

01179
2es.
3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERIA

INTERPRETACION GEOLOGICO GEOFISICA

DE LA REGION DE SAL SOMERA

ESTADO DE VERACRUZ

JUAN FERNANDO NAVARRO BACA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA

(EXPLORACION)

CIUDAD UNIVERSITARIA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

C O N T E N I D O

	PAG.
RESUMEN	
CAPITULO I. INTRODUCCION.	1
A) LOCALIZACION.	1
B) FISIOGRAFIA.	2
C) HIDROGRAFIA.	2
D) GEOMORFOLOGIA.	3
E) GENERALIDADES TECTONICO - ESTRATIGRAFICAS DEL AREA.	4
F) POSIBILIDADES ECONOMICAS.	6
G) OBJETIVOS.	7
CAPITULO II. ESTRATIGRAFIA.	8
CAPITULO III. ESTRUCTURA.	47
A) SISMOLOGIA.	47
B) GRAVIMETRIA.	55
B1) DATOS FUENTE.	55
B2) CAPTURA DE DATOS	56
B3) ANALISIS GRAVIMETRICO DEL AREA DE MEDIAS AGUAS.	59
B4) ANALISIA GRAVIMETRICO DEL AREA DE CHINAMECA.	67
B5) ANALISIS GRAVIMETRICO DEL TOTAL DE SAL SOMERA.	69
CAPITULO IV. INTERPRETACION.	71
A) MODELADO GRAVIMETRICO.	71
B) CONSIDERACIONES GEOLOGICAS.	72
CAPITULO V. METODOLOGIA PARA FUTUROS TRABAJOS A DETALLE.	78

CAPITULO VI. CONCLUSIONES.

83

APENDICE A. FORMAS SALINAS EN GENERAL.

APENDICE B. ANALISIS DE LOS OPERADORES UTILIZADOS EN GRAVIMETRIA.

BIBLIOGRAFIA.

R E S U M E N

Las herramientas de exploración petrolera, utilizadas en el presente trabajo y a las cuales se les dedicó un capítulo especial, fