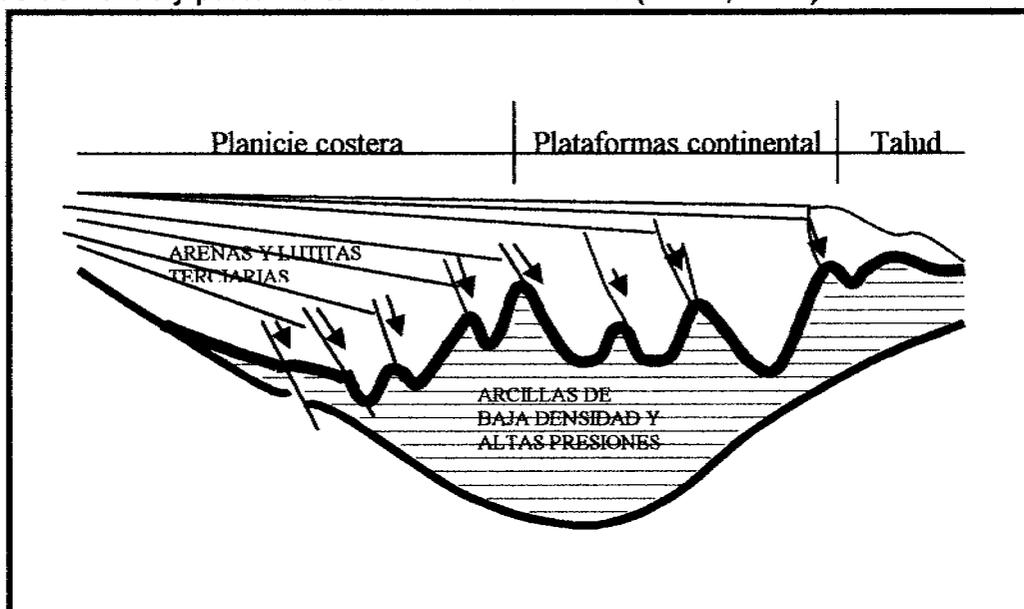


Figura 6.- Diagrama ilustrando masas residuales de arcillas terciarias, de baja densidad y altas presiones, creadas por compactación y carga diferencial del paquete sobreyacente de arenas y lutitas de mayor densidad.

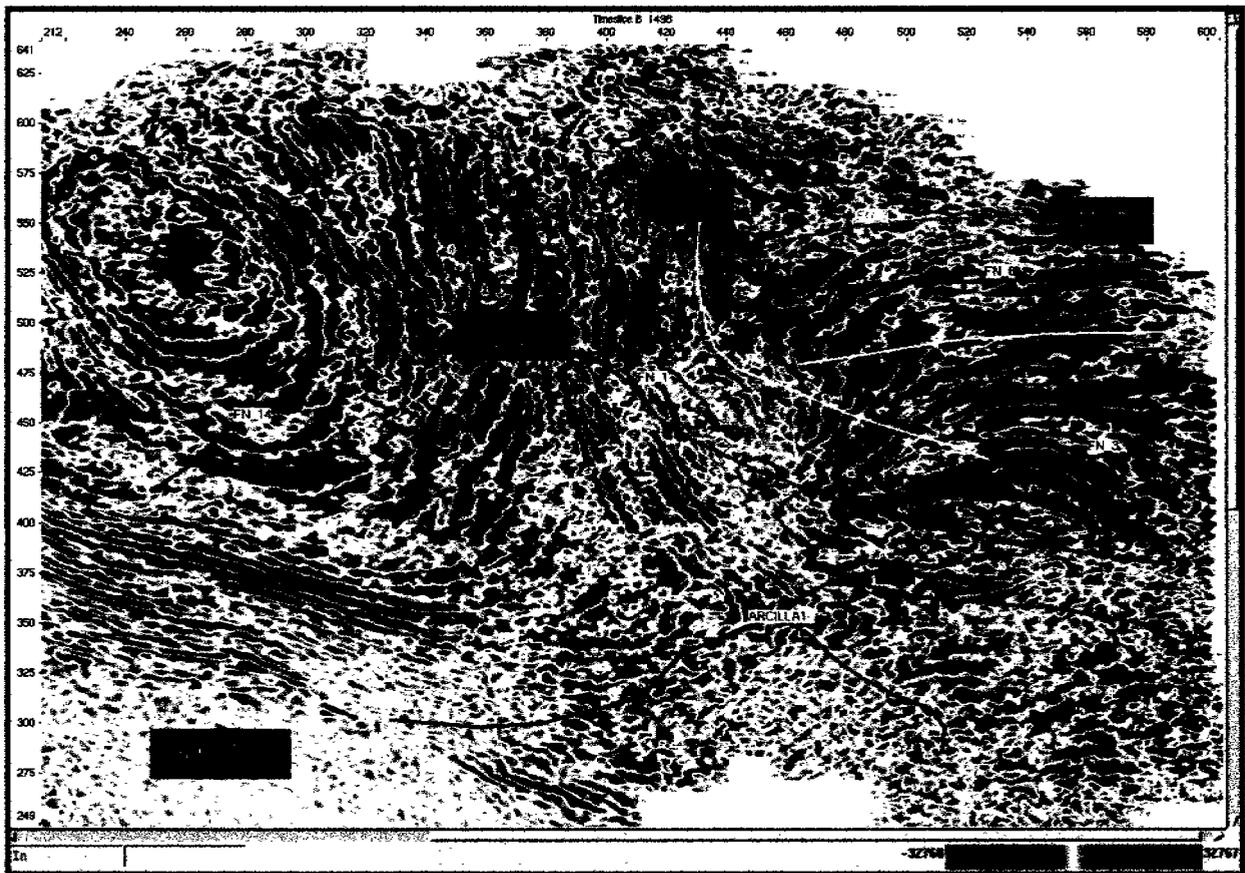


Figura 7.- Sección horizontal a 1500 ms

En la interpretación de los cubos "3D" José-Colomo y Vernet-Morales, localizados al NE del área de estudio, se postuló que la porción sur de la Cuenca de Macuspana estuvo sujeta a procesos tanto de expansión como de contracción desde el Mioceno hasta el Reciente; sin embargo, de acuerdo a la presente interpretación, dentro del área no se define tales estilos de deformación. Sin embargo, es posible que dichos eventos hayan ocurrido antes del emplazamiento arcilloso y que ahora se encuentren enmascarados por él.

### VII.2.1.- FALLAS

Por lo menos se pudieron identificar 8 fallas lítricas normales:

**FALLA FN\_1.-** Presenta una dirección NW-SE y caída hacia el NE. Se caracteriza por ser de poco desplazamiento y limitar el flanco Norte del cuerpo arcilloso regional. En la imagen

sísmica se identifica abajo de los 2 s, mismo que levantó el paquete sedimentario de manera considerable en el pié de la falla del extremo SE (XLN\_350- XLN\_400)

La falla FN\_1 termina abruptamente en el cuerpo arcilloso principal; sin embargo en algunos sitios parece profundizarse. Debajo de la apófisis arcillosa, la Arena-32 solo sufrió el arqueamiento debido a la intrusión del cuerpo arcilloso regional, por lo que su reflector permanece casi continuo.

**FALLA FN-2.** - En la INL-575, se observa un monoclinal generado, al parecer, por un cuerpo arcilloso emplazado aproximadamente a los 2 s; la falla FN\_2 solo aparece como un plano de debilidad con desplazamiento casi nulo y, al parecer, generado por el empuje vertical de la apófisis arcillosa que originó el Anticlinal de Fortuna Nacional, de dirección Norte-Sur.

A partir de la Inl 550, la estructura de Fortuna Nacional comienza a hacerse más evidente, limitada en su flanco poniente por la falla FN\_2.

En la ILN-475 se observa como la apófisis arcillosa posiblemente fluyó por la falla FN\_1, de tal manera que arriba de un segundo de la INL-400 alcanza su máxima espectacularidad al levantar y plegar a la columna sedimentaria sobreyacente, como lo evidencia el corrimiento de la Arena-13

**FALLAS: FN-3, FN-4, FN5, FN-6 y FN-7.-** Estas fallas, de dirección Este franco, fungen como fracturas ya que presentan poco desplazamiento. Terminan casi perpendicularmente contra la falla FN\_2. Posiblemente fueron generadas debido a los esfuerzos de empuje vertical al intrusonar la apófisis arcillosa.

**FALLAS: FN-10 y FN-13** - Estas fallas presentan el mismo origen que la falla FN\_1, debido a que limitan el flanco Norte de una irregularidad del cuerpo arcilloso regional, mismo que tiene su máxima expresión en esta porción en donde se hace más somero y en donde levanta a la columna sedimentaria de manera sobresaliente.

## IMAGENES SIMICAS INLINE DE DIRECCIÓN SW-NE:

### IMAGEN SÍSMICA INLINE-375

La apófisis arcillosa superior intrusiva y a la vez se encuentra limitada en su flanco NE por la falla FN\_1, misma que, posiblemente fungió como plano de debilidad por el cual comenzó a fluir el cuerpo arcilloso y a la vez formó el Anticinal (Figura 8). Se hace evidente el ligero volcamiento de la estructura hacia el SW.

Entre la INL-360 y la INL-380, hay reflectores con buena amplitud, en un anticinal limitado en su flanco NE por la falla FN\_1 y cuyo cierre estructural culmina en el cruce de la INL-370 con la XLN-480. Dicha estructura parece estar originada por el emplazamiento de la apófisis arcillosa, la cual, al igual que en el Campo Fortuna Nacional, levanta a la Arena-13 aproximadamente a los 750 ms, por lo que ambas estructuras estarían genéticamente relacionadas al evento arcilloso regional profundo.

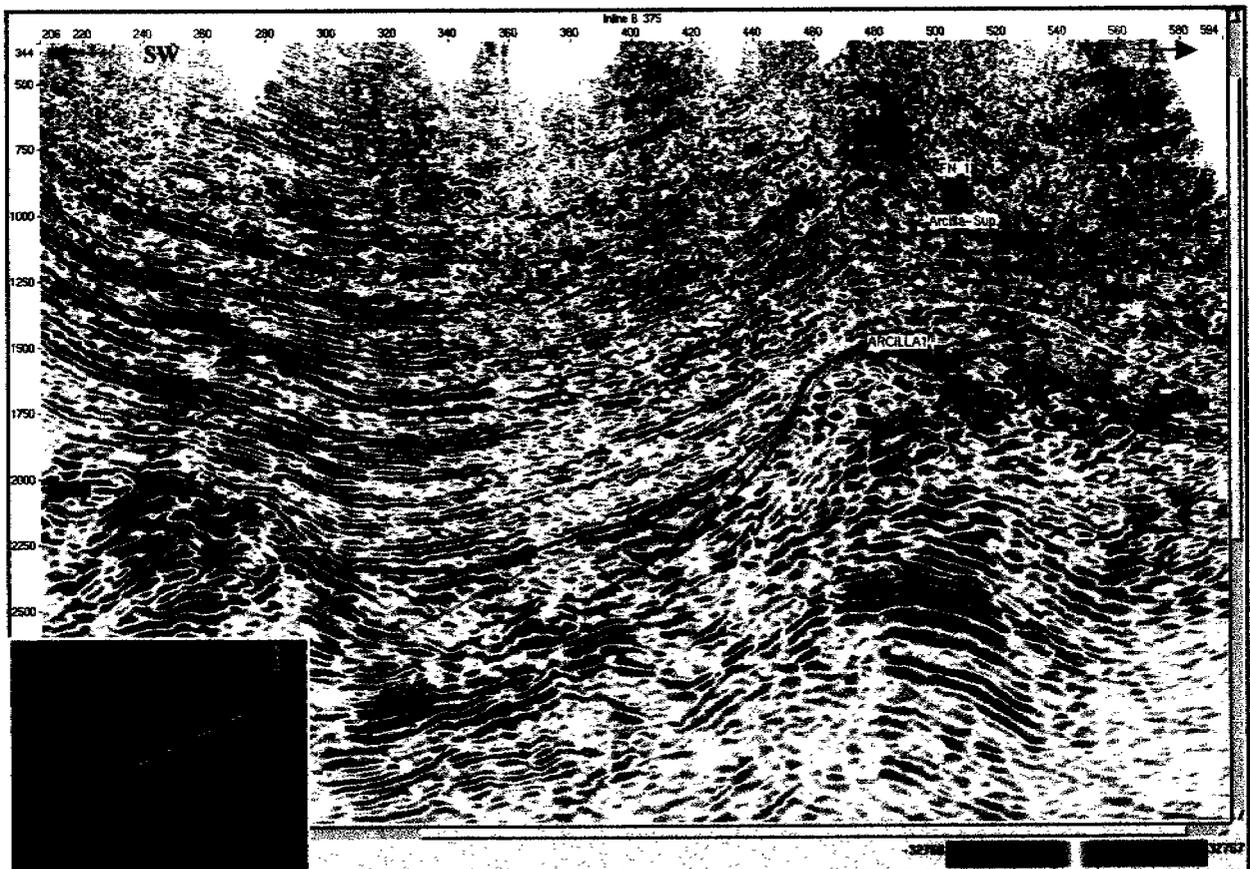


Fig. No. 8.- Imagen Sísmica INL-375

## IMAGEN SÍSMICA INLINE 439

Esta sección pasa por el Pozo FN-9, el cual es productor en el intervalo 1760-1770, correspondiente a la Arena 32; cuyo plegamiento parece ser causado por el emplazamiento del cuerpo arcilloso regional más profundo y es sobreyacida por la apófisis arcillosa superior, que podría fungir como roca sello. Obsérvese la disarmonía estructural existente entre la Arena-13 y la Arena-32

La Inline-443, pasa por el Pozo FN-6, el cual resultó seco hasta los 1238 m, en la imagen se observa que cortó a la Arena-13 y entró al cuerpo arcilloso, sin embargo más abajo, se observa la Arena-32, con atractiva posición estructural, aunque una mejor posición sería en donde se localiza el pozo FN-4, productor en el intervalo 1046-1047 m, sin haber llegado a la Arena-32.

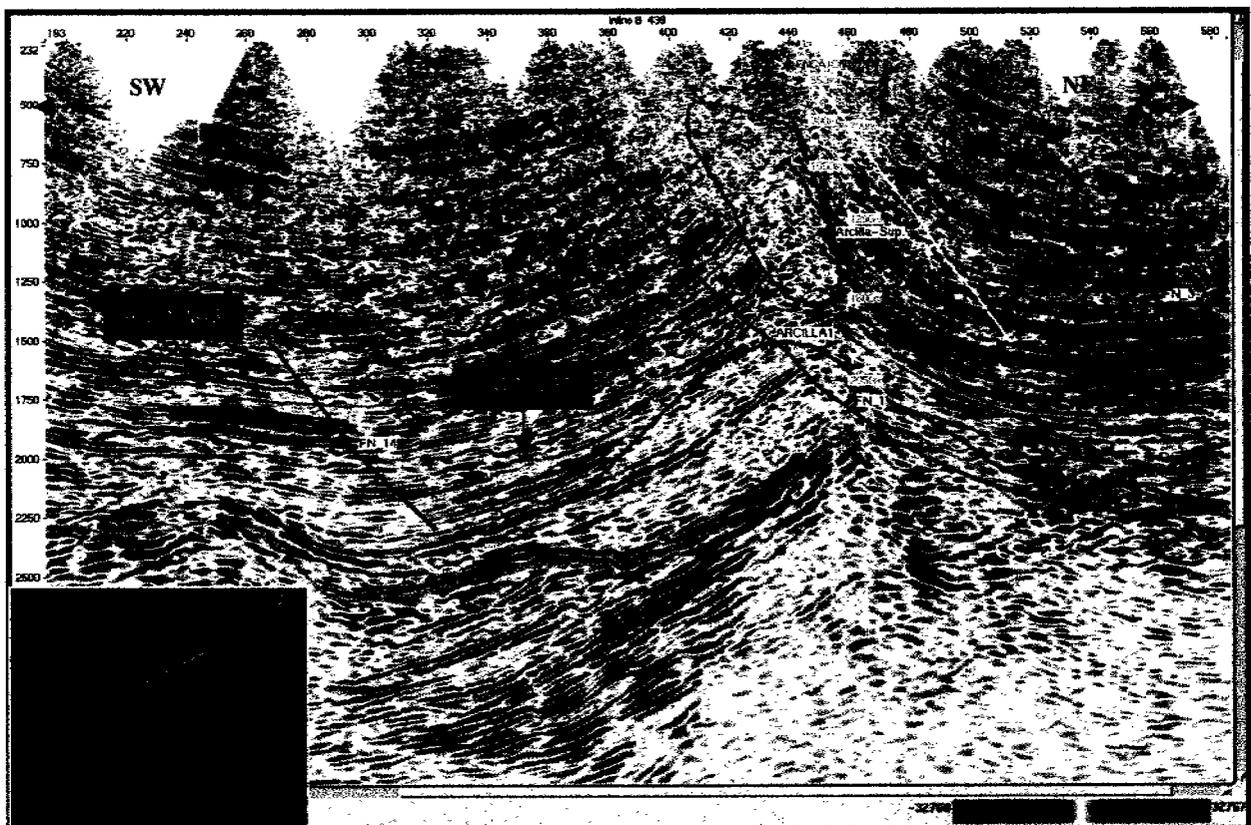


Fig. No. 9.- Imagen Sísmica INL-439

## **IMAGEN SÍSMICA INLINE 456**

Esta sección pasa por los pozos FN: 107, 109, 110 y 301, se observa que la apófisis arcillosa alóctona se encuentre limitada por las fallas FN\_1 y FN\_2, las cuales relativamente se van haciendo divergentes hacia la superficie debido a que la apófisis arcillosa toma una dirección casi Norte franco.

El emplazamiento de la apófisis arcillosa origina el anticlinal de Fortuna Nacional con un gran cierre estructural, tal y como lo evidencia el levantamiento espectacular de la Arena-13. Asimismo, genera a la falla FN-2, misma que limita a la apófisis en su flanco NE. Se hace más evidente el recostamiento de la estructura hacia el SW.

La Arena-32, cortada en el intervalo 1760-1770 por el pozo FN-109, sigue el arqueamiento relativamente mas suave del evento arcilloso regional mas profundo.

Dentro del cuerpo arcilloso se observa un fuerte reflector, atribuido a una posible discordancia. En la mayor parte del área del proyecto es coincidente con la cima del cuerpo arcilloso, sin embargo, en varios lugares se encuentra incluida dentro del mismo, posiblemente debido a que no fue asimilado completamente por la arcilla.

En el flanco SW del anticlinal de Fortuna Nacional, la Arena-13 choca, echado arriba, contra la apófisis arcillosa, condición que pudiera presentar interés desde el punto de vista de entrapamiento estratigráfico

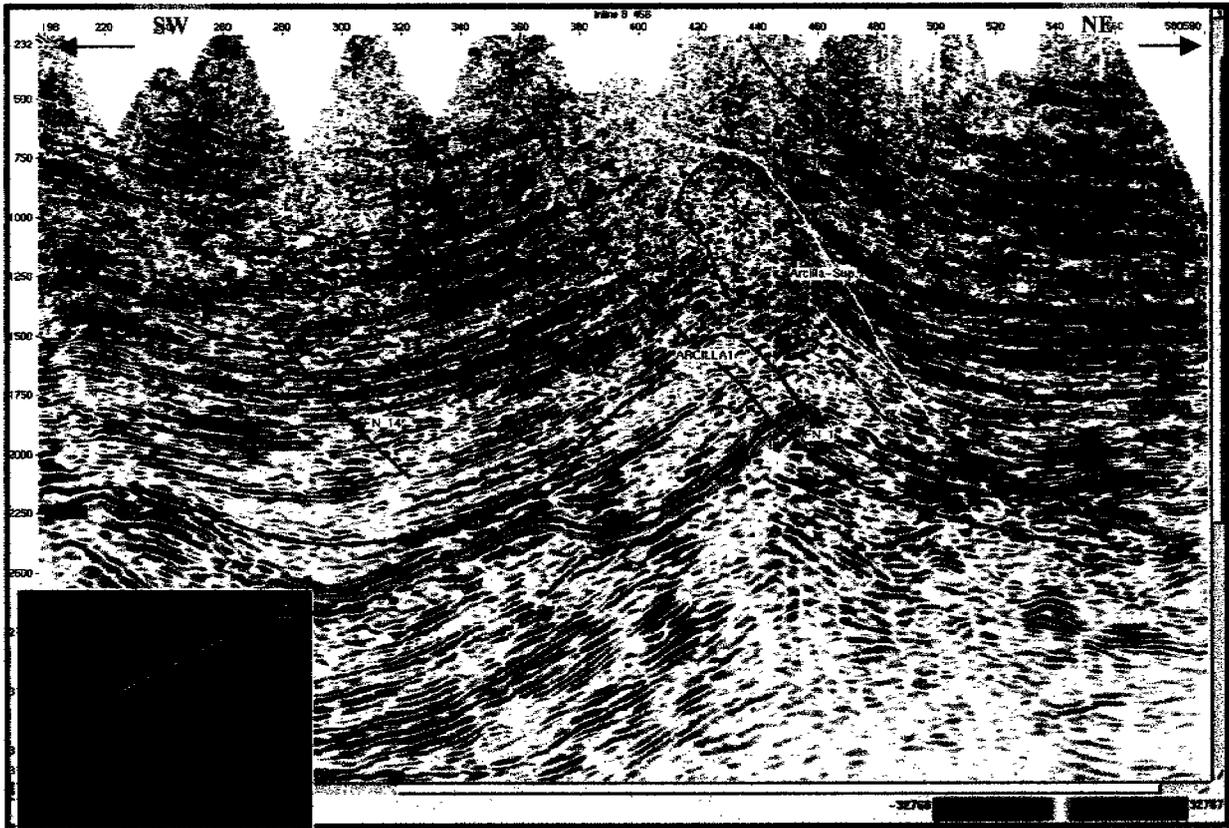


Fig. No.10.- Imagen Sísmica INL-456

### IMAGEN SÍSMICA INLINE-556

En esta sección, se observa como las fallas FN\_1 y FN\_2, afectan respectivamente los flancos de dos masas arcillosas residuales, mismas que pliegan, de manera suave, a la Arena-13 y 32, respectivamente; en el extremo derecho se observa la presencia de un monoclinal, posiblemente provocado por el empuje vertical del evento arcillosos regional, identificable debajo de los 2 segundos. Es posible que las fallas FN\_7 y FN\_6 hayan tenido el mismo origen que las fallas anteriores.

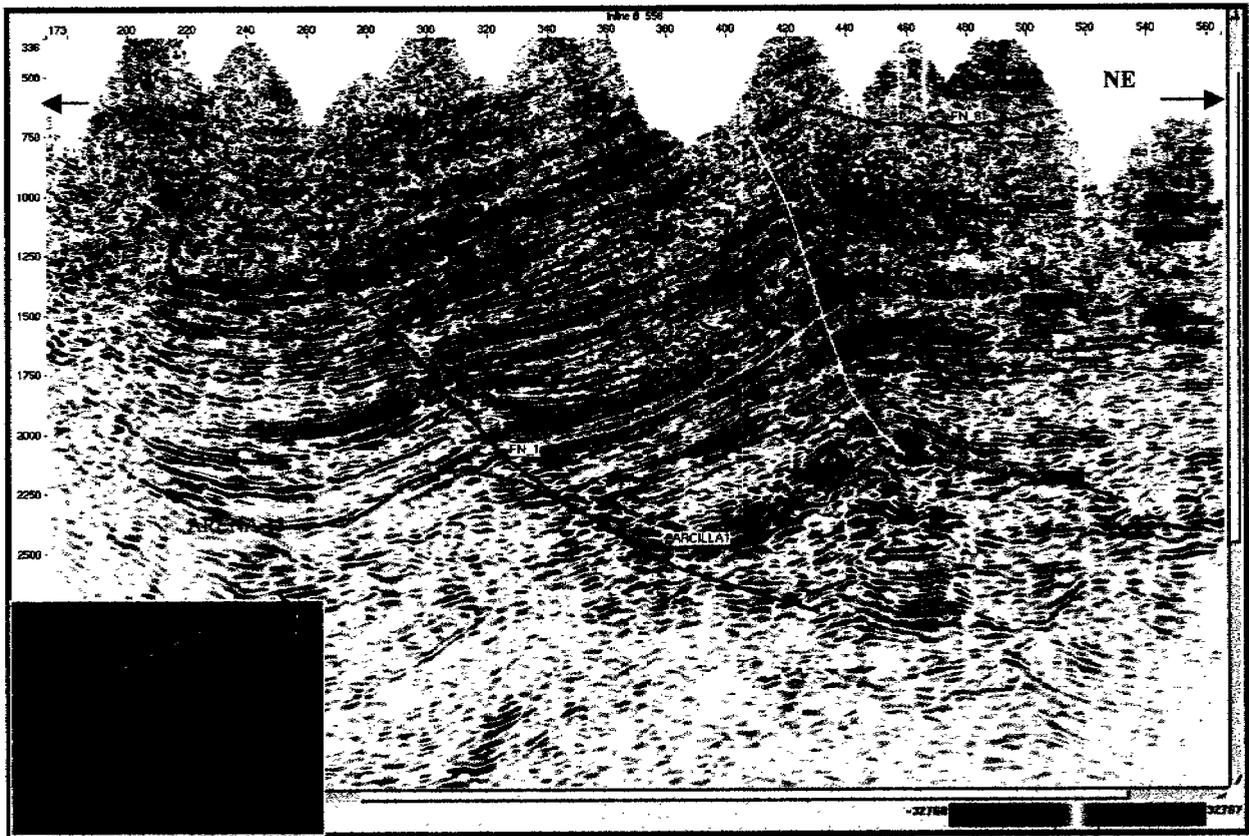


Fig. No.11.- Imagen Sísmica INL-556

## IMÁGENES SÍSMICAS CROSSLINE DE DIRECCIÓN NW-SE

### IMAGEN SÍSMICA XLN-350

Aproximadamente a los 2 seg de la sección. se observa la presencia del cuerpo arcilloso regional, limitado en su flanco Norte por la Falla FN\_1, la cual buza en dirección a la cuenca, con desplazamiento casi nulo, como lo indica el corrimiento de los horizontes: Arena-13 y Arena-32.

Al NW de la falla FN\_1, los reflectores se observan de buena calidad mientras que, en el pié de la falla los reflectores se hacen de regular a mala calidad y de mayor pendiente, indicando la presencia del levantamiento debido al cuerpo arcilloso regional emplazado.

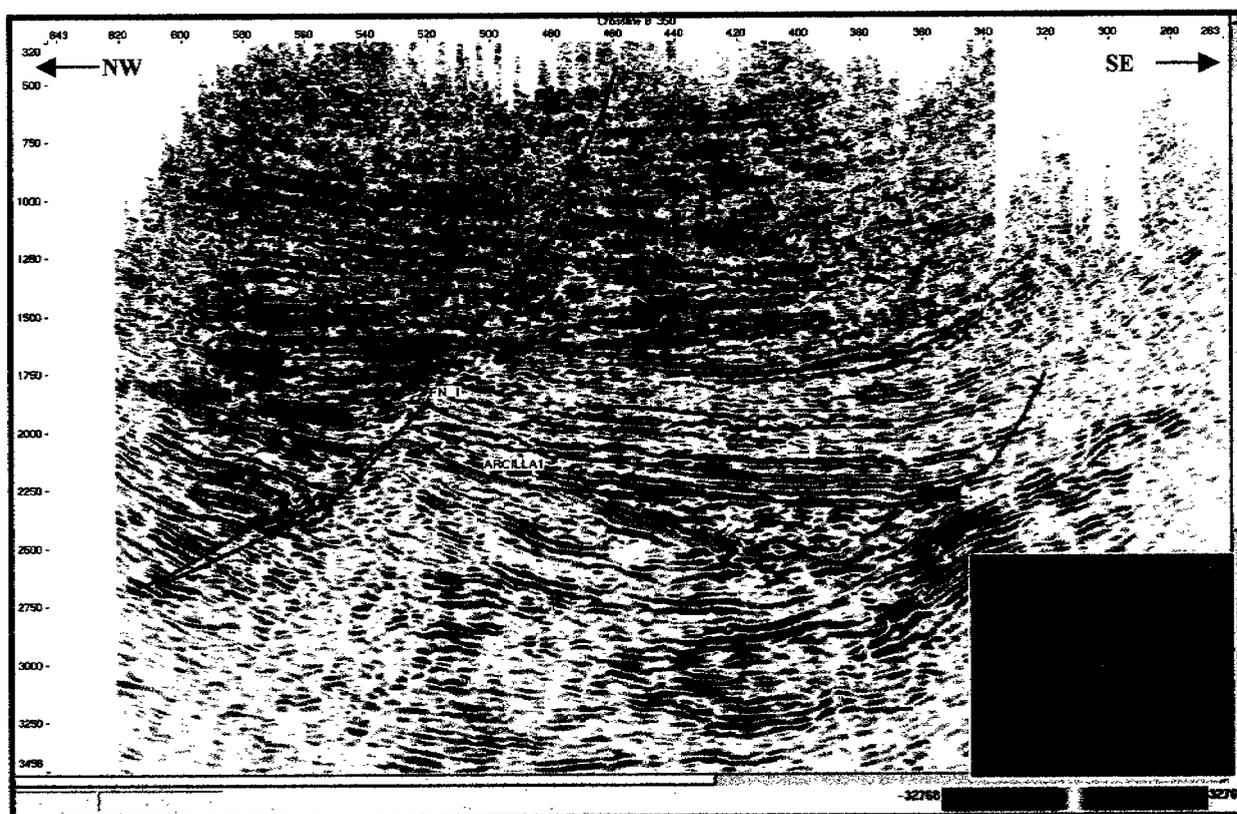


Figura 12.- Imagen Sísmica XLN- 350

### IMAGEN SÍSMICA XLN-425

Esta línea pasa por el Pozo FN\_106, el cual tuvo una terminación inconclusa, con "pescado" a 1448 m. En la imagen se observa que las fallas FN-1 y FN\_2 sirvieron como límites occidental y oriental de la apósis arcillosa, misma que, arriba de 1 s, intrusiva y genera el anticlinal de Fortuna Nacional, levantando espectacularmente a la Arena-13. La Arena-32, por su parte, no sufre el levantamiento generado por la apósis y solo es ligeramente arqueada debido al evento arcilloso regional más profundo.

En el cruce de esta línea, con la Inline 450 se observa una serie de reflectores de buena amplitud y echado hacia arriba, los cuales chocan contra la apósis arcillosa que tiene una inclinación al SE. Dichos reflectores pudieran sugerir y presentar interés como entrapamiento estratigráfico.

El extremo Norte de la falla lístrica FN\_2 tiene una dirección Norte franco, mismo que, a la altura del pozo FN-104 se flexiona para tomar la dirección NW-SE y se hace relativamente paralela a la falla FN\_1; estas convergen aproximadamente a los 2 seg.

Las fallas: FN-3, 4, 5 y 6 terminan contra la Falla FN-2. Obsérvese que los horizontes de la Arena-13 y Arena-32, que son productores, guardan el mismo nivel a ambos lados de la intrusión.

En el extremo Sur, se generan las fallas lístricas: FN-6 y FN-13, las cuales, al igual que la FN-1, limitan el flanco Norte del cuerpo arcilloso regional, mismo que se hace más somero en esta porción y es evidenciado por la mala calidad de la información sísmica de la secuencia que lo representa.

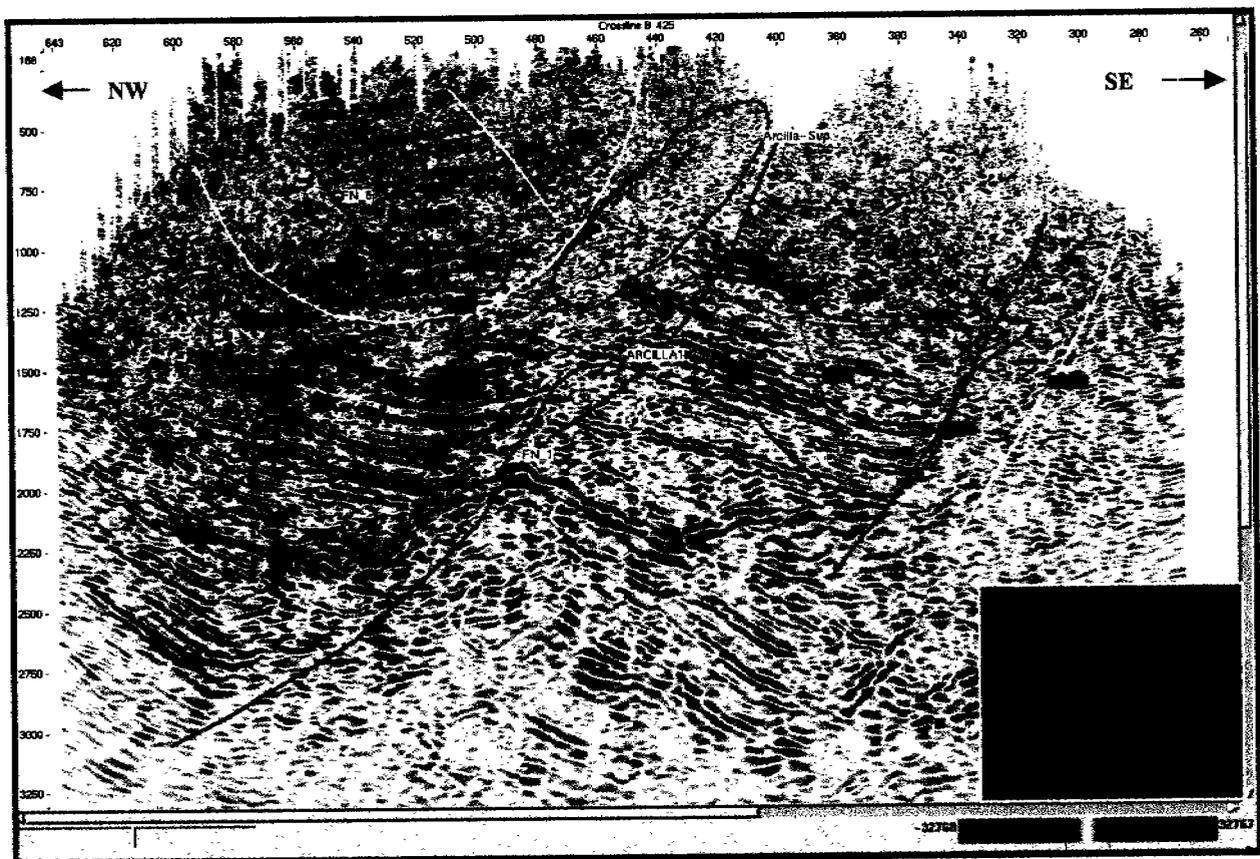


Fig. No. 13.- Imagen Sísmica XLN- 425

## IMAGEN SÍSMICA XLN-450

La crossline-450 Pasa por el Pozo FN\_4, el cual es productor de aceite en el intervalo 1042-1046. Se observa que no alcanzó la Arena-32, la cual tiene posibilidades debido a que le sobreyace la apófisis arcillosa alóctona, que pudiera fungir como sello. Nótese que la Arena-13, se encuentra menos plegada que en la imagen anterior, mientras que la Arena 32 presenta una leve depresión entre las fallas FN\_1 y FN\_2, posiblemente debido al menor cambio de velocidad experimentado por la apófisis arcillosa sobreyacente. El reflector correspondiente a la posible discordancia, localizado aproximadamente a 1800 ms y marcado en color azul, exhibe una fuerte depresión, lo que podría reforzar el cambio de velocidades experimentado tanto por la apófisis arcillosa, así como la arcilla que le sobreyace y dentro de la cual, al parecer, se encuentra incluida. Cabe la posibilidad de que el desalajo inferior de la arcilla haya motivado la subsidencia del paquete sedimentario.

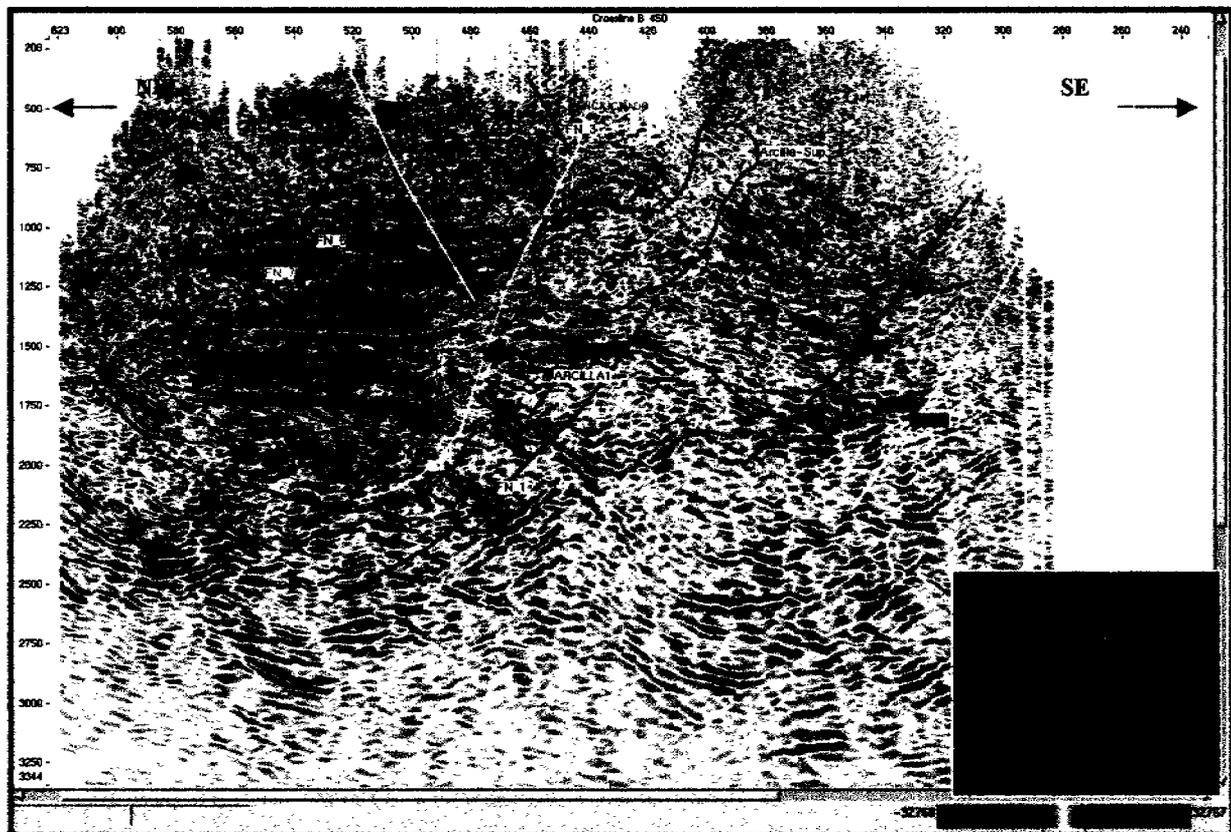


Fig. No. 14.-Imagen Sísmica XLN- 450

## IMAGEN SÍSMICA XLN-500

En esta línea se observa que permanece consistente el mismo sistema de fallas descrito anteriormente, sin embargo, el efecto ocasionado por la apófisis arcillosa casi desaparece y solo se observa un ligero arqueamiento de los reflectores entre las fallas FN\_1 y FN\_2.

El evento sismoestratigráfico arcilloso regional domina casi toda la porción Sur del área estudiada, haciéndose muy somero y solo se observan irregularidades de este que sobreyacen a reflectores de buena amplitud, como los que se localizan en el cruce con la Inline 350, aproximadamente a los 1.5 s y que pudieran presentar un posible entrapamiento con interés petrolero

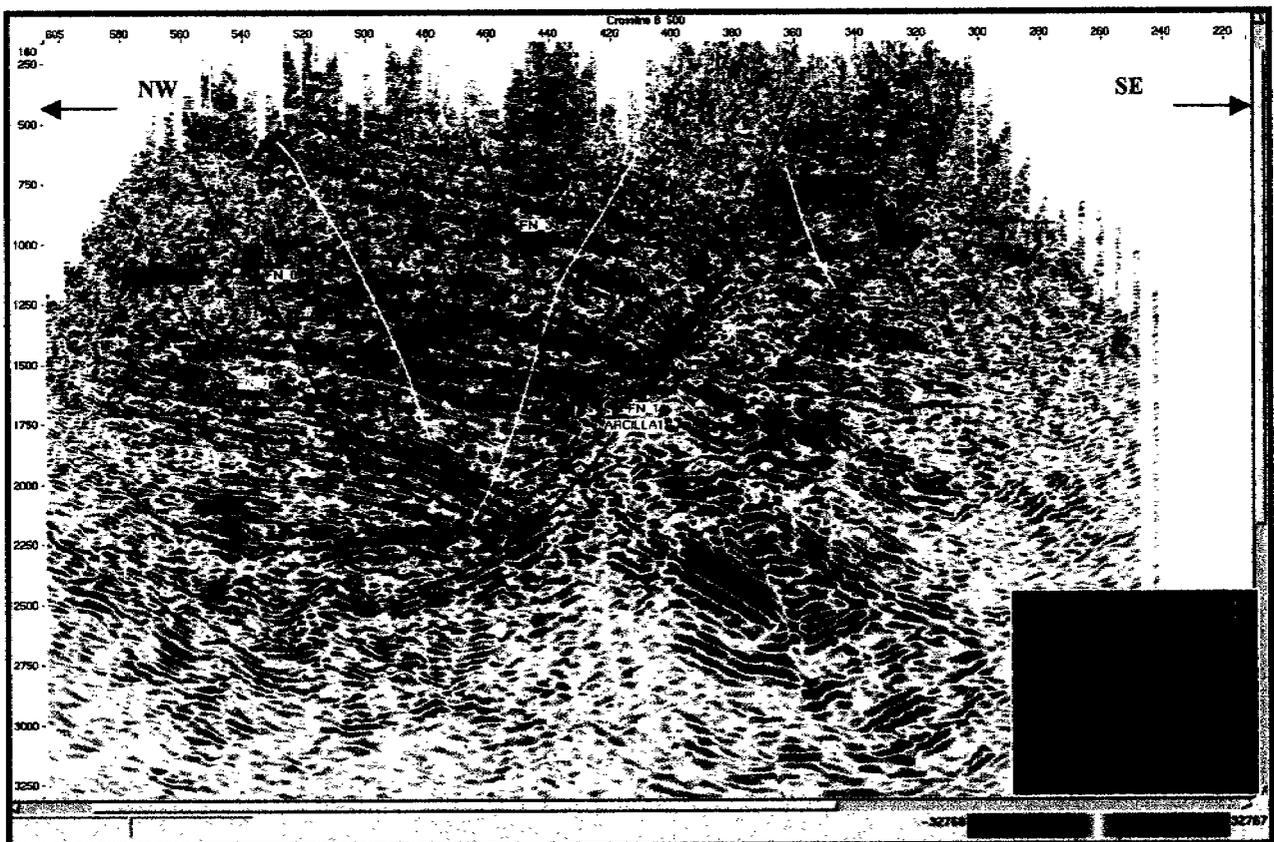


Fig. No. 15.- Imagen Sísmica XLN-500

Debajo de la apófisis arcillosa, precisamente donde se observa la Arena-32, se observa que los reflectores se vuelven relativamente cóncavos, posiblemente debido al cambio de menor velocidades que experimentaría la apófisis arcillosa, lo cual retardaría la señal sísmica,

produciendo un efecto de "pull-down" en los reflectores, cuyo efecto se observa más remarcado en la posible discordancia.

### IMAGEN SÍSMICA ALEATORIA FN-201\_MACUSPANA-201

Esta línea (Figura 16), de dirección NW-SE, se trazó debido a que pasa por los pozos: FN-101, FN-109, FN-4 y FN-9. Se observa una disarmonía estructural entre la Arena-13 y la Arena-32, la primera al parecer, debido a la apófisis arcillosa alóctona que origina al Anticlinal de Fortuna Nacional y la segunda arqueada por el evento arcilloso regional mas profundo. La falla FN\_2 presenta forma de U debido a que la sección corta dos veces a la falla y tiene un salto mayor en su flanco SE posiblemente debido al emplazamiento de la apófisis arcillosa.

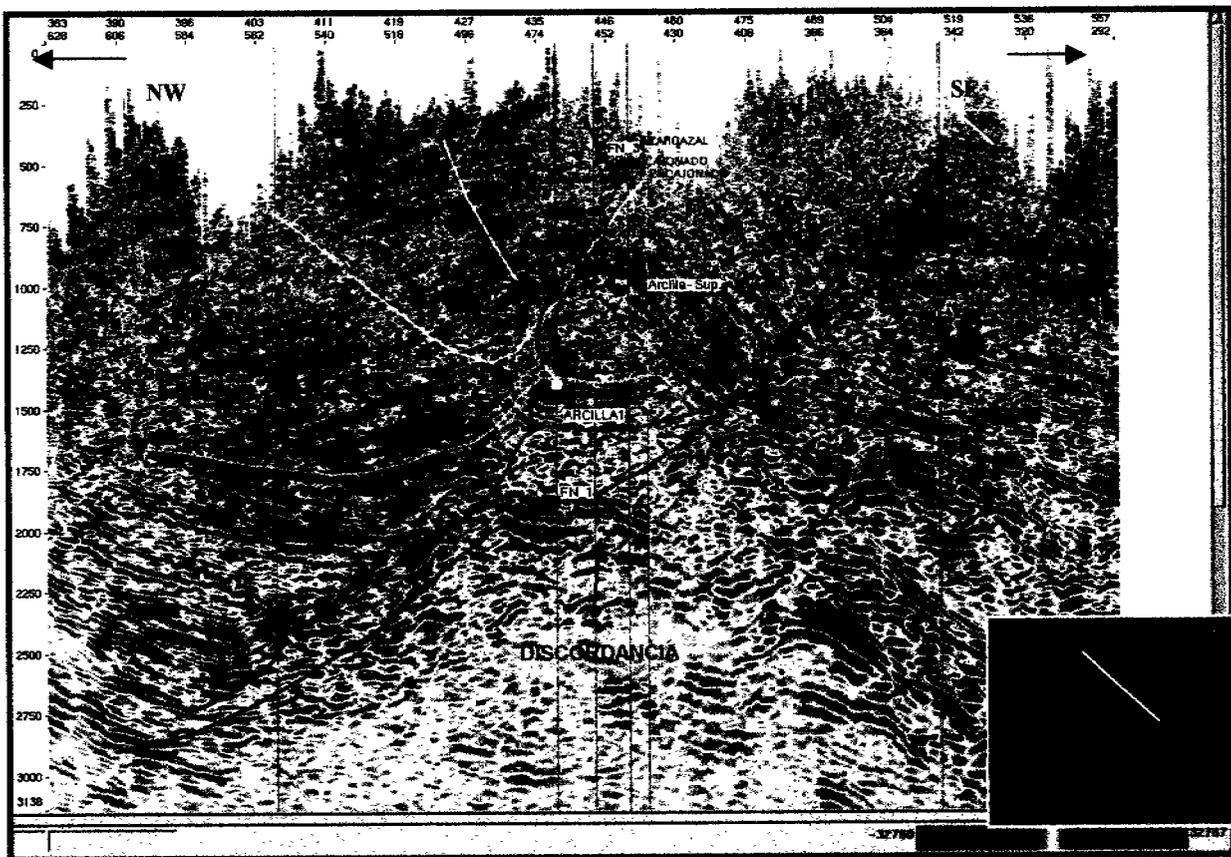


Figura 16.- Línea aleatoria que pasa por los pozos FN-101, FN-109, FN-4 y FN-9. Nótese el posible "pull down" que experimentan los reflectores a la altura de la Arena-32 (Aprox. 1500ms) posiblemente debido a la menor velocidad de la apófisis arcillosa sobreyacente.

### VII.3.- CORRELACION Y DESCRIPCION DE HORIZONTES

Con base en los registros sónicos de cada pozo, se generaron sus correspondientes sismogramas sintéticos, con el fin de colocar de manera confiable, las cimas de las unidades en la sísmica de superficie. Los horizontes productores: Arena-13 y Arena-32, se picaron a cada 5 Inlines; Asimismo, se corrió la cima de la intrusión arcillosa, la cual puede ayudar a explicar el origen del marco estructural del área. La posible discordancia también se corrió aunque en su mayor parte es coincidente con la cima del evento arcillosos regional. El horizonte Amate superior y la productora Arena-34, no se corrieron debido a que se encuentran muy cerca de la Arena-13 y Arena-32. respectivamente.

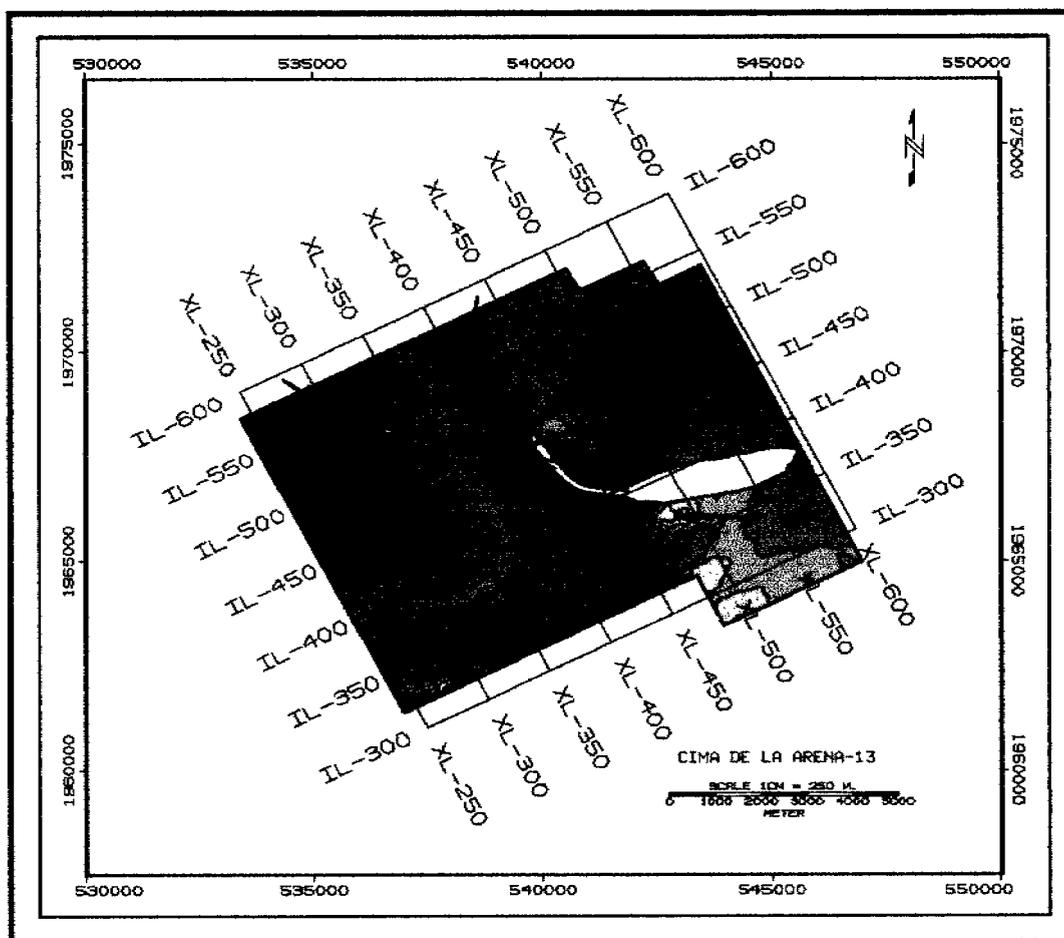


Figura 17.- Configuración en tiempo de la Cima Arena-13

La Arena-32 se amarró con el marcador de los pozos: FN-109, por contar con registro sónico, mientras que la posible discordancia angular se corrió de acuerdo a un reflector de fuerte impedancia acústica, perfectamente distinguible en la porción SW de la Falla FN\_1; Sin embargo, en la porción oriental es más difícil de seguir. Esta discordancia se puede tomar como horizonte índice ya que proporciona información del comportamiento estructural de la arcilla, debido a que parece haber funcionado como un sello o cierre que impidió el flujo directo de ellas hacia arriba, provocando un arqueamiento y un relieve irregular de ella y solo fluyó en donde encontró planos de debilidad como la Falla FN\_1. En algunos casos, como en la parte oriental del estudio, la discordancia parece haber sido incluida dentro de la arcilla sin haber sido completamente asimilada, por lo que en algunos lugares se observan trazas de ella dentro del cuerpo arcilloso.

### **DESCRIPCIÓN DE LA ARENA-13**

Para la Arena-13 se realizó su configuración en tiempo, con isócronas espaciadas a cada 50 ms (Figuras 17 y 18). Su espesor varía de 2.5 a 25 m; la longitud de onda para este tiempo es de 168 m y su resolución sísmica vertical es de 42 m , por lo que puede presentar problemas de sintonía.

En la estructura de Fortuna Nacional, de dirección NNW-SSE, este horizonte presenta un cierre estructural de 550 ms al Sur del pozo FN\_3. Su flanco SW se encuentra limitado por la apófisis arcillosa que intrusionó y originó el Anticlinal de Fortuna Nacional. Su extremo NW, lo marca la falla lítrica normal FN\_2, la cual presenta la misma dirección, sin embargo, a la altura del pozo FN\_104 se flexiona bruscamente para tomar una dirección casi Este franco; su origen también parece relacionarse con el empuje vertical ejercido por el emplazamiento de la apófisis.

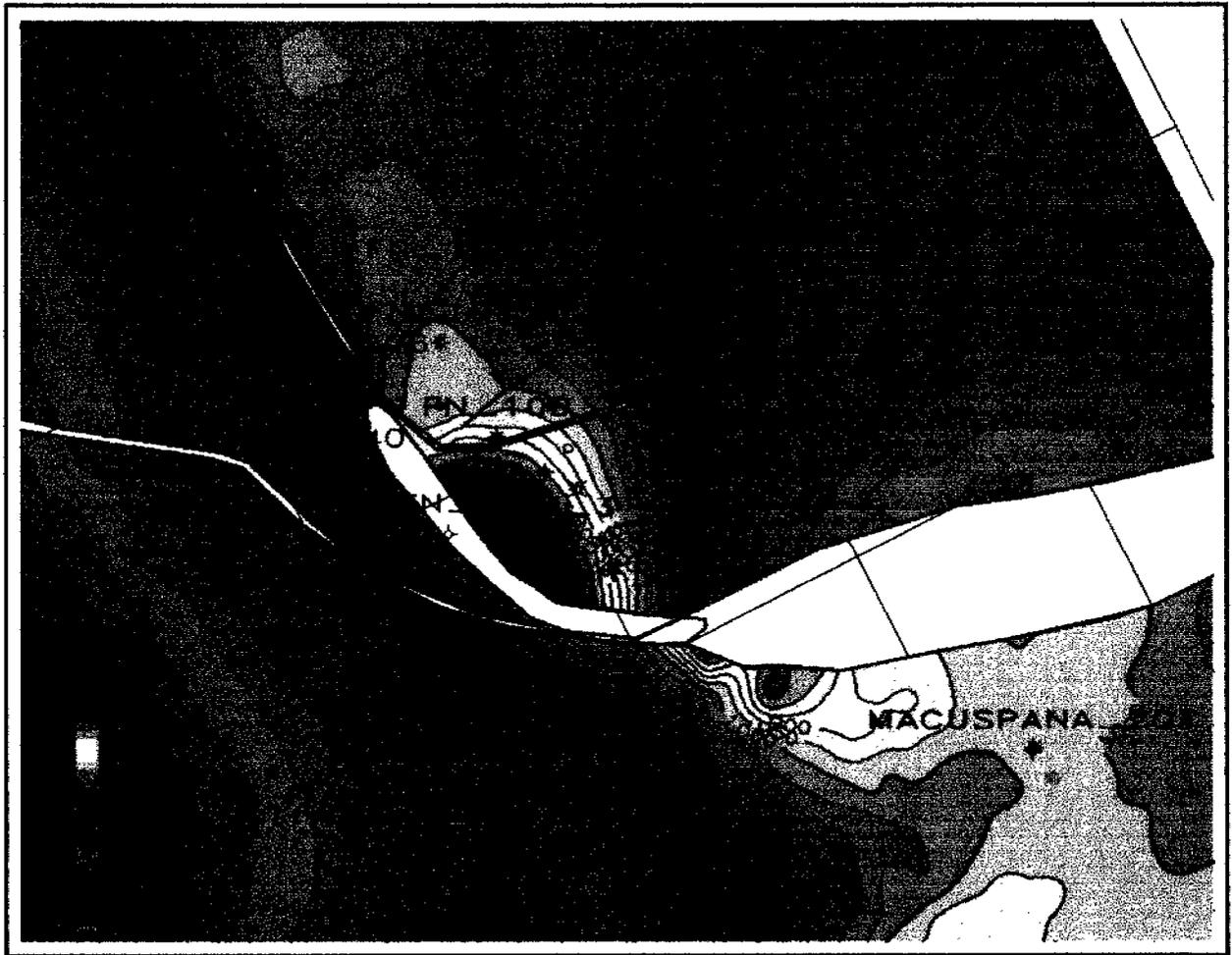


Fig. No. 18.- Detalle de la configuración en tiempo de la Cima Arena-13

El Anticlinal Fortuna Nacional presenta una dirección NW-SE, así como un ligero recostamiento al SW. Su flanco SW se encuentra limitada por la falla FN\_2 de poco desplazamiento. La Arena-13 fue levantada por la apófisis arcillosa hasta los 550 ms, misma que queda limitada en su extremo norte por la falla FN\_2 de dirección Este-Oeste.

#### a) DESCRIPCIÓN DE LA ARENA-32

Según los registro de pozo, esta arena presenta espesores variables de 4 a 80 m. La longitud de onda para esta profundidad es de aproximadamente 150 m y la velocidad de intervalo de 2500 m/seg; la resolución sísmica vertical es de aproximadamente 37 m. Por lo que, en algunos tramos, puede ser afectado por efectos de sintonía. En la configuración en tiempo, realizada con isócronas espaciadas a cada 50 ms (Figuras 19 y 20), se observa que,

en el área del pozo FN\_109, existe un cierre estructural a los 1450 ms, posiblemente provocado por el emplazamiento del cuerpo arcilloso regional más profundo.

La falla FN\_1, de dirección NW-SE, se caracteriza por presentar un desplazamiento casi nulo en su extremo NW y parte intermedia, mientras que, su extremo SE, se encuentra afectado por un gran salto vertical, posiblemente debido al empuje ejercido por el cuerpo arcilloso regional que levantó a la secuencia estratigráfica sobreyacente.

