

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería



**Análisis de Perfiles Sismológicos Observados
en el Golfo de México**

T E S I S

Que para obtener el título de :
INGENIERO GEOFISICO
p r e s e n t a :
MOISES MUGÜERZA PACHO

20j
20

México, D. F.

1979



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.

TEMARIO

	Pág.	
I. -	INTRODUCCION	1
	I.1.- Generalidades	1
	I.2.- Características de Operación	3
II.-	GEOLOGIA DEL AREA	4
	II.1.- Subdivisión y localización del área	4
	II.2.- Consideraciones sobre la formación del Golfo de México	7
	II.3.- Patronos de sedimentación	8
	II.4.- Diapirismo	12
III.-	CORRELACION E INTERPRETACION DE LOS PERFILES SISMOLOGICOS	17
	III.1.- Horizontes reflectores correlacionados y sus características	17
	III.2.- Control de Velocidades	19
	III.3.- Secciones Estratigráficas	37
	III.4.- Interpretación	39
	III.4.1. Eventos tectónicos	39
	III.4.2. Etapas de quietud (sedimenta- ción uniforme)	48
	III.4.3. Acción de la Plataforma de Yu- catán	48
IV.-	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	50
	IV.1.- Conclusiones	50
	IV.2.- Implicaciones Económicas	51
	 BIBLIOGRAFIA	 52

I. - INTRODUCCION

I.1.- Generalidades

El presente estudio se realiza con las líneas de reflexión sísmica WG2S, WG3E, WG3C y WG3W, (Fig. 1.1) obtenidas en 1974 y 1975 en el Golfo de México, por el Laboratorio de Geofísica del Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad de Texas en Galveston durante tres cruces en el Buque Oceanográfico Ida Green de la Universidad de Texas. Se registraron cerca de 3,600 Km de línea usando instrumentación sísmica digital multicanal y técnicas de punto de reflejo común. Dichas líneas fueron proporcionadas para su estudio por el M. en C. Héctor Sandoval Ochoa participante activo en dichos cruceros por parte del Departamento de Exploración del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La importancia de este estudio radica en la obtención de mayores datos para el conocimiento de la estructura e historia geológica de la Zona Central del Golfo de México. Además, el conocimiento de las unidades sísmicas (reflectores) que componen la estructura actual del mismo servirá de ayuda para trabajos futuros en la exploración exhaustiva de yacimientos de hidrocarburos, cuando las técnicas de explotación puedan penetrar a lugares ahora inaccesibles.

El objetivo de este trabajo es analizar:

a).- El origen y formación del centro del Golfo de México.

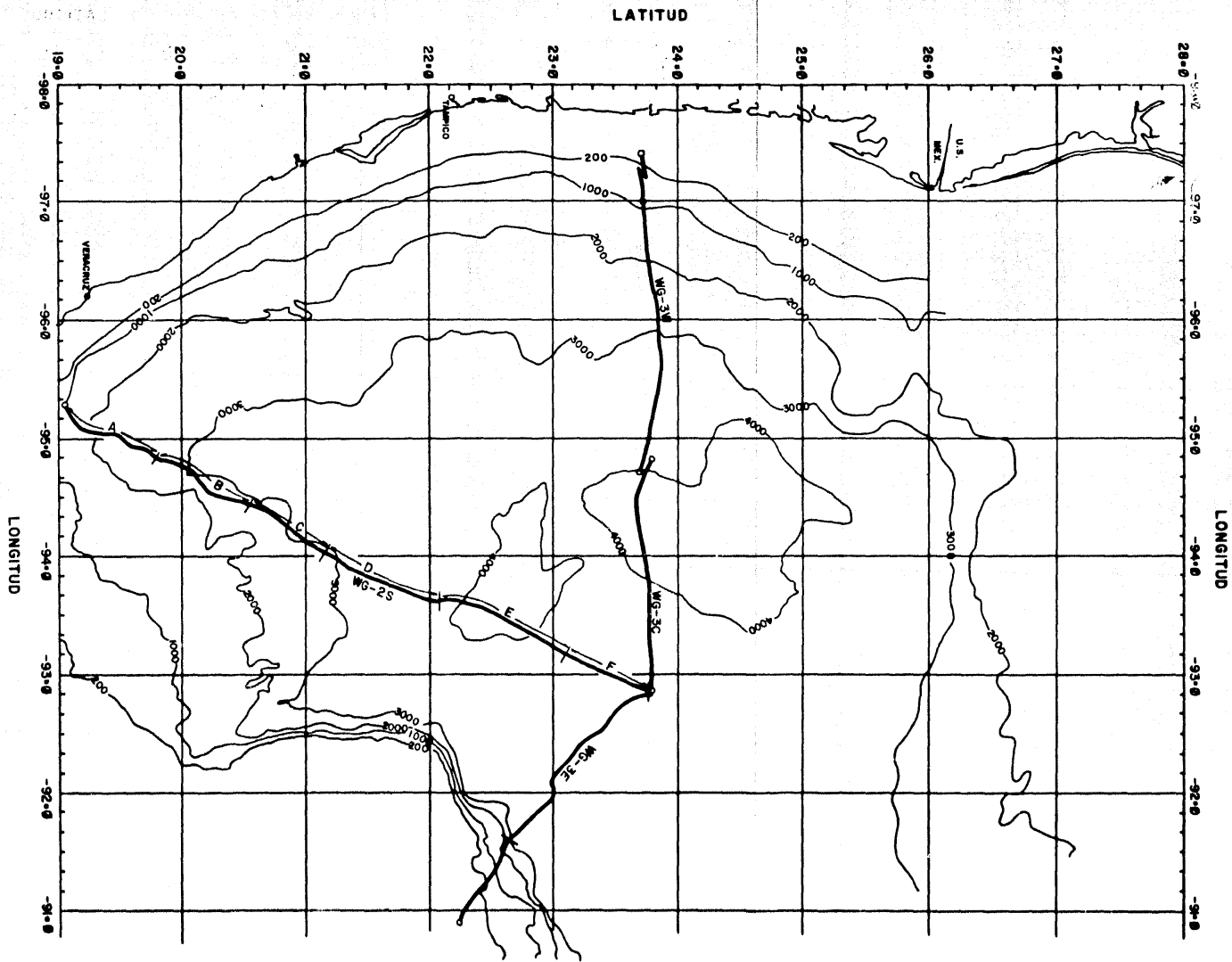


Fig. 1.1. Líneas sísmicas. WG2S, WG3W, WG3E y WG3C.

b).- El origen de la sal que alimenta a los "knolls" Sigsbee y Challenger.

c).- El origen y formación de las llamadas Cordilleras Mexicanas.

1.2.- Características de Operación

Para la obtención de los datos se utilizó un Equipo de Reflexión Sísmica Multicanal Digital y técnicos de P. R. C. (punto de reflejo común). Se usó un arreglo de hidrófonos de 2.5 km produciendo resultados consistentes hasta en profundidades tan grandes como 10 km. Se utilizaron 48 canales en un arreglo para una multiplicidad (número de trayectorias disponibles las cuales tienen un punto de reflexión común) de 24 (Ver Fig. 1.2).

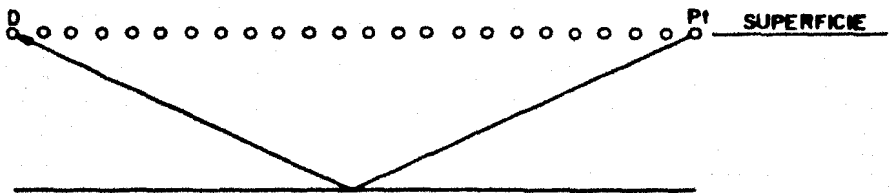


Fig. 1.2 Tendido simétrico con una multiplicidad de 24.

II. GEOLOGIA DEL AREA

II.1. - Subdivisión y Localización del Area

El Golfo de México se subdivide para su estudio (Wilhelm y Ewing, 1972) en: (Fig. 2.1 y 2.2.).

a).- La zona abisal del Golfo, con un estrato de agua que va de los 2,900 a los 3,600 metros, consiste en la parte Occidental de la Provincia Sigsbee y la Pendiente Continental y en la Oriental del Cono del Mississippi y sus partes cercanas. La parte Oeste del acantilado de Florida, el acantilado de Campeche y el umbral de la entrada al Estrecho de Florida y Canal de Yucatán forman los límites al Sureste y al Oriente de la zona abisal, las demarcaciones al Oeste y al Norte son menos definidas, excepto por la vertiente continental frontal formada por el acantilado Sigsbee de la longitud $91^{\circ}W$ a $95^{\circ}W$ aproximadamente a la latitud $26^{\circ}N$.

b).- El talud y vertiente continental del Norte limitados por las costas de Texas, Luisiana, Mississippi y Alabama.

c).- El talud y vertiente continental mexicanos extendiéndose del Río Bravo al Estado de Tabasco, México.

d).- La plataforma de Florida, consistente de la Península de Florida, los taludes y vertientes del Oeste y Sur y el acantilado Oeste de Florida.

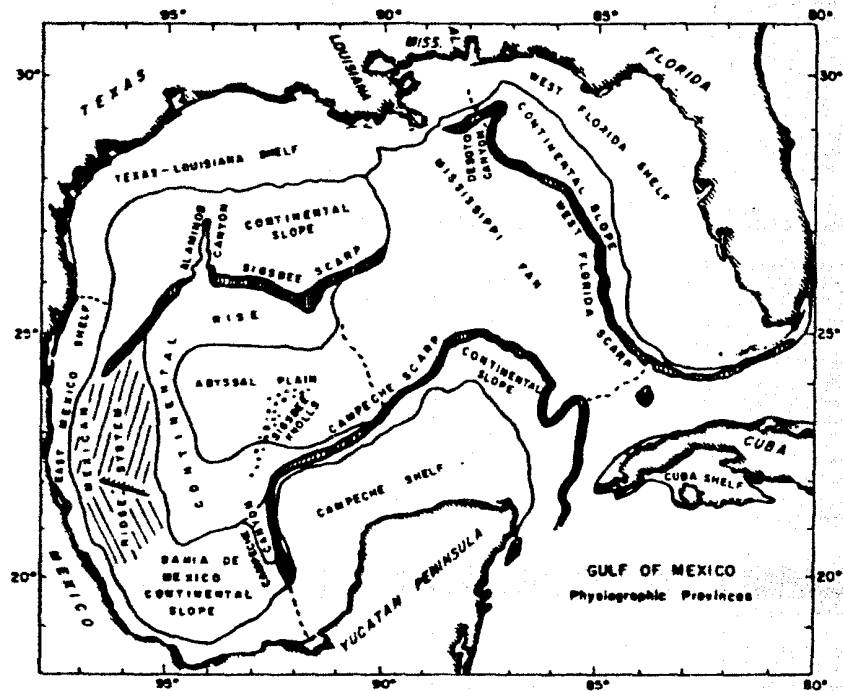


Fig. 2.1. Provincias Fisiográficas del Golfo de México.
(J. Antoine, 1971).

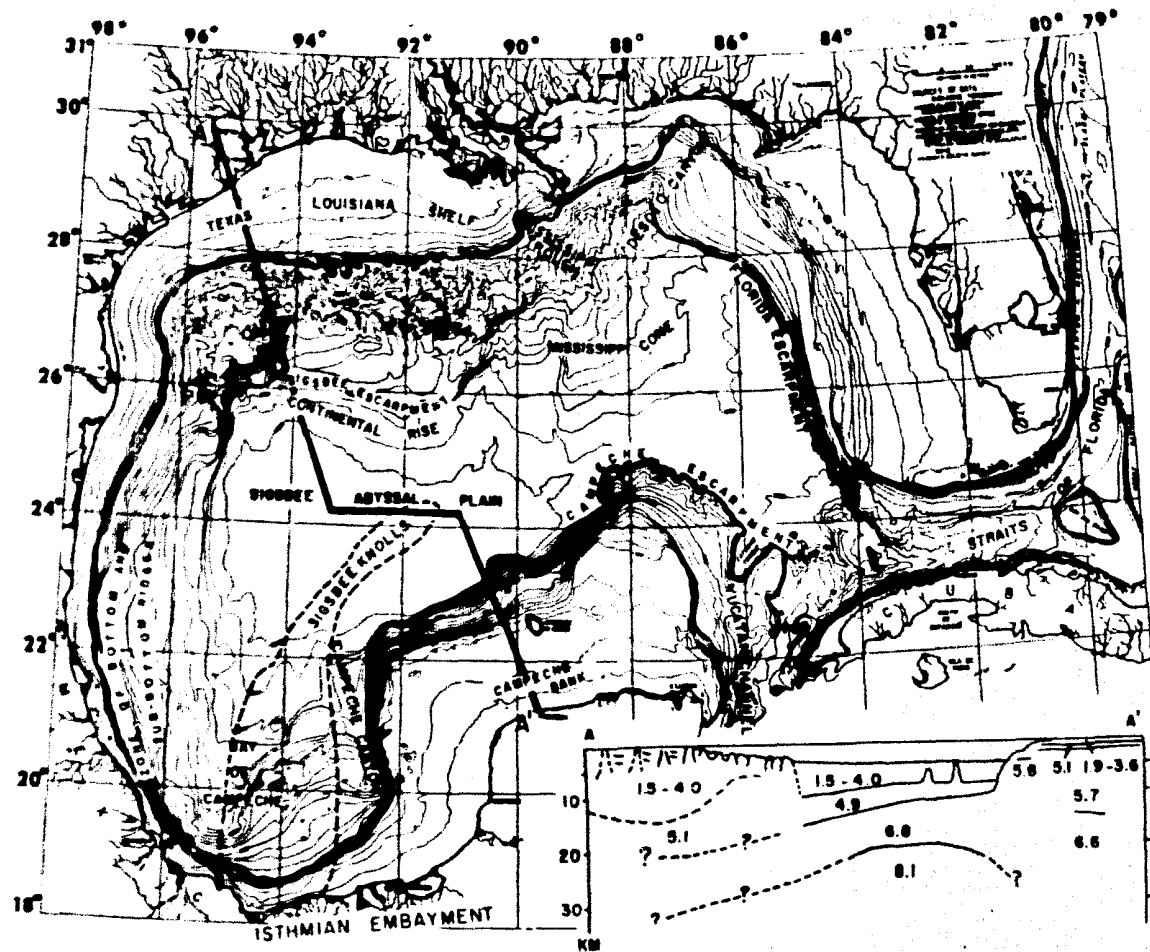


Fig. 2.2. Carta Fisiográfica del Golfo de México.
(J. Antoine, 1971.)

e).- La plataforma de Yucatán consistente de la Península de Yucatán, el Banco de Campeche y las vertientes y acantilados circundantes. -- (La plataforma se extiende al Sur hasta el promotorio del cinturón plegado - Laramidico de Chiapas cerca de la latitud 17°N).

f).- El Estrecho de Florida y el Canal de Yucatán entre las plataformas de Florida y Yucatán y la Isla de Cuba.

II.2.- Consideraciones sobre la Formación del Golfo

El Golfo de México es una zona de la que se presentan muchas hipótesis con respecto a su formación y origen; Phillips y Forsyth (1972) nos indica que el Golfo de México, el Caribe y la parte Central del Atlántico comenzaron a formarse en el Triásico (hace 200 millones de años) con la separación de África y América del Sur alejándose de América del Norte; O. Wilhelm y Maurice Ewing (1972) observan un basamento sílico del Paleozoico que subyace a los sedimentos Mesozoicos en las áreas circundantes del Golfo de México. Por otra parte, de acuerdo a la interpretación de datos de Refracción sísmica hecho sobre el crucero Verna No. 3 (J. Ewing y otros -- 1962) los sedimentos bajo la Provincia Sigsbee cubren una corteza sísmica de tipo oceánico, (con velocidad de 6.9 km/s). El reconocimiento de esta corteza sísmica de tipo oceánico bajo el Golfo los lleva a especular sobre la extensión, origen y localización de ésta. Así, la parte abisal del Golfo fue reconocida como una Cuenca Oceánica permanente (Wilhelm y Maurice Ewing, 1972).

Se puede razonar también que el origen de la corteza simática fué debido a un "rifting" en la corteza siáfica continental, seguido por un levantamiento de magma basáltico o por oceanización de la corteza simática o -- por una combinación de ambos fenómenos en un período posterior. Wilhelm y Ewing (1972).

Gough (1967) propone que la abertura abisal entre las plataformas de Florida y Yucatán está subyacida por corteza simática, la cual divide la corteza siáfica (basamento) de tipo continental bajo las dos plataformas. -- John W. Antoine (1970) nos propone que la plataforma de Yucatán y el Banco de Campeche pueden ser una continuación de la plataforma de carbonatos de Florida, debido a que sus velocidades sísmicas y sus edades de correlación son bastante similares. Siguiendo la hipótesis de la primitiva unión de las plataformas de Yucatán y Florida, Wilhelm y Maurice Ewing (1972) deducen que el Estrecho de Florida y el Canal de Yucatán se originaron durante la fase erosiva de la orogenia Laramide cuando el desarrollo de carbonatos fué detenido (o alterado), siguiendo a ésto la inundación del Golfo por -- aguas del Océano Atlántico (o mar grueso).

II.3.- Patrones de Sedimentación

En el Pensilvánico medio la orogenia Ouachita fué el mayor evento de la revolución Apalachiana, completando la consolidación del basamento -- siáfico del Paleozoico -- siguiendo el levantamiento de la corteza simática den

tro de este período. Wilhelm y Ewing (1972).

Los estratos postorogénicos, descansan irregularmente sobre las formaciones erosionadas por el plegamiento Ouachita. Las extensas formaciones triásicas Newark, Eagle Mills (E.E.U.U.) y la Boca (México) terminaron el ciclo postorogénico con depósitos continentales de lechos rojos. Se asume que esta depositación postorogénica penetra al Golfo de México. Bajo la Provincia Sigsbee la corteza simática está sobreyacida por 3 a 5 km de este estrato, se considera que también tiene depósitos jurásicos (Wilhelm y Ewing, 1972). Seguramente, la parte baja de este estrato consiste de depósitos de la postorogenia pensilvánica al triásico derivados de la orogenia Ouachita.

La evidencia disponible de lechos jurásicos en la región del Golfo indican una transgresión marina del Jurásico Superior que penetró la región del Sur Oeste y se extiende sobre la región del Sur y Norte de México, al Sur de los Estados Unidos y la posición Norte de las Antillas (Imlay, 1943). La sal Louann preoxfordiana, la anhidrita y sal Buckner postoxfordiana fueron depositadas en los primeros períodos de esta transgresión (Wilhelm y Ewing, 1972).

La subsidencia general en la parte Sureste del continente durante el Cretácico y el Terciario temprano fué el período de la construcción de las plataformas de Florida y Yucatán (Wilhelm y Ewing, 1972). Juzgando por el espesor de las formaciones en los pozos de exploración en el sur de Florida,

durante el Cretácico subsidieron al menos 3,000 m en esa área (Maher y -- Applin 1968).

Diversos perfiles a través de los acantilados de Florida y Campe-- che indican un adelgazamiento de las rocas del Cretácico bajo el plano abisal. J. Ewing y otros (1962) sugieren la existencia bajo el plan abisal, de una sec-- ción de carbonatos Mesozoicos limitados en edad por el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior. Otras indicaciones (Wilhelm y Ewing, 1972) de la -- existencia de un intervalo limitado de Jurásico Superior-Cretácico Inferior - bajo el Golfo son:

a).- En la Cuenca Salina del Istmo solamente la Caliza Chinameca del Jurásico Superior-Cretácico Inferior se sabe que está presente.

b).- En la región costera Texas-Luisiana, pocas evidencias super_ ficiales de sedimentos cretácicos han sido encontrados, a pesar del número y profundidad de los pozos explorados sobre cuerpos salinos intrusivos, éstos frecuentemente sostienen sobre su cima vestigios de los estratos profundos - que la sal perforó.

La Orogenia Laramide del Cretácico Tardío-Paleoceno tuvo un ma- yor impacto sobre los desarrollos subsecuentes en el Golfo de México (Wil- helm y Ewing, 1972). Se produjo la tectogenia cubana que dio lugar a los Es- trechos de Florida y Canal de Yucatán. La extensa erosión submarina en el despertar de la perturbación Laramide, entre la tectogenia cubana y los Hml

tes de las plataformas de Florida y Yucatán, iniciaron la conexión marina entre el Golfo de México, Océano Atlántico y el Mar Caribe. (Wilhelm y Ewing, 1972).

La Orogenia Laramide suministró al Golfo el mayor volumen de sedimentos postorogénicos (Wilhelm y Ewing, 1972) acarreados del continente.

c).- Las inmensas cantidades de sedimentos Cenozoicos de los interiores continentales del Norte y Oeste fueron acarreados por el Río Mississippi, el Río Bravo y pequeños ríos dentro del geosinclinal de la costa de Texas. La inmensa acumulación de sedimentos nos guía a la contracción del Golfo primitivo hacia su presente tamaño.

d).- Los lados Suroeste y Sur del Golfo fueron delimitados por el plegamiento Laramide del Geosinclinal Mexicano (cinturón plegado Sierra Madre de Chiapas y Sierra Madre Oriental) y los sedimentos postorogénicos fueron depositados sobre la vertiente continental del Oeste y del Sur y en la zona abisal del Golfo.

e).- El material de erosión fué depositado en el incipiente Estrecho de Florida y Canal de Yucatán y en salientes erosionadas sobre las plataformas de Florida y Yucatán.

La delimitación de los taludes continentales en el Peroriano-Wisconsiniano Medio fué el elemento que puso el toque casi final a la configuración del

Golfo. Sin embargo, durante la regresión del mar en el Wisconsiano Tardío el Río Mississippi llega a atrincherarse en el talud continental del Norte y el material Postwisconsiano-Holoceno temprano fué acarreado a través de la trinchera y depositado en el cono del Mississippi (Wilhelm y Ewing, 1972).

Después del establecimiento del nivel del mar moderno, los acarreos del Mississippi y otros ríos fueron depositados sobre el talud continental y solo un mínimo de material terrígeno del Holoceno Tardío alcanzó la zona abisal del Golfo por corrientes de turbidez; sin embargo la dispersión de este material niveló los planos abisales.

II.4.- Diapirismo

Según Wilhelm y Ewing (1972), la sal Louann (preoxfordiana), la Anhidrita y la Sal Buckner fueron depositadas en los primeros períodos de la gran transgresión Jurásica. En la región de las Costas del Golfo, los límites Norte, Noreste y Oeste de la depositación salina forman los límites interiores de las cuencas salinas del Mississippi, norte de Luisiana, Este de Texas y Río Bravo. Estas cuencas se extienden Golfo adentro a través del talud y la vertiente continental. La cuenca salina del Istmo con su extensión hacia el Golfo dentro de la Provincia Sigsbee es la segunda mayor área de depositación salina. La tercer área aparece en la parte central del Norte de Cuba. Wilhelm y Ewing (1972) proponen una teoría para la depositación salina en la zona abisal del Golfo indicando que ésta tuvo lugar en un medio am-

biente de aguas someras del jurásico, ésto sugerido por la formación de -- casquetes rocosos que aparecen sobre la provincia Sigsbee y considerando también que la solución para la sal y para la formación de los casquetes - sobre la cima de los diapiros requiere de agua circulando. Sin embargo - Schmalz (1969) sugirió que la depositación salina se llevó a efecto en aguas profundas.

Tomando en cuenta a Schmalz (1969) y sobre las bases de la indicación que el Golfo de México es una antigua cuenca oceánica. John Antoine y William R. Bryant (1969) proponen la siguiente hipótesis alterna pa ra la distribución de las estructuras salinas.

a).- La sal fué depositada a lo largo de las áreas marginales de la cuenta (Fig. 2.3, pág. 15).

b).- Los sedimentos se acumularon arriba de la sal y posterior-- mente ocurrió una subsidencia.

c).- Las cordilleras salinas y las variedades de formaciones sa-- linas migraron sumergiéndose dentro de las partes profundas de la cuenca -- con un resultado de presiones de sobrecarga.

d).- En áreas de construcción de carbonatos, la competencia del material carbonatado evitó la formación de estructuras de tipo salino (domos, diapiros), en cambio, parece haber tenido lugar la migración de la sal hacia la parte profunda de la cuenca (Fig. 2.4).

Hay muchas hipótesis con respecto a la formación de las Cordilleras Mexicanas, así, Bryant, J. Antoine, Ewing y Jones (1968) nos indican -- que las estructuras observadas sobre el talud y vertiente mexicanas del Este, pudieron tener su origen por uno de los mecanismos siguientes:

a).- Plegamientos compresionales, resultando de deslizamientos gravitacionales a lo largo de una superficie que presenta un plano de dislocación (decollement) u otros esfuerzos tectónicos.

b).- Movimientos verticales de masas arcillosas o salinas relacionados a cargas estáticas. Siendo este último uno de los más aceptados a la fecha.

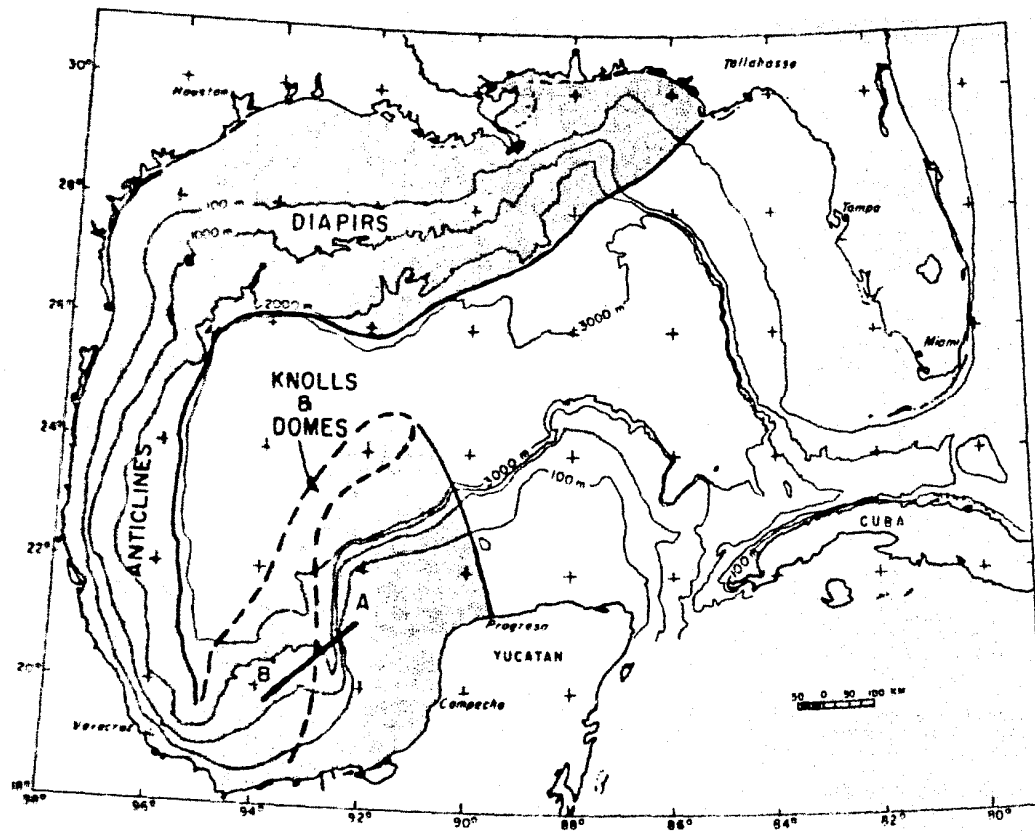


Fig. 2.3. Localización de los diapirs en el Golfo de México. El área sombreada representa distribución de relleno salino (Antoine y Bryant, 1968) y el área punteada representa el límite de los Knolls y domos sobre el plano abisal y la Bahía de Campeche. (Worzel, 1968).

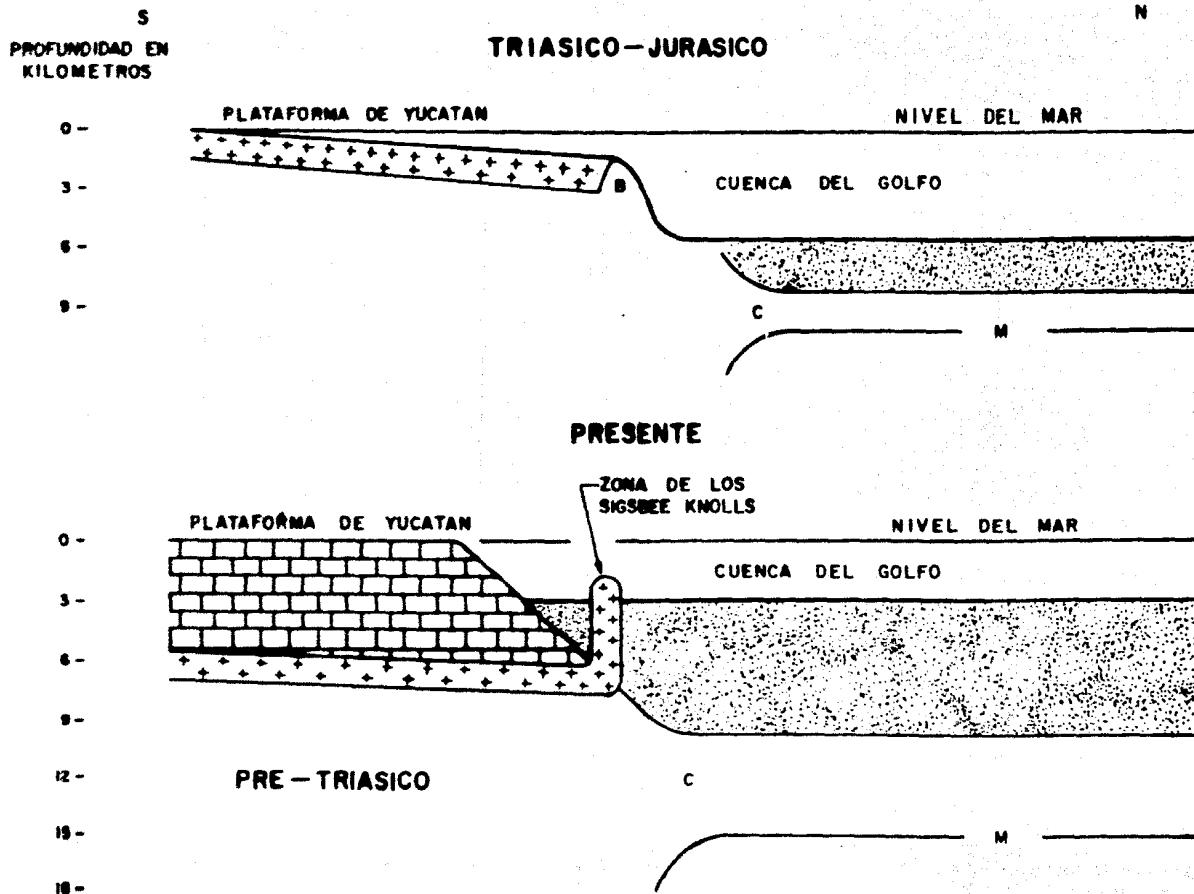


Fig. 2.4. Diagrama del posible método de emersión de los knolls y domos. Las cruces representa sal; B, barrera; C, corteza oceánica; M, moho. Lo punteado representa sedimentos clásticos.

III. - CORRELACION E INTERPRETACION DE LOS PERFILES SISMOLOGICOS

III.1. - Horizontes Reflectores Correlacionados y sus Características.

Se efectuó una correlación de las unidades sísmicas A, B, C, D, E, F, en casi todas las líneas (Ver Secciones Fig. 3.1 a la Fig. 3.12). La reflexión del fondo se recibe a los 5 s en toda la parte abisal del Golfo y el múltiple aparece a los 10 s casi constantemente.

Del análisis hecho, observamos que: La unidad sísmica "A" se presenta delgada en la parte Sur del Golfo como lo demuestran las secciones WG2S-C y WG2S-D (Ver Fig. 3.1 y Fig. 3.2), tendiendo a engrosarse en la zona abisal alcanzando un grosor de 0.5 segundos como lo podemos observar en las secciones WG3C-A, WG3C-B, WG3E-B, WG2S-E y WG2S-F (Ver Fig. 3.3, 3.4, 3.6, 3.7 y 3.8).

El límite inferior de esta unidad resulta en ocasiones difícil de localizar, observándose reflectores bien definidos dentro de la misma. Esta unidad consiste de turbiditas del Pleistoceno descansando suave y llanamente, identificados por núcleos de profundidad. (Ladd, Buffler, Watkins, 1976).

La unidad sísmica "B" es delgada en casi todas las líneas, presentando su grosor máximo en la sección WG3E-B con un espesor de 0.5 s (Ver Fig. 3.6), observándose con un espesor de 0.3 s casi constantemente. Su

Límite con la unidad sísmica "C" lo observamos a los 5.5 s. En todas las líneas esta unidad se caracteriza por reflectores uniformes y consiste principalmente de lodos pelágicos con algunas turbiditas de grano fino del Mioceno Superior hasta el Paleoceno identificados por núcleos de profundidad (Ladd, Buffler, Watkins, 1976).

La unidad sísmica "C" se observa gruesa en casi todas las líneas tendiendo a adelgarse al Sur de la línea WG2S-C (Ver Fig. 3.1), observándose espesores hasta de 2 s para esta unidad como lo podemos apreciar en la sección WG2S-D (Ver Fig. 3.2). Su límite con la unidad sísmica "D" se observa a los 7 s a lo largo de casi todas estas secciones. Esta unidad "C" está caracterizada en general por reflectores fuertes e irregulares que sugieren una gruesa secuencia de turbiditas de grano grueso del Mioceno Medio (M. Ewing y otros, 1972, Worzel y otros 1972).

La unidad sísmica "D" la observamos gruesa con un espesor de 1.5 s casi constante, tendiendo a adelgarse en la parte Oeste de la sección WG3W-A (Ver Fig. 3.9) donde además se pierde debido a la aparición de las Cordilleras Mexicanas. El límite inferior de esta unidad con la unidad sísmica "E" lo observamos a los 8 s a lo largo de todas estas secciones. Esta unidad representa un período extenso de sedimentación pelágica predominante en la parte profunda del Golfo quizá desde el Cretácico Tardío al Terciario Temprano (Ladd y otros, 1976).

La unidad sísmica "E" se presenta bastante irregular, observándose gruesa en la zona abisal del Golfo como lo demuestran las secciones WG3W-A y WG3W-B (Ver Fig. 3.7 y 3.8) con un espesor de 1.1 s, adelgazándose en la dirección Sur y Este del Golfo hasta los 0.3 s. El límite de esta unidad "E" con la unidad "F" se presenta a los 9 s casi constantemente. Ladd y otros (1976), estiman una edad Jurásica para esta unidad.

La unidad sísmica "F" se presenta indefinida en la mayoría de las secciones analizadas en este trabajo, presentando a la vez un basamento acústico a lo largo de la línea WG2S, perdiendo su límite inferior debido a la aparición del múltiple aproximadamente a los 10 s.

Estas unidades fueron clasificadas con anterioridad Ladd y otros (1976) las denominaron respectivamente: a la unidad sísmica "A" como la unidad Sigsbee; a la unidad sísmica "B" como la unidad Cinco de Mayo; a la unidad sísmica "C" como la unidad Cordilleras Mexicanas; la unidad sísmica "D" como la unidad Campeche; a la unidad sísmica "E" como la unidad Challenger y a la unidad sísmica "F" como la unidad Viejo.

III.2.- Control de Velocidades

Según Watkins (1977) las velocidades sísmicas en las rocas oceánicas pueden variar en función de su dirección por lo tanto las rocas oceánicas pueden ser sísmicamente anisotrópicas. Shor (1973) reportó evidencia de anisotropía horizontal en las rocas de la corteza del Océano Pacífico. Wat

SEGS.

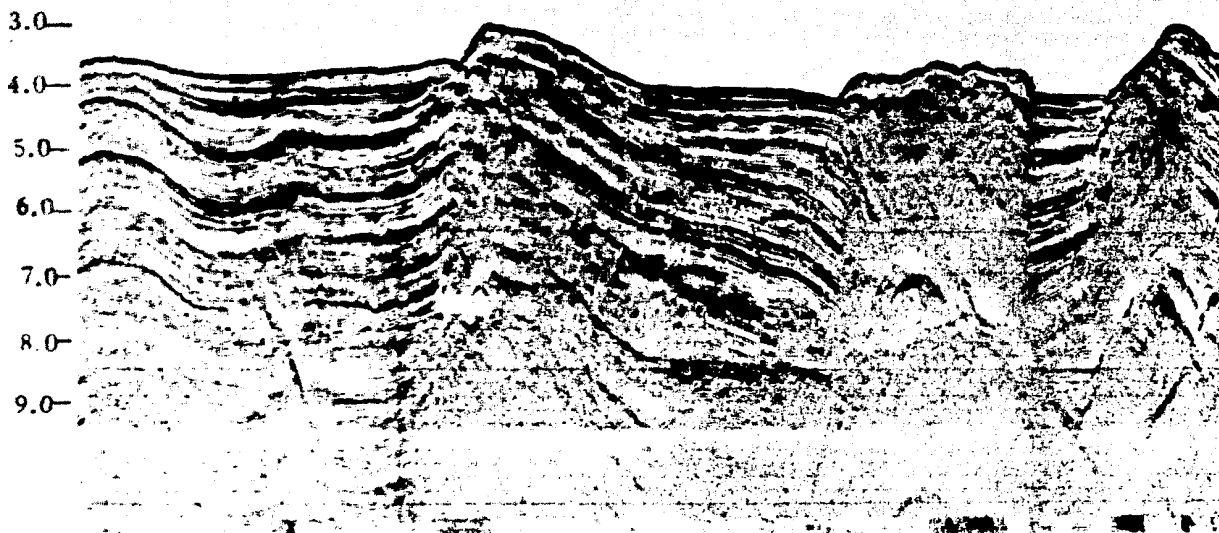


Fig. 3.1. Sección WG2S-C, se observa parte de los Knolls Sigsbee y la aparición de posibles diapiros en formación.

SEGS

UNIDADES
SISMICAS

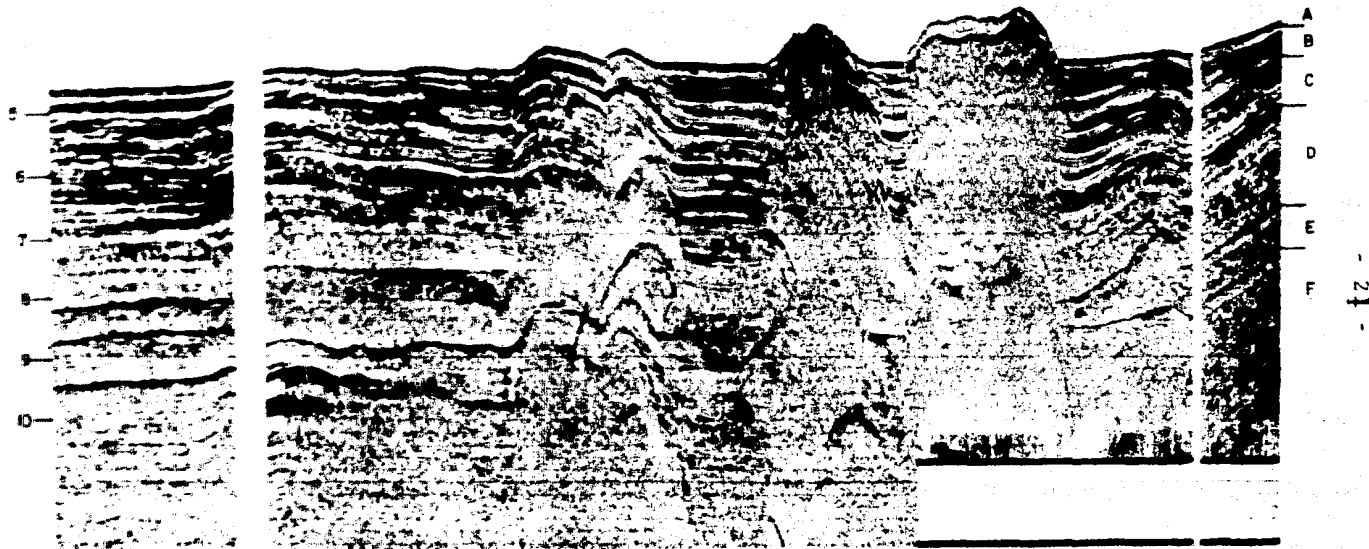


Fig. 3.2.

Sección WG2S-D, notamos una fractura en la parte izquierda debida al flujo ascendente de la sal en la formación de nuevos diapiros. Contiene parte de los Sigsbee Knolls.

SEGS

UNDADES
SISMICAS

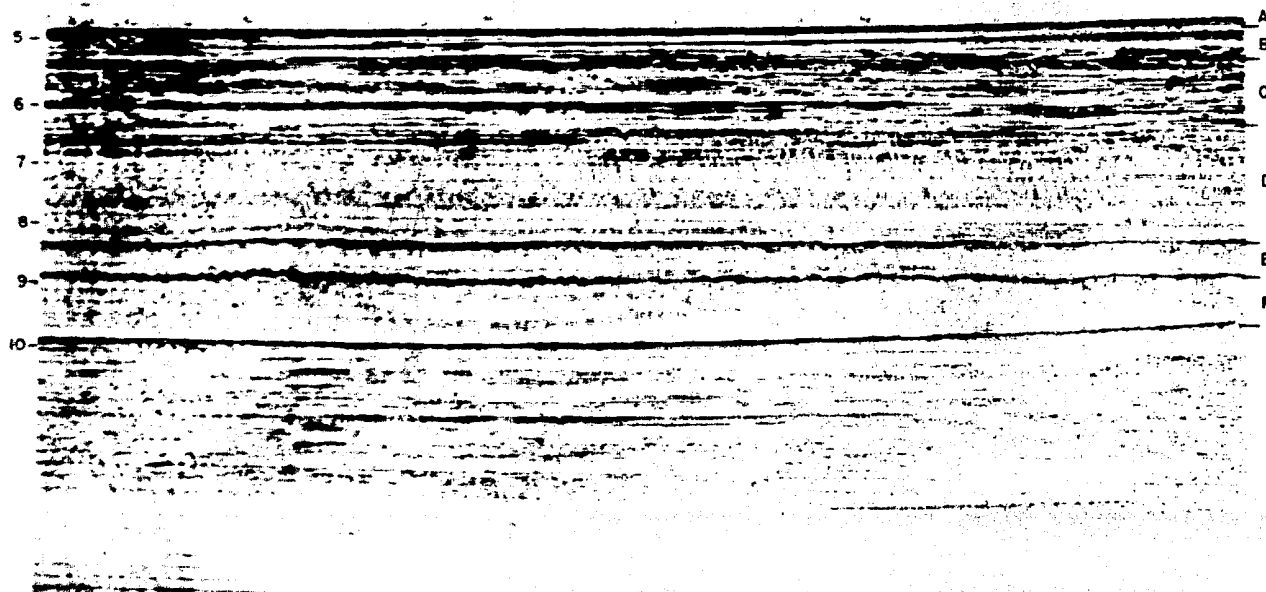


Fig. 3.3 Sección WG2S-E. Se observa un depósito uniforme de sedimentos. Se aprecia en la parte inferior el basamento acústico irregular.

SEGS

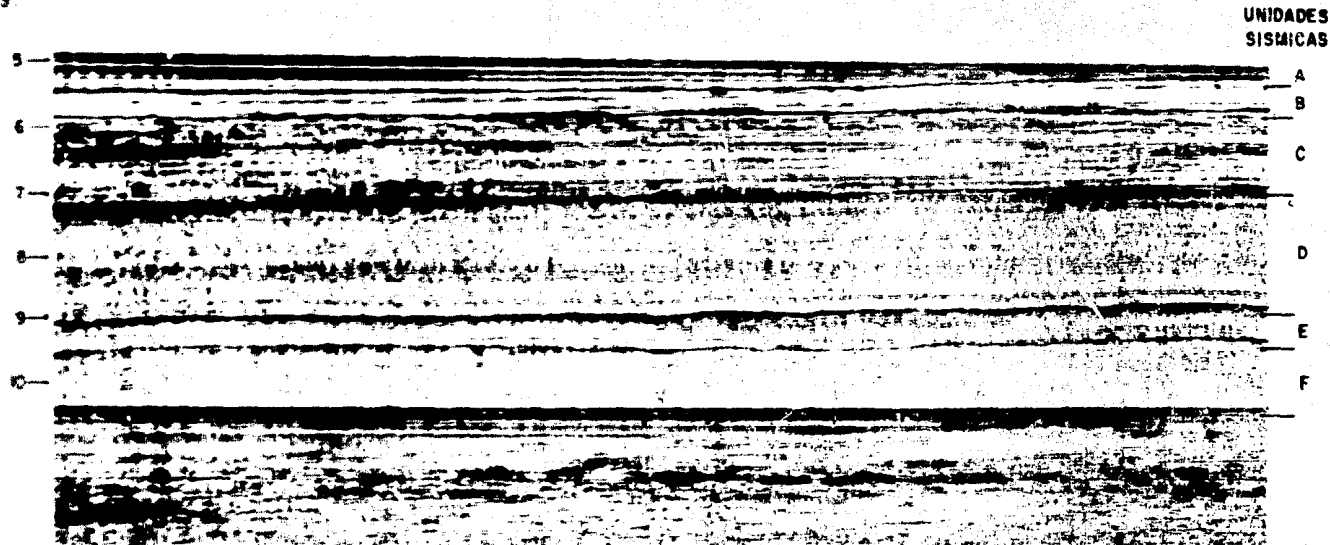


Fig. 3.4 Sección WG2S-F. Esta sección muestra claramente todas las unidades sísmicas. También la sal en la parte su perior de la Unidad Challenger.

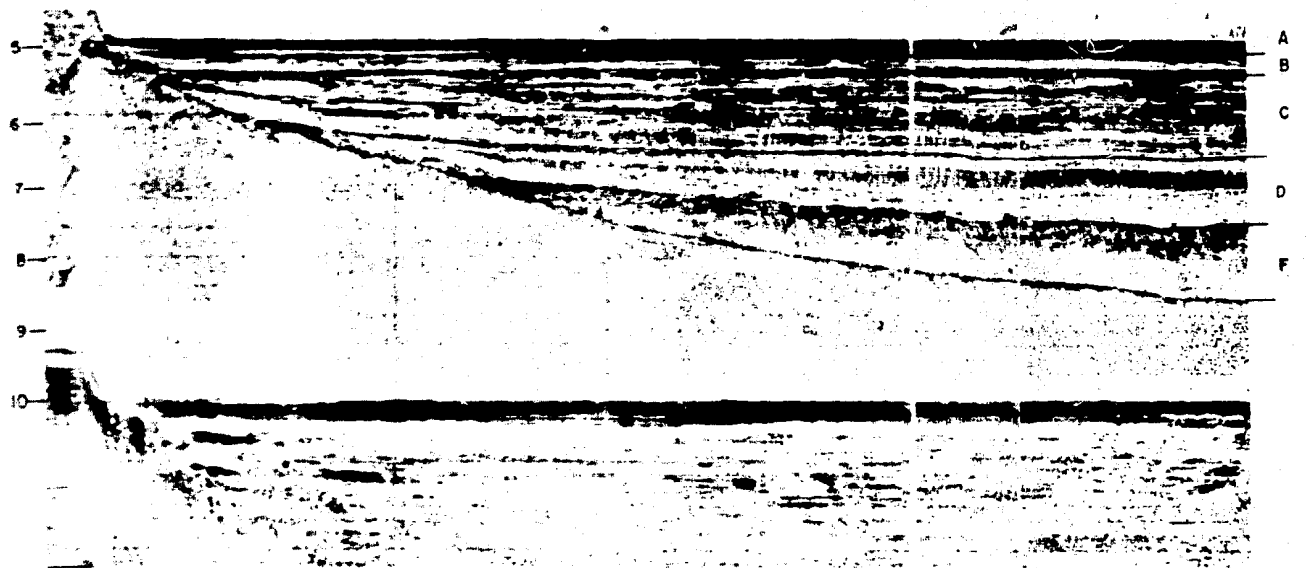


Fig. 3.5.

Sección WG3E-A. Aparece el acantilado de Campeche. Tenemos la aparición de sal en la parte superior de la Unidad Challenger.

SEGS

UNIDADES
SISMICAS

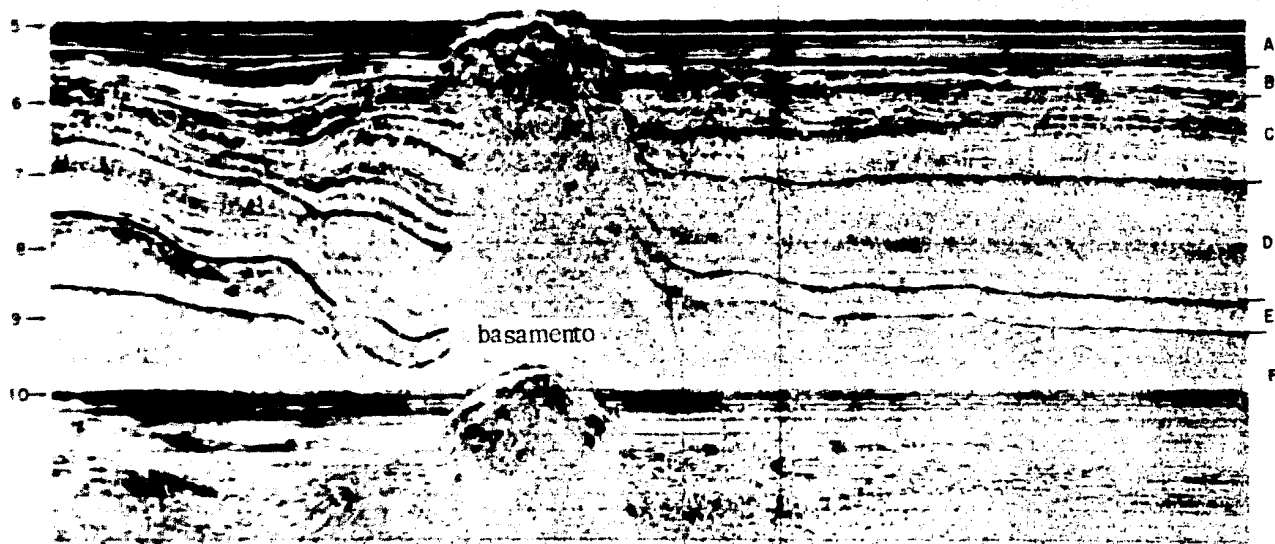


Fig. 3.6.

Sección WG3E-B. El domo Challenger. Se aprecia una fractura en la parte Oeste del domo debida posiblemente al empuje de la sal. Se aprecia de nuevo el basamento acústico irregular.



Fig. 3.7. Sección WG2C-8. Se observa el adelgazamiento de la unidad Sigsbee (A) y el hundimiento de las unidades hacia la parte Oeste.

SEGS

UNIDADES
SISMICAS



Fig. 3.8.

Sección WG3C-A. Desaparecen, debido a la aparición del múltiple, las unidades Challenger y Viejo. Se -- acuña la unidad Sigsbee.

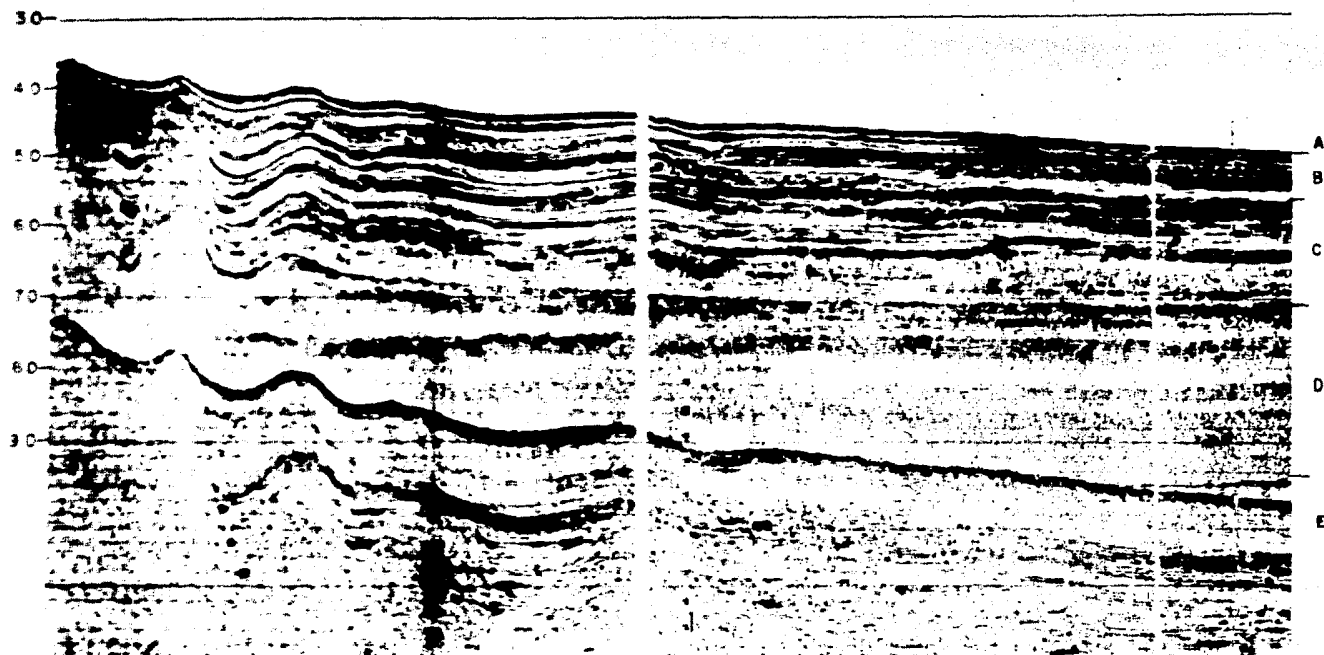


Fig. 3.9.