Al Norte del pozo Macuspana-201, se observa que el cuerpo arcilloso emplaza y origina un anticlinal con un cierre estructural contra la falla FN\_1 de 1250 ms. Dicho cuerpo arcilloso se hace más somero en esta porción y, al parecer, tiene una estrecha relación con el trend arcilloso localizado mas al Sur, mismo que a la altura del pozo Helecho-1, se flexiona para tomar la dirección NNW-SSE pasando al poniente del Campo Morales y mas al Norte en las cercanías del Campo Luna.

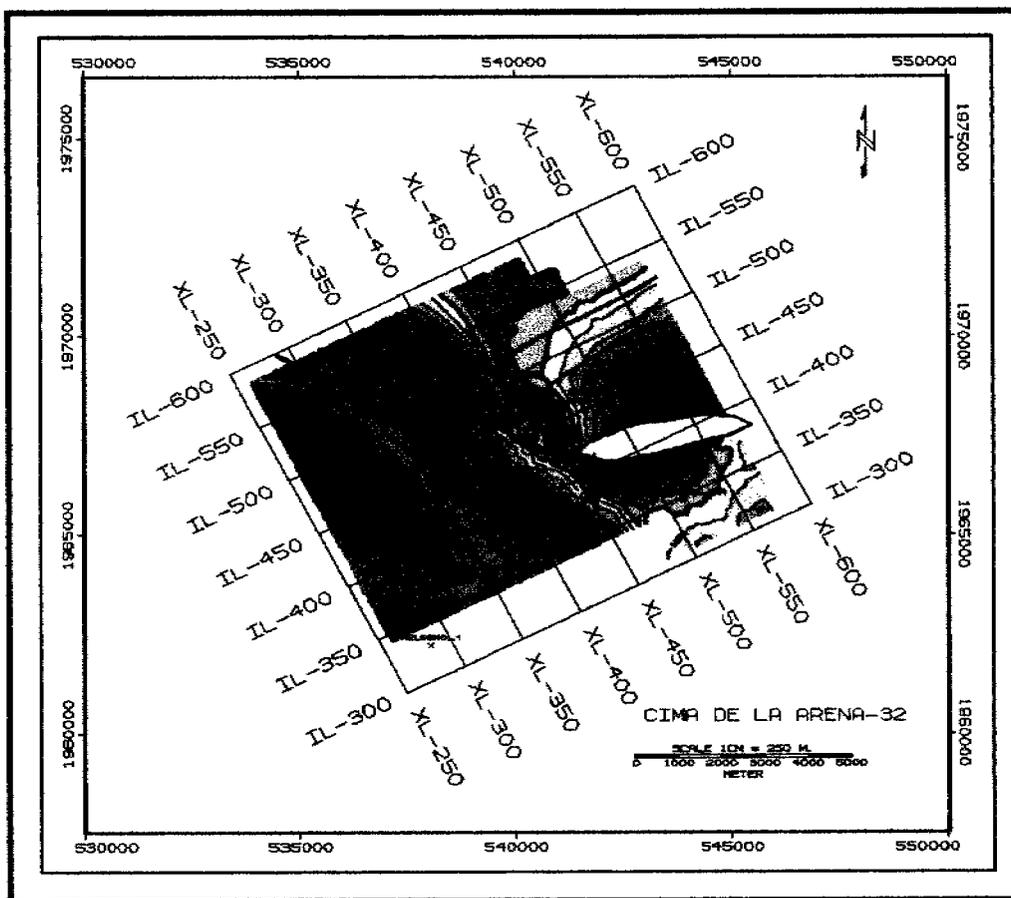


Fig. No. 19.- Configuración en tiempo de la Cima Arena-32



Figura 20.- Detalle de la configuración en tiempo de la Arena-32. El cierre estructural contra el cuerpo arcilloso al NW del Pozo Macuspana-201, puede presentar interés petrolero.

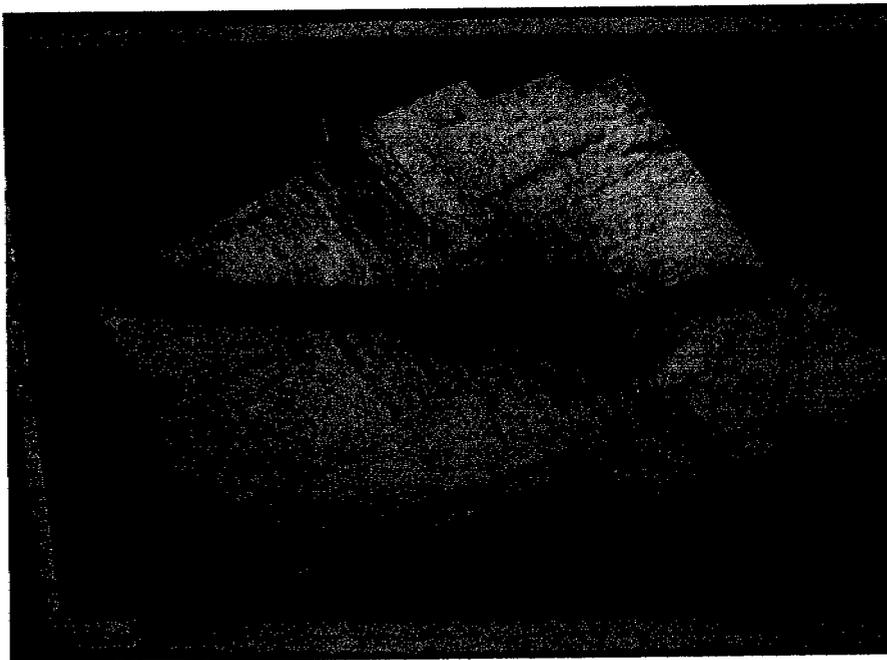


Fig. No. 21.- Modelo "3D" tomada hacia el Norte. En la parte intermedia se observa la falla FN\_1, de dirección NW-SE. Al poniente del Pozo Macuspana-201, se muestra la apófisis arcillosa, en su extremo norte se localiza la falla FN\_2.

#### **VII.4.- CONTROL DE VELOCIDADES**

Debido al corto tiempo para la realización del presente trabajo, del 13 de Agosto al 20 de Octubre del 2001, así como la carencia del cubo de velocidades, no se pudo hacer un análisis de velocidades y aplicarlos en la conversión de profundidad, lo cual se espera realizar posteriormente en el Activo.

El único control de velocidades llevado a cabo en la presente interpretación "3D" fue en la generación de las curvas T-Z de cada pozo, a partir de los registros sísmicos, cuando los hubo. Cuando no se contaron con ellos, se generaron pseudo-sísmicos a partir de los registros de resistividad, aplicando la ecuación de Fausto. Posteriormente, se generaron los sismogramas sintéticos, aplicando la ondícula de Riecker.

El amarre de los pozos con los datos sísmicos 3-D fue lo suficientemente preciso en la mayor parte de los casos, sin embargo, hubo ocasiones en que las cimas de los sismogramas sintéticos no ajustaron muy bien con los reflectores de la sísmica de superficie, posiblemente debido a la presencia de cuerpos arcillosos en la secuencia terciaria, de menor velocidad y que, al parecer causaron "pull-down" en los reflectores que se encuentran a un tiempo mayor, hacia su parte inferior.

#### **VII.5.- ATRIBUTOS SISMICOS**

Como es consabido, la aplicación de los atributos sísmicos son diferentes formas de analizar y desplegar las reflexiones sísmicas a partir de diferentes algoritmos matemáticos del proceso electrónico, con el fin de enriquecer el dato y extraer información relevante asociada con rasgos estructurales en el subsuelo o bien de información litológica, si estos se encuentran previamente calibrados con las propiedades físicas obtenidas en los pozos.

Se aplicó el atributo de varianza (coherencia) al horizonte de la Arena-13, con un muestreo de 5x5 y una ventana de 30 ms. Como resultado, en la sección horizontal se definen muy bien los rasgos estructurales que afectan al área de estudio, principalmente la falla FN\_1, de dirección NW-SE, así como la falla FN\_2 de dirección NNW-SSE. Las fallas, de dirección Este-Oeste y casi perpendiculares a la anterior tienen poco salto estructural. En esta

expresión gráfica, las zonas mas oscuras corresponden a la arcilla y las más claras a reflectores con buena calidad de información sísmica.



Fig. No. 20.- Sección horizontal obtenida al aplicar el atributo de varianza al horizonte Arena-13, aplicando un muestro ortogonal de 5x5 y utilizando una ventan de 30 ms



Fig. No.21.- Sección horizontal obtenida al aplicar el atributo de varianza al horizonte de la Arena-32. Nótese la tendencia por donde pasan las fallas FN\_1 y FN\_2. Los colores oscuros indican la presencia de arcillas y las de color claro información sísmica de buena calidad.