Sección WG3W-A. El múltiple aparece a los 10 s.,
las unidades mueren en el diapiro del Oeste.

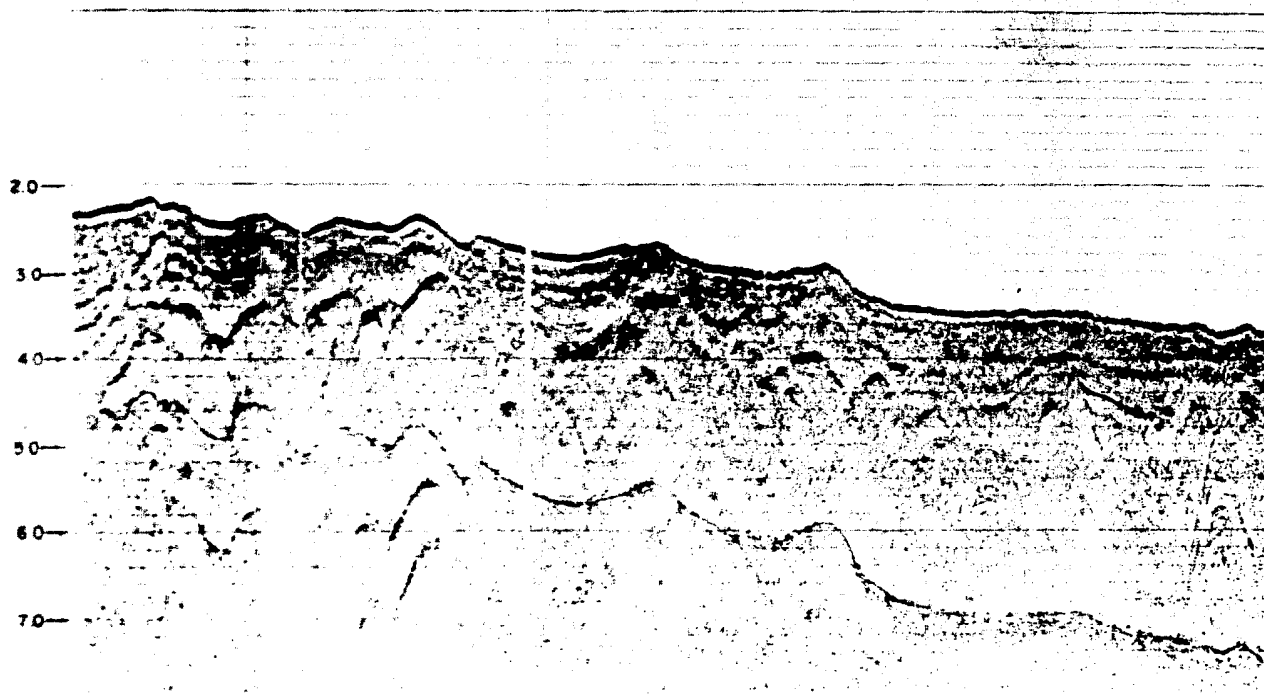


Fig. 3.10. Sección WG3W-B. Observamos las Cordilleras Mexicanas en toda su magnitud.

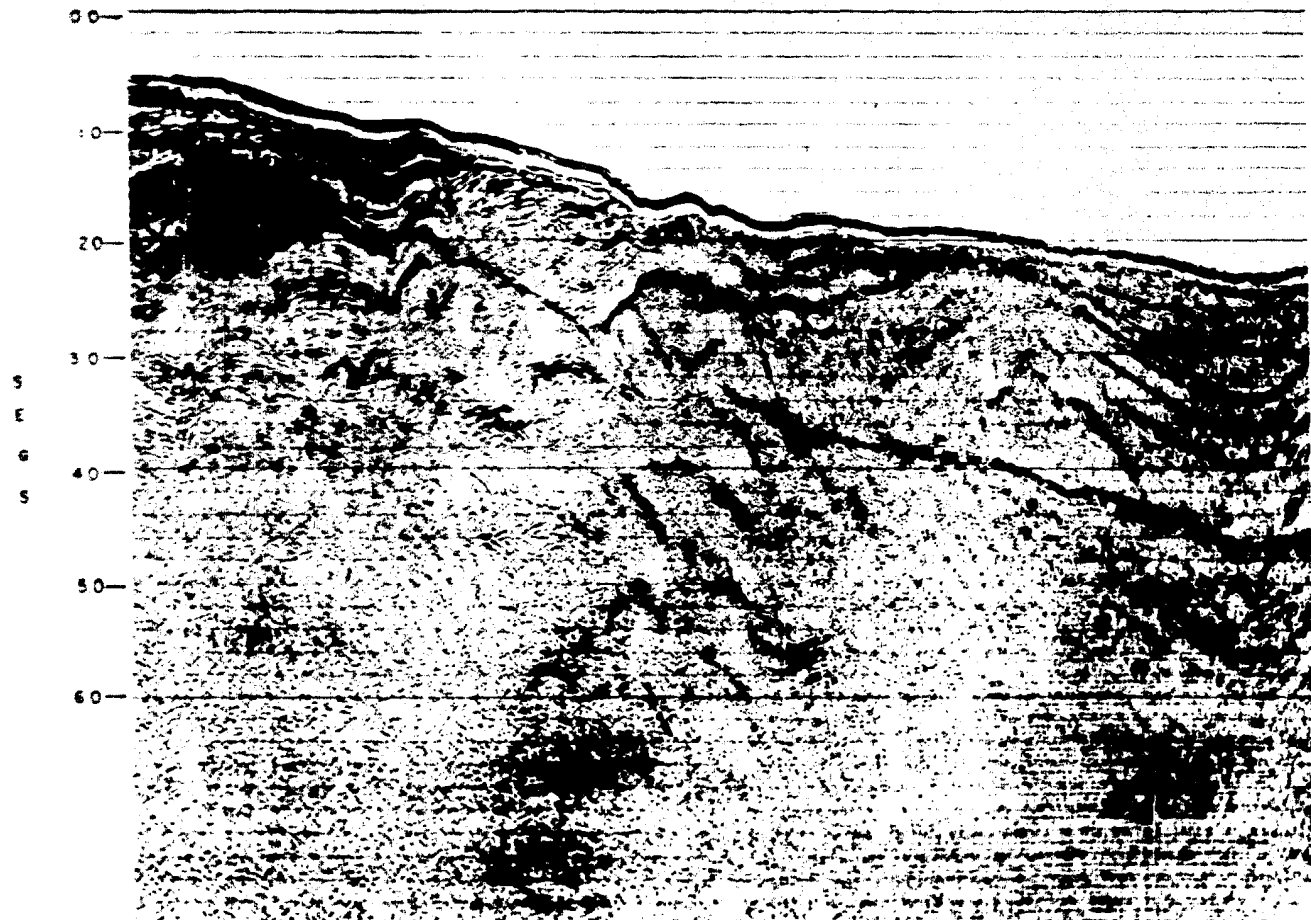


Fig. 3.11. Sección WG3W-C. Se observa mucha actividad tectónica a través de toda la sección.

SEGS.

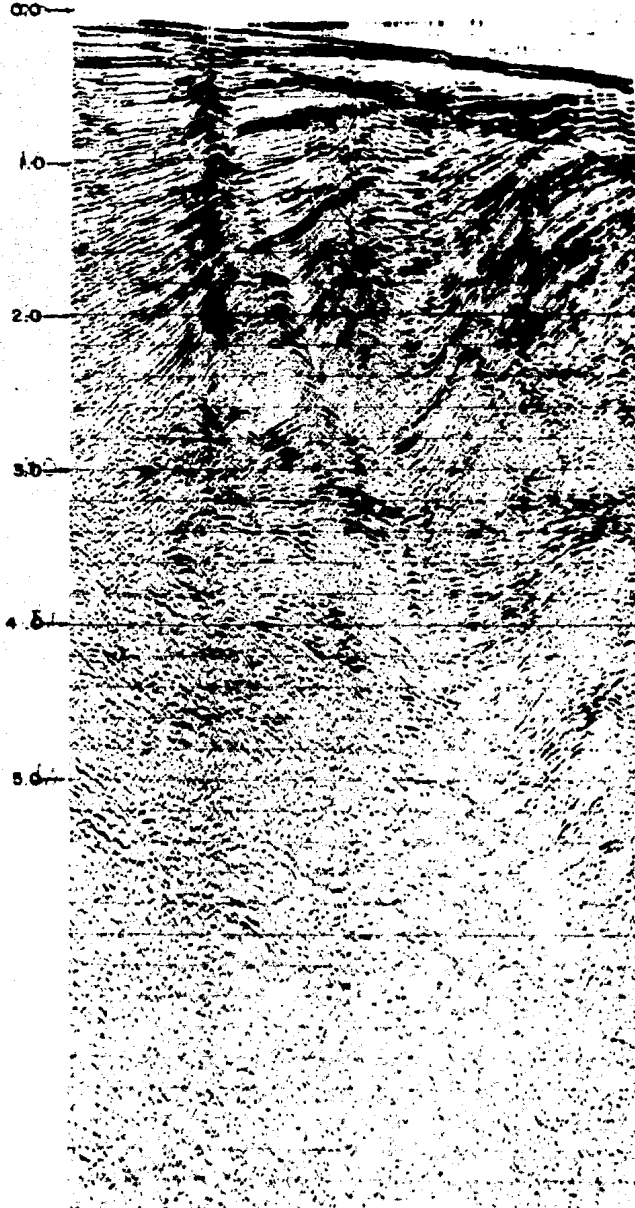


Fig. 3.12. Sección WG3W-D. En esta sección se aprecian plegamientos y fracturas.

kings (1977) nos indica que, si la energía sísmica atraviesa las rocas de la corteza oceánica con una velocidad en la dirección horizontal y con otra velocidad en la dirección vertical, la comparación de velocidades de refracción y reflexión revelaría dicha anisotropía, previendo qué niveles de confianza pueden ser establecidos para un trabajo determinado.

En nuestro análisis de velocidades se contó tanto con datos de reflexión como con datos de refracción.

El método usado aquí para obtener las velocidades está limitado al caso de reflectores horizontales.

Tenemos que dada una secuencia de estratos de unidades de roca, con cada estrato por el momento sísmicamente homogéneo y con una velocidad compresional de onda V, el tiempo de arribo de una reflexión de el N'ésimo estrato puede ser paramétricamente expresada como (Slotnick 1959).

$$T_x, n = 2 \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{V_i (1 - P_{x,i} V_i)^{1/2}} \quad \text{-- (1)}$$

Y

$$X = 2 \sum_{i=1}^n \frac{Z_i P_{x,i} V_i}{(1 - P_{x,i} V_i)^{1/2}} \quad \text{-- (2)}$$

Donde $T_{x,n}$ es el tiempo de viaje de una reflexión del N' simo estrato, X es la distancia del origen al receptor, V_i es la velocidad del i 'esimo estrato, $P_{x,i}$ es igual a dx/dz y Z_i es el espesor del i 'esimo estrato.

La velocidad del intervalo del N' simo estrato es V_n .

Tanes y Koehler (1969) expresan las ecuaciones (1) y (2) como una serie de potencias.

$$T_{x,n}^2 = C_1 + C_2 X^2 + C_3 X^4 + \dots \quad \text{-- (3)}$$

Ellos notan que para uso práctico, los primeros dos términos de la ecuación (3) aproximan los resultados de las ecuaciones (1) y (2) dentro de casi 2%. La ecuación (3) puede ser reescrita (Watkins, 1977) como:

$$\sqrt{V_n} = \frac{\sum_{i=1}^{M'} T_i V_i^2}{\sum_{i=1}^{M'} T_i} \quad \text{-- (4)}$$

Para $X = 0$

Donde V_n es la velocidad cuadrática media y T_i es igual a Z_i/V_i .

El tiempo de arribo de la reflexión para capas estratificadas pue-

de ser expresado (Watkins 1977) como:

$$T_{X,n}^2 = T_{0,n}^2 + (X^2 / \bar{V}_n^2) \quad \text{-- (5)}$$

Donde $T_{N,n}$ es el tiempo de arribo del fondo del N 'simo estrato para una distancia X del origen al receptor y T_0 , es el tiempo de arribo para $X = 0$. Combinando (4) y (5) encontramos

$$V_n^2 = \frac{\bar{V}_n^2 T_{0,n} - \bar{V}_{n-1}^2 T_{0,n-1}}{T_{0,n} - T_{0,n-1}} \quad \text{-- (6)}$$

Donde V_n es la velocidad de intervalo del N 'simo estrato. \bar{V}_n se estima de uno de varios métodos de correlación y se usa para calcular V mediante la corta relación demostrada en (6).

De este modo se obtienen los análisis de velocidades de la Fig. 3.13 donde A sirve para la línea sísmica WG2S y B sirve para las líneas sísmicas - WG3E, WG3C y WG3W.

Para la línea WG3W se obtuvo otro análisis de velocidades (Watkins, 1975, Tabla 1) para la longitud 95° y latitud 23° aproximadamente, de datos de refracción sísmica.

Velocidad de estrato (Km/s.)	Tiempo de Reflexión	Espesor de los Estratos (km.)	Profundidad (km. del subfondo)
1.9	0.0	0.5	0.0
2.2	0.53	2.0	0.5
3.2	2.34	2.5	2.5
3.8	3.91	2.0	5.0
4.8	4.96	4.0	7.0
6.6	6.63	5.0	11.0

Tabla 1. Velocidad de los estratos, profundidad bajo el piso marino y tiempos estimados de arribos de reflexiones, calculados de datos de refracción sísmica.

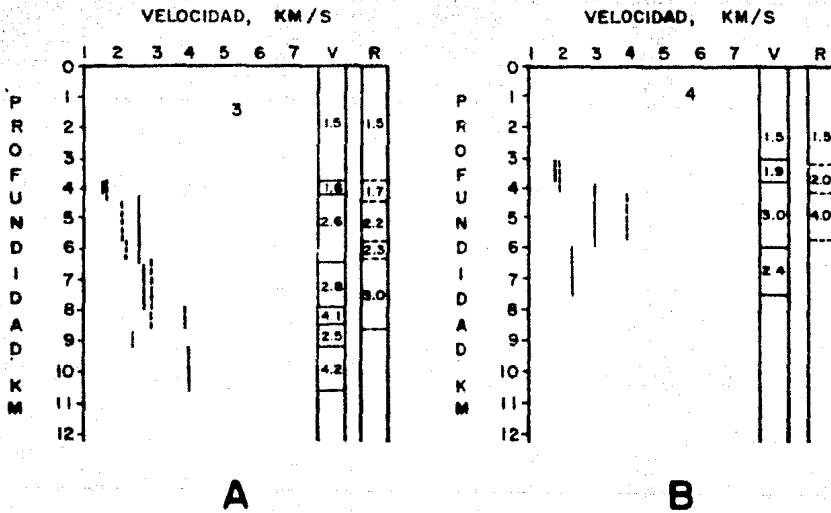


Fig. 3.13. Análisis de velocidad. V y las líneas llenas indican resultados de reflexión P.R.C. (Watkins, 1977). - R y las líneas punteadas indican resultados con sonoboya, (Houtz, 1968) (Sonoboya 12 y 16 respectivamente).

De Ladd, Watkins y otros (1976) se obtuvo el análisis de datos de refracción de la Fig. 3.14.

Los datos de una línea de refracción cercana a las líneas sísmicas de reflexión analizadas, indican que la cima del estrato de 7.0 Km/s - se encuentra aproximadamente a los 10 s (J. Ewing y otros, 1960). Este estrato según se interpreta representa el estrato oceánico 3, mientras que el estrato que se extiende sobre él, con velocidades aproximadas de 5 km/s fue interpretado como el estrato oceánico 2, por contener basalto, así como también sal y carbonatos (J. Ewing y otros, 1962). Debido a que el basamento acústico se observa dentro del estrato de 5 Km/s. Ewing y otros (1960), Ladd y otros (1976) proponen que debe representar la interfase de rocas volcánicas del estrato oceánico 2, y las rocas sedimentarias que se extienden sobre él, aquí representados por una serie de picos y reflectores discontinuos.

III.3.- Secciones Estratigráficas

Se analizan las secciones WG2S-C, WG2S-D, WG3E-B, WG3E-A, WG3W, WG3C-A y WG3C-B tomándose como base a la cima de la unidad sísmica Campeche (D) (Ver Fig. 3.15 a Fig. 3.21).

Observamos del análisis de la línea sísmica WG2S que ésta toca un extremo de la provincia Sigsbee, siendo las secciones WG2S-C y WG2S-D en las que podemos apreciar parte de los domos salinos y el gran

DATOS DE REFRACCION

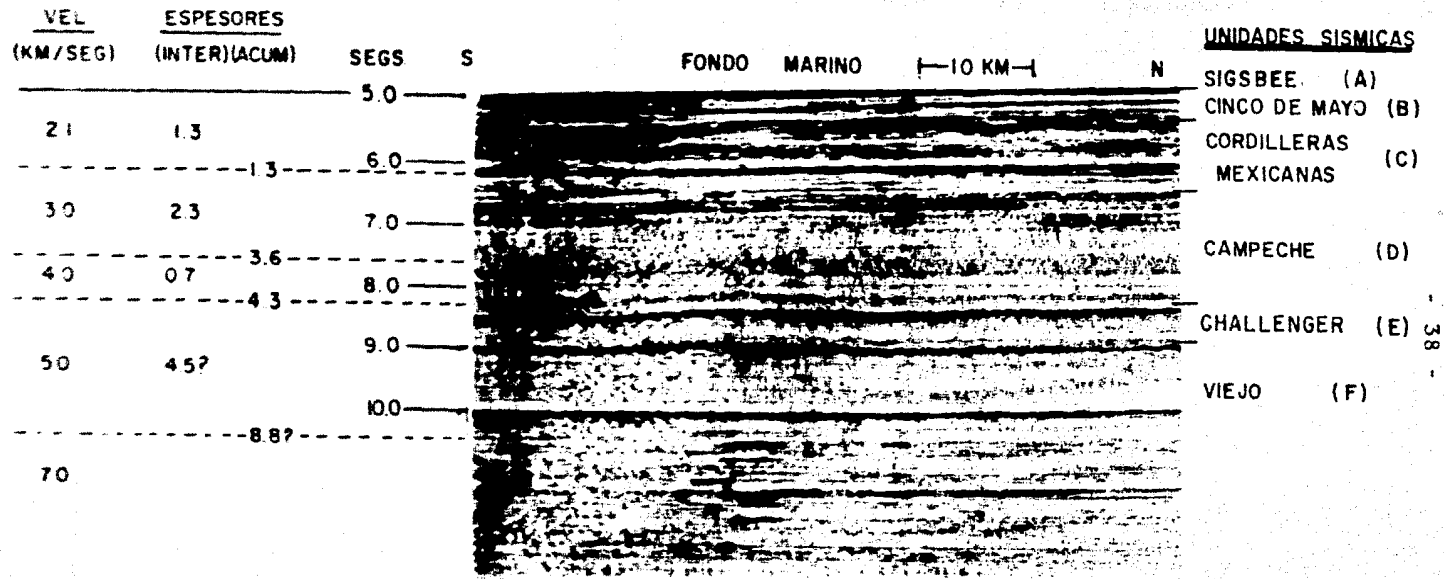


FIG. 3-14

domo Challenger en la sección WG3E-B.

Los diapiros salinos aparentemente son alimentados por la unidad sísmica Challenger (E) siendo difícil precisar con exactitud en el caso del gran domo Challenger, donde aparentemente la sal emerge de una unidad sísmica por abajo de la Challenger (E) (Ver Fig. 3.17) siendo la aparición del múltiple lo que nos dificulta determinar esto con precisión, sin embargo en las secciones WG2S-C y WG2S-D (Ver Fig. 3.1 y 3.2) se observa que el flujo de la sal está provocando la creación de nuevos diapiros, donde se ve a la sal emergiendo desde la unidad sísmica Challenger (E), por lo cual la edad sugerida para la sal es Jurásica.

En la sección WG3W-A, WG3C-A, y WG3C-B, se ve que la unidad Sigsbee (A) se adelgaza al Oeste en forma de un posible acufiamiento, notándose en la sección WG3C-A el adelgazamiento repentino de esta unidad, provocando un suave hundimiento hacia el Noroeste de las unidades Campeche (D), Cinco de Mayo (C), Cordilleras Mexicanas (B). (Ver Fig. 3.19 a 3.21).

III.4.- INTERPRETACION

III.4.1.- Eventos Tectónicos

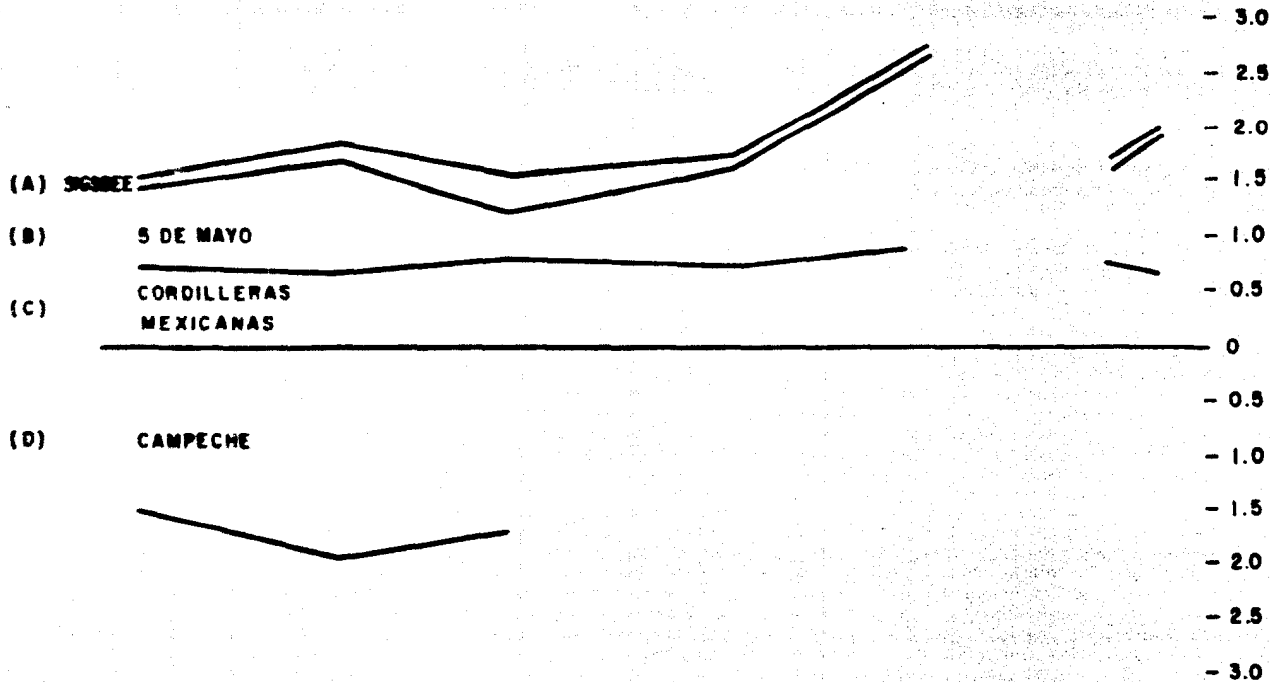
Los principales eventos tectónicos son debidos a la formación de los diapiros y domos salinos. Los domos sigsbee pertenecen a la provincia de domos salinos Campeche-Sigsbee. Sugerimos que la sal que alimenta --