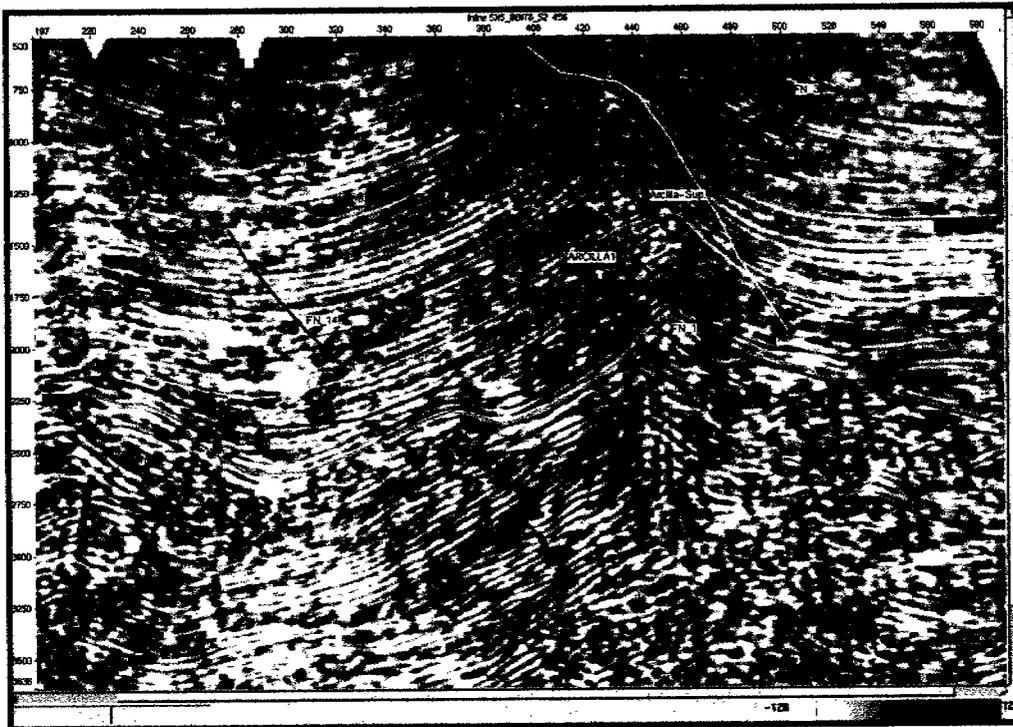


Fig. No. 22.- Sección sísmica de la Inline 456 que pasa por el pozo FN-109. Obtenida aplicando el atributo de varianza. Las partes oscuras indican la presencia de arcilla, así como el posible fracturamiento por donde fluyó esta.



Fig. No. 23.- Sección horizontal de la Arena-13, obtenida al aplicar el atributo "Reflection Strength". Al parecer, el color amarillo representa la presencia de arcilla y el rojo buena calidad de información.

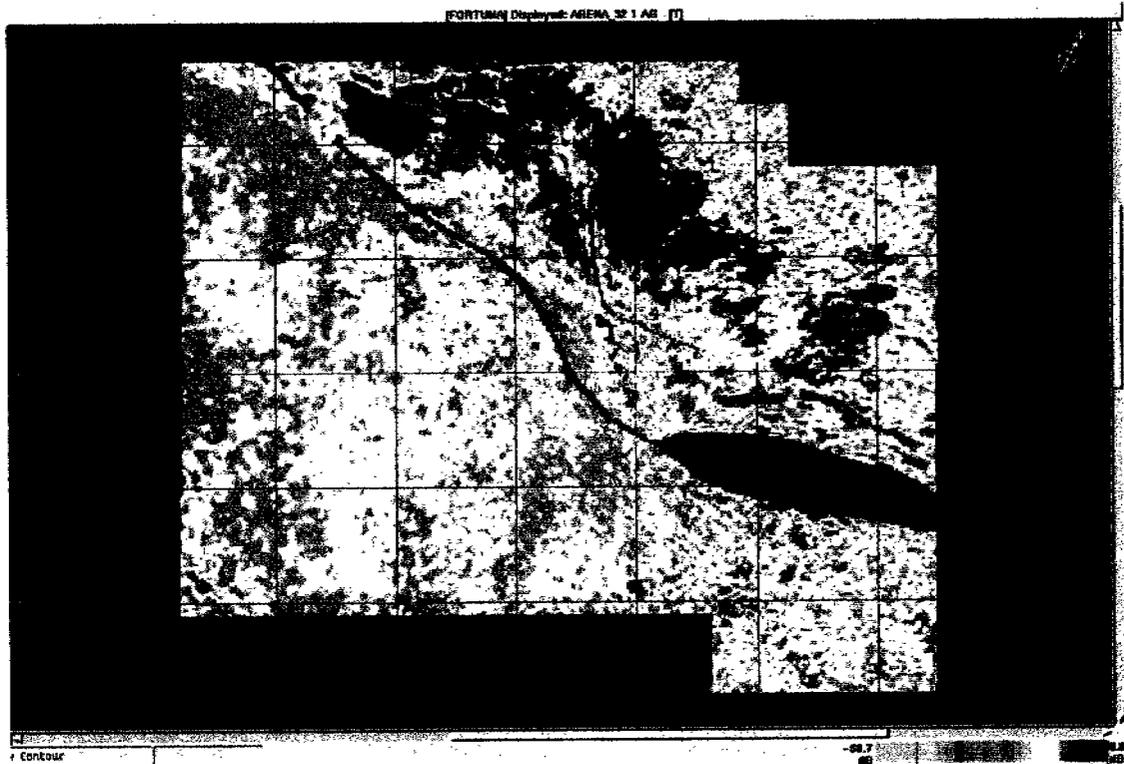


Fig. No.24.- Mismo atributo anterior aplicado a la Arena-32

## **VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **VIII.1.- CONCLUSIONES:**

1.- Al parecer, el área de estudio se encuentra influenciado por el flujo de masas residuales de arcillas terciarias, causadas por la carga diferencial que ejerció la secuencia sobreyacente de arenas y lutitas más densas, sobre arcillas poco compactas y de menor densidad, provocando que éstas se hayan hecho más dúctiles y a la vez se haya favorecido la generación de fallas lítricas normales con caída hacia la cuenca.

El sistema de fallas no se generó por esfuerzos compresivos, ni por el deslizamiento por gravedad del paquete sedimentario, debido a que no se observan fallas de crecimiento ni estructuras rollover; sin embargo, cabe la posibilidad que, previo a las intrusiones arcillosas, las fallas de crecimiento hayan funcionado en el área y que actualmente se encuentren enmascaradas por el efecto de las arcillas.

2. – El cuerpo arcilloso regional, que levanta el paquete sedimentario en el extremo SE del área y que es causante del gran salto estructural que experimenta la falla FN\_1 en las cercanías del Pozo Macuspana-201, parece tener relación con el trend arcilloso que pasa al poniente del Campo Morales.

3. – El Anticlinal de Fortuna Nacional parece ser originada por una apófisis arcillosa alóctona, misma que, al poniente del pozo Macuspana-201, fluyó a través del plano de la falla FN\_1, de dirección NW-SE y a la altura del Pozo FN-1 toma una dirección Norte franco. Presenta una forma semitabular y una inclinación de aproximadamente 20 grados. Su presencia termina en las proximidades del pozo FN-107.

Debajo de la apófisis, la secuencia sedimentaria es deformada con menor intensidad por el evento arcilloso regional más profundo; tal y como lo puede atestiguar el corrimiento de la Arena-32 la cual sigue su relieve.

4. - Es probable, que la apófisis arcillosa funga como roca sello para el yacimiento de la Arena-32, como lo podrían comprobar los pozos FN-109, FN-4, FN-9, los cuales son productores en las arenas 32 y 34. Los registros SP y Gamma Ray son buenos indicadores para la identificación de los cuerpos arcillosos.

Otros lugares de importancia serían los posibles entrampamientos en el flanco SW de la apófisis arcillosa, en donde los reflectores, echado arriba, chocan contra el cuerpo arcilloso inclinado y en donde se observan anomalías de buena amplitud.

5.- Es característico observar que, debajo de la apófisis arcillosa, los reflectores como el de la Arena- 32, presentan un efecto de "pull dawn", posiblemente debido al menor cambio de velocidad que experimenta la arcilla sobreyacente.

6.- Entre la INL-360 y la INL-380, hay reflectores con buena amplitud, en un anticlinal limitado en su flanco NE por la falla FN\_1. Dicha estructura, al igual que en el Campo Fortuna Nacional, parece ser originada por el emplazamiento de la apófisis arcillosa, la cual, levanta a la Arena-13 casi hasta los 750 ms, por lo que ambas estructuras estarían genéticamente relacionadas. La Arena-32 fue deformada con menor intensidad por el evento arcilloso regional mas profundo.

## **VIII.2.-RECOMENDACIONES:**

1.- Debido a las variaciones laterales de densidad y las inversiones de velocidad que ocurren dentro del área, se recomienda llevar a cabo una migración pre-apilamiento en profundidad, con el objeto de conocer la posición real de las estructuras.

2.- Considerando el modelo propuesto, se recomienda analizar los estudios que previamente se han realizado en el área de estudio (análisis AVO, Inversión sísmica, etc.), debido a que proponen algunos lugares que presentan cierto interés, sin embargo, pudieran estar influenciadas por la arcilla.

- 3.- Buscar otras alternativas como la intervención de algunos pozos que quedaron inconclusos o no alcanzaron la profundidad de la Arena-32, sobreyacida por la apófisis arcillosa que pudiera fungir como sello del yacimiento. Otros lugares de importancia serían los posibles entrampamientos en el flanco SW de la apófisis inclinada, en donde los reflectores echado arriba chocan contra ella y en donde se observan anomalías de buena amplitud.
  
- 4.- Con el objeto de tener curvas T-Z confiables y eliminar el efecto de inversión de velocidades que se presentan en el área, se recomienda llevar a cabo un programa de disparos de calibración (Check-shot); así como un programa de registros modernos debido a que, muchos de los que se tienen, fueron tomados hace casi 50 años.

## **BIBLIOGRAFIA**

Análisis estructural-estratigráfico e importancia económica del extremo SW de la Cuenca de Macuspana (Proyecto Rreforma), Ernesto Miranda Canseco et al.

Apuntes sobre el análisis de datos sísmicos en la identificación y evaluación de yacimientos petroleros, UNAM, FI, Juan Brandy P.

Pressured shale and related sediments deformation: mechanism for development of regional contemporaneous faults; American Association Petroleum Geologists Bull. v. 57, p. 878-886, Bruce, C. H., 1973

Estudio AVO Fortuna Nacional. Cia. Mexicana de Geofísica, Marzo del 2001

Estudio de Inversión Estratigráfica del levantamiento sísmico "3d" Fortuna Nacional, Cía. Mexicana de Geofísica, S.A. de C.V., Abril del 2001

Offset- dependent reflectivity-theory and practice of AVO analysis, Society of Exploration Geophysicists, John P. Castagna and Milo M. Backus, 1991

Structural styles in petroleum exploration . James D. Lowell

Sísmica de pozo . Schlumberger, S.A.