N

WG25-C

S

40 Km



SECCION ESTRATIGRAFICA

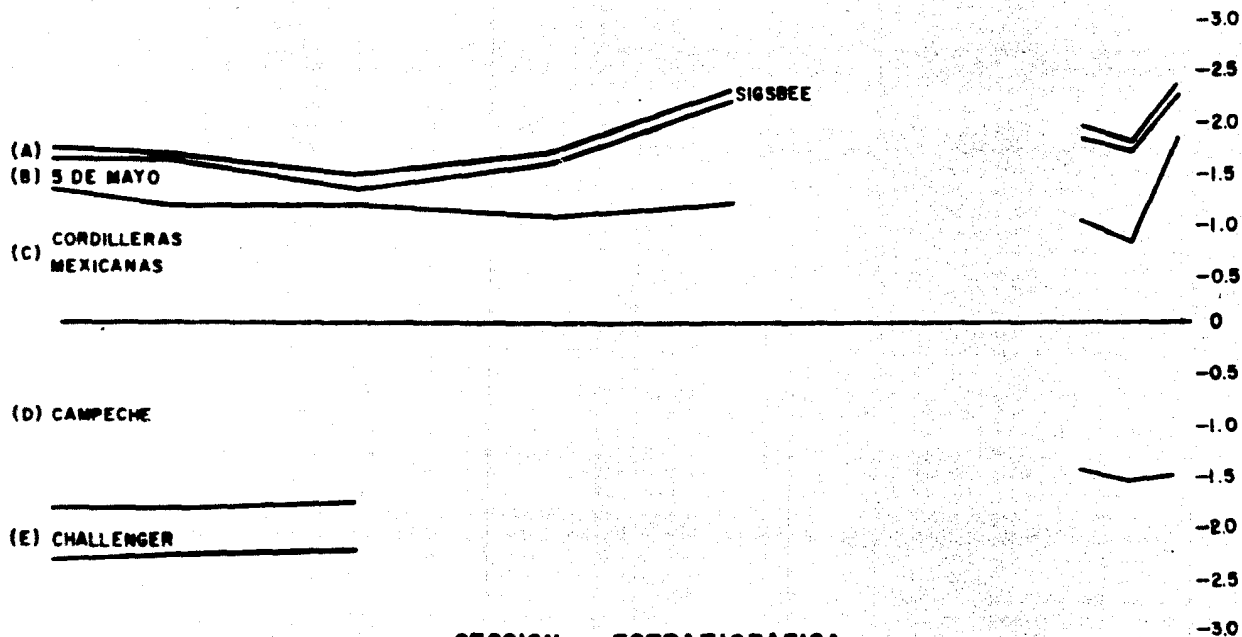
DATUM: CIMA CAMPECHE

FIG. 3-15

N

WG25 D S

40 Km



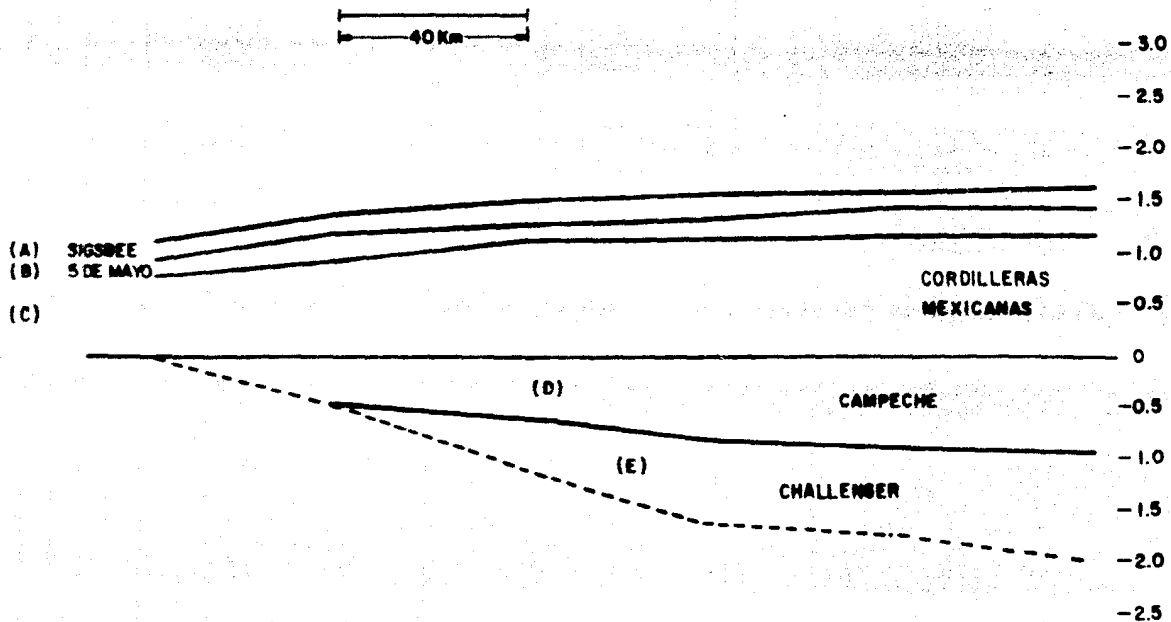
SECCION ESTRATIGRAFICA

DATUM: CIMA CAMPECHE

SE

W63E A

NW



SECCION ESTRATIGRAFICA

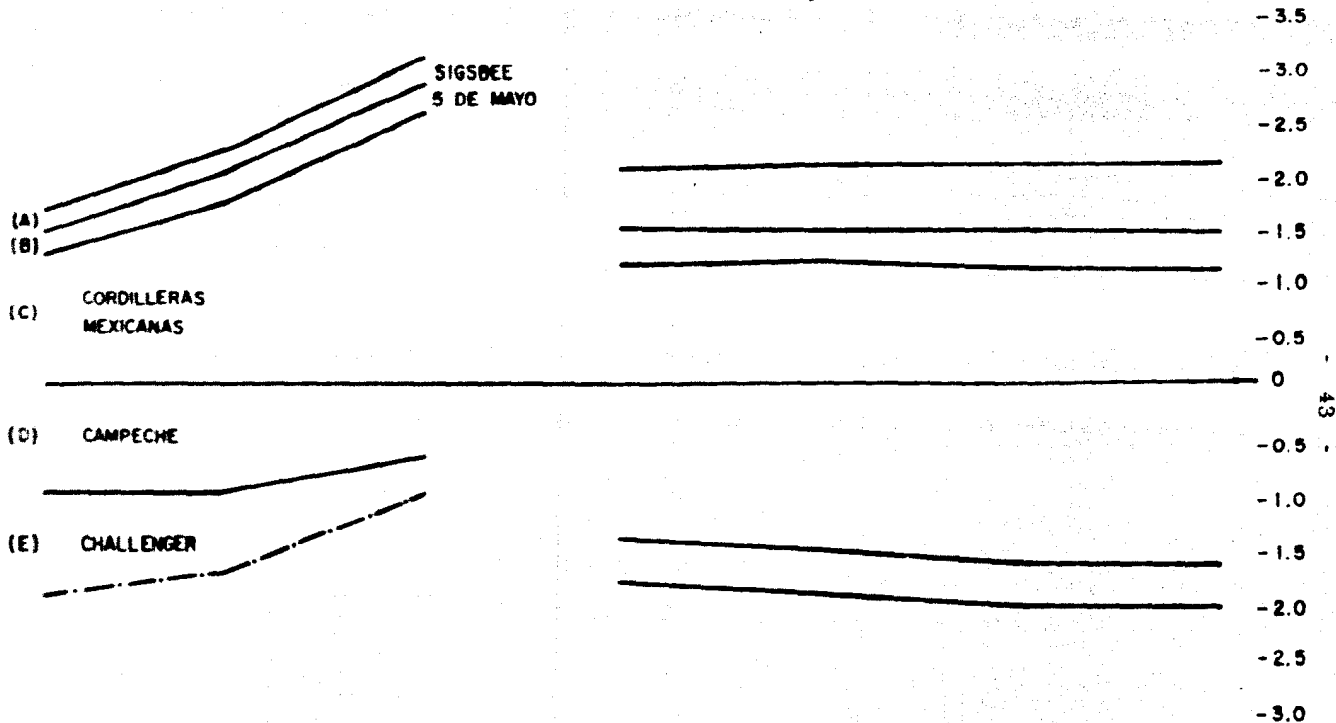
DATUM: CIMA CAMPECHE

SE

WG3E - B

NW

40 Km



SECCION ESTRATIGRAFICA

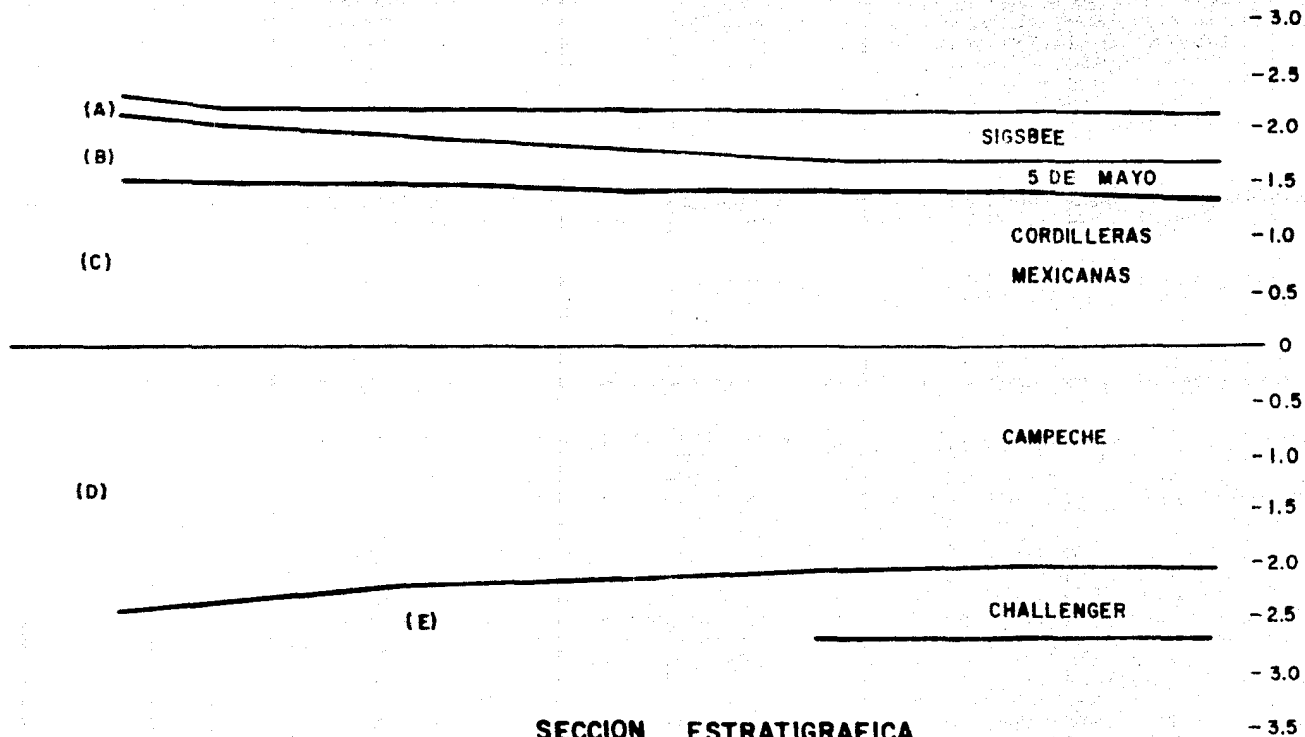
DATUM: CIMA CAMPECHE

W

WG3C-A

E

40Km



SECCION ESTRATIGRAFICA

DATUM: CIMA CAMPECHE

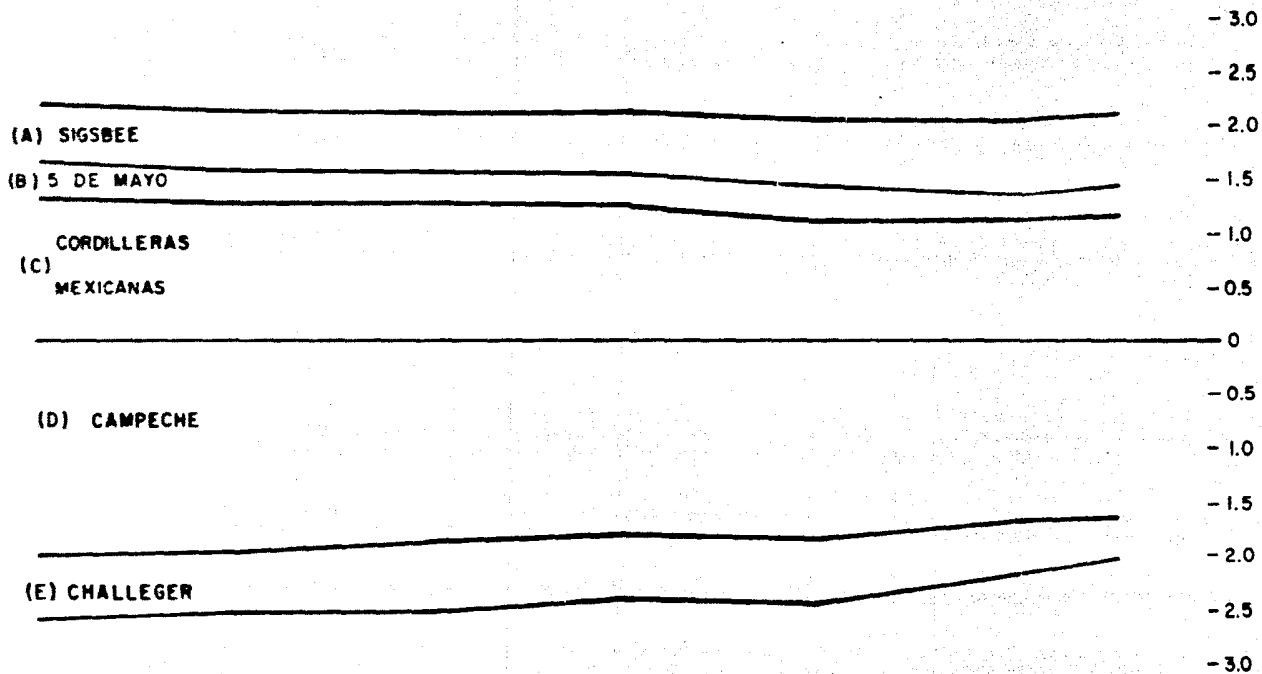
FIG. 3 - 19

W

WG3C-B

E

40Km



SECCION ESTRATIGRAFICA

DATUM: CIMA CAMPECHE

FIG. 3-20

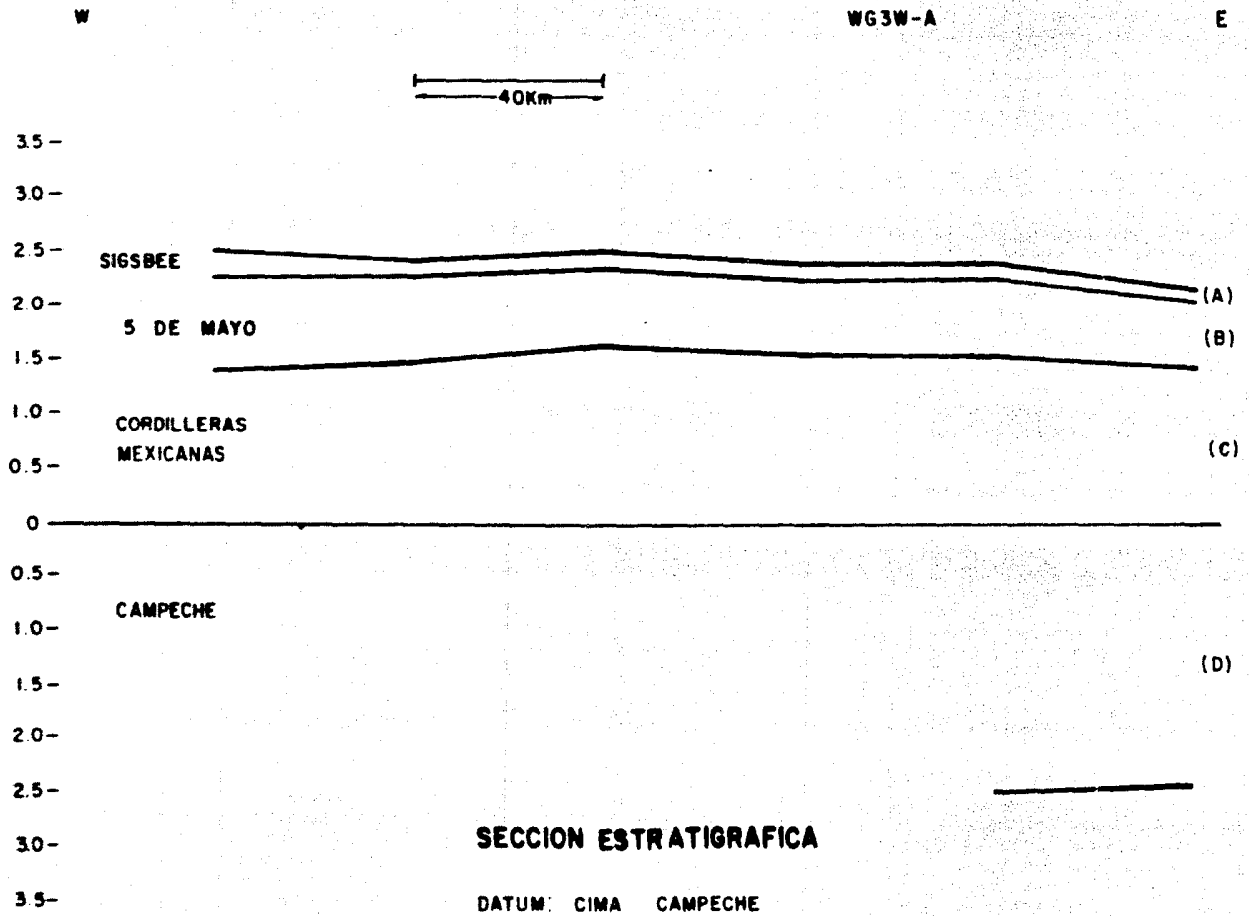


FIG. 3-21

a esos domos salinos y al gran domo Challenger, puede correlacionarse -- con la sal jurásica Louan de la costa de Texas. (M. Ewing y otros, 1972, Ladd y otros 1976, Kirland y Gerhard, 1971). Llama la atención la gran actividad causada por la formación de nuevos posibles domos a través de dicha provincia salina (Ver Fig. 3.1 y 3.6) que provocan facturamientos, anticlinales (Ver Fig. 3.2) que vienen a alterar la uniformidad de las unidades sísmicas existentes, debido al flujo ascendente de la sal a través de las unidades sísmicas, emergiendo debido a presiones de sobrecarga como lo deduce Antoine y Bryant (1969). De este modo notamos posibles fracturas al lado Sur del domo Challenger sobre la unidad "Challenger" notando posible flujo salino por ese lado (Ver Fig. 3.6). También notamos fracturas a lo largo de las secciones WG2S-C y WG2S-D. Al extremo derecho de la sección sísmica WG2S-D se observa un posible facturamiento debido a un flujo salino, lo mismo que en lado Sur de la sección sísmica WG2S-C. - (Ver Fig. 3.1 y 3.2). A la vez en estas secciones podemos observar anti-- clinales, sinclinales y diversos tipos de facturamiento debido al flujo as-- cendente de la sal.

Los plegamientos de las Cordilleras Mexicanas envuelven a las - unidades sísmicas, "Campeche" (D), "Cordilleras Mexicanas" (C) y -- "Cinco de Mayo" (B) lo cual sugiere una intensa actividad tectónica en el - Terciario Tardío (Ladd y otros, 1976). También hacia el Sur notamos que tales unidades debajo de la unidad sísmica "Sigsbee", son alteradas por -- los plegamientos de la provincia Campeche-Sigsbee lo cual sugiere que esa

deformación en la provincia tuvo lugar principalmente en el mismo Terciario Tardío, (Watkins y otros, 1976).

Dada una edad jurásica para la unidad Challenger, se sugiere -- que el basamento acústico observado dentro de esta unidad, puede representar la corteza ignea como lo propuesto por Watkins y otros, (1976) -- quienes dan una edad del Paleozoico Tardío o Mesozoico Temprano para dicho reflector.

III.4.2.- Etapas de Quietud

La presencia de las unidades: "Cordilleras Mexicanas" (B), "Cinco de Mayo" (C) y "Campeche" (D), por debajo de la unidad Sigsbee que presenta irregularidad en su depósito de turbiditas del Plioceno, indica una etapa de sedimentación uniforme bastante notoria en los sedimentos pelágicos de la unidad sísmica "Campeche" (D) del Cretácico Tardío al Terciario Temprano. Lo mismo las turbiditas de grano grueso del Mioceno Medio que caracterizan a la unidad "Cordilleras Mexicanas" (C) y para los lodos pelágicos con turbiditas de grano fino del Mioceno Superior que forman la unidad "Cinco de Mayo" (B), las cuales por la uniformidad de sus espesores nos hacen pensar en una etapa de depósito uniforme a través de la zona abisal del Golfo de México.

III.4.3.- Acción de la Plataforma de Yucatán

La sal deberfa continuarse por debajo del acantilado de Campeche según Antoine y Bryant (1969). Del análisis hecho no encontramos evidencias de esa continuación.

Sin tener indicios de lo contrario, la plataforma de carbonatos que forma la Península de Yucatán, favorece para la formación de los dia-piros como lo asevera Antoine y Bryant (1969) formando contrapeso para la formación de éstos en la provincia Campeche-Sigsbee.

La plataforma de Yucatán según observamos a través de los perfiles, permaneció estable durante la formación de las unidades en la zona profunda del Golfo, presentando una etapa de quietud posiblemente desde el Jurásico.

IV.- CONCLUSIONES Y RESULTADOS

IV.1.- Conclusiones

Del análisis del presente estudio obtuvimos el conocimiento de una edad Jurásica para la sal que alimenta a los domos Sigsbee y al gran domo salino Challenger, la cual como sugerimos, la podemos correlacionar con la sal jurásica Louann de la costa de Texas.

Sugerimos que el basamento acústico irregular representa la -- corteza ígnea originada en el tiempo de la formación del Golfo de México -- como sugiere Watkins y otros (1976).

Damos una edad justa antes al Triásico Tardío-Jurásico Temprano para la formación del Golfo de México de una cuenca oceánica abriéndose del Atlántico Norte como fue propuesto por Talwani y Pittman (1972).

Del basamento acústico observado sugerimos que probablemente representa corteza oceánica formada en el Paleozoico Tardío o Mesozoico - Temprano como lo propuso Ladd y Worzel en (1976) y así observamos que -- sobreyaciendo a esta corteza oceánica se encuentran seis unidades incluyen -- do una que contiene sal. Y por los núcleos obtenidos por Ewing y otros -- (1972) observamos que las unidades que sobreyacen a la sal representan -- sedimentación pelágica del Mesozoico Tardío al Terciario Temprano seguida por depósitos de turbiditas que van desde el Terciario Medio hasta el --

Pleitoceno en la última unidad sísmica, lo cual sugiere una etapa de sedimentación uniforme a partir del depósito de sedimentos pelágicos en la parte -- abisal del Golfo.

Tenemos que el objetivo del trabajo fue cubierto en su totalidad, - dando una edad y una hipótesis para el origen y formación del Golfo. Obte-- niendo una edad jurásica para la sal, donde debido a la aparición del múlti-- ple no nos permite en algunas secciones definir con precisión su origen, pre-- sentándose a su vez claro en otras secciones. Con respecto a las Cordille-- ras Mexicanas se sugiere fueron originadas de una intensa actividad tectóni-- ca en el Terciario Tardío y se da a la vez una hipótesis sobre su formación.

IV.2. - Implicaciones Económicas

Se analizaron líneas sísmicas que presentan entrampamientos co-- mo son domos salinos, fracturas, anticlinales sinclinales. Aparece a la -- vez una unidad alimentadora conteniendo sal, lo cual nos da un ambiente -- ideal para detener la migración de los hidrocarburos en cualquier dirección, presentándose la zona de los knolls como un área tentativa para una explo-- ración local más exhaustiva para la localización de hidrocarburos.

BIBLIOGRAFIA

- Antoine, J.W. and Bryant, W. R., Structural Features of Continental Shelf, Slope and Scarp, Northeastern Gulf of Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., V. 53, p. 257 - 262, 1969.
- Antoine, J.W., Structure of the Gulf of Mexico: in Rezak, R and Henry, V., eds., Contribution on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico: Texas A. and M. University Oceanog. Studies V. 3, p. 1-34, 1972.
- Antoine, J. W. and Bryant, W. R., Distribution of salt and salt structures in Gulf of Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull. V. 53, p, 2543 - 2550, 1969.
- Bouma, A. H., Distribution of sediments and sedimentary Structures. in Rezak, R., and Henry, V., eds. Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico: Texas A. and M. University Oceanog. Studies, V. 3, p. 35-65, 1972.
- Bryant, W. R., Antoine, J. W., Ewing, M. and Jones, B., Structure of Mexican Continental Shelf and Slope, Gulf of Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull V. 52, p. 1204-1228, 1968.

- Bergantino, N. R., Submarine Regional Geomorphology of the Gulf of Mexico: Geological Society of America Bull, V. 82, p. 741-752, 1971.
- Bullard, E. C. Overview of Plate Tectonics: in Fischer, G. and Judson, S., eds., Petroleum and Global Tectonics.
- Cominguez, C. H. A., Sandoval, O. H. J. y del Castillo, G. L. Aporte Gravimétrico en el análisis tectonofísico del Golfo de México: Instituto de Geofísica, Departamento de Exploración, U.N.A.M., Impulsado:
- Curry, R. J., Marine Sediments, Geosynclines and Orogeny: in Fischer, G. and Judson, S., eds., Petroleum and Global Tectonics.
- Dehlinger, P. and Jones, B. R., Free-Air Gravity Anomaly map of the Gulf of Mexico and its Tectonic Implications: Geophysics, Vol. XXX, No. 1, p. 102-110, 1965.
- Ewing, J. and Ewing, M. 1967. Sediment Distribution on the Mid Ocean ridges with respect to spreading of the sea floor: Science, V. 156, - p. 1590-1592, 1967.

Ewing, J., Worzel, J. L. and Ewing, M., Sediments and Oceanic Structural History of the Gulf of Mexico: Jour. Geophys. Research, V. 67, p. 2509-2527, 1962.

Ewing, M., Worzel, J. L. and others, Initial reports of deep sea drilling -- project, Vol. 1: Washington, D. C., U. S. Govt. Printing Office, 1972.

Fisher, G. A., Origin and Growth of Basins: in Fischer, G. A. and Judson, S., eds., Petroleum and Global Tectonics.

Gough, D. J., Magnetic anomalies and crustal structure in Eastern Gulf of -- Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., V. 51, P. 200-211, 1967.

Houtz, R., Ewing, J. and Le Pichou, X., Velocity of deep sea sediments from sonobuoy data: Jour. Geophysics Research, V. 73, p. 2615-2641, - 1968.

Imlay, R. W., Jurassic formations of Gulf region: Am. Assoc. Petroleum - Geologists Bull., V. 27, p. 1407-1533, 1943.

- Kirkland, D. W. and Gerhard, J. E., Jurassic salt, central Gulf of Mexico and its temporal relation to circum Gulf evaporites: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull, V. 55, p. 680-686, 1971.
- Ladd, W. J. Buffler, T. R., Watkins, S. J., Worzel, J. L. and Carranza, A. Deep seismic refraction results from the Gulf of Mexico: Geology Sull, V. 4, p. 365-368, 1976.
- Maher, J. C., and Aplin, Esther, R., Correlation of Sub-surface Mesozoic and Cenozoic rocks along the Eastern Gulf Coast: Am. Assoc. -- Petroleum Geologists, Cross Section Pub. 6, 1968.
- Mayne, W. H., Common reflection point horizontal data stacking techniques: Geophysics, V. 27, p. 927-938, 1962.
- Pitman, W. C., III and Talwani, M., Seafloor spreading in the North Atlantic: Geol. Society of America Bull, V. 55, p. 619-646, 1972.
- Phillips, J. D. and Forsyth, D., Plate tectonics, Paleomagnetism and the opening of the Atlantic: Geological Society of America Bull, V. 83, p. 1579-1600, 1972.

- Schmalz, R. F., Deep-Wather Evaporate deposition a genetic model: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., V. 53, p. 798-823., 1969.
- Shor, G. G., R. W. Raitt, M. Henry, L. R. Bentley, and G. H. Sutton, --
Anisotropy and Crustal Structure in the Cocos Plate, Cons. Nac. Ciencn. Tech., 13, p. 337-362, 1973.
- Taner, M. T., and F. Doehler, Velocity spectra-digital Computer derivation and Applications of velocity funtions, Geophysics, 34, p. 859-881, 1969.
- Watkins, J. S., Worzel, J. L., Houston, M. H., Ewing, M. and Sinton, J. -
B., Deep seismic reflection results from the Gulf of Mexico: P. T. 1: Science, V. 187, p. 834-836, 1975.
- Watkins, S. J., Buffler, T. R., Houston. H. M., Ladd, W. J. Shipley, H. T. Shaub, F. J., Sinton, B. J., Worzel J. L. and Dillon, P. W., Crustal velocites from marine common depth point reflection data: --
Gophysical Union Washington, D. C. 20006, 1977.
- Wilhelm, O. and Ewing, M., Geology and History of the Gulf of Mexico: Geological Society of America, V. 83, p. 575-600, 1972.

Worzel, J. L., Bryant, W., and others, Initial reports of Deep Sea Drilling Project, Vol. 10: Washington, D. C., U. S. Govt. Printing Office., 1972.

Worzel, J. L., Leyden, R., and Ewing, M. Newly Discovered diapirs in the Gulf of Mexico: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., V. 52, p. 1194-1203, 1968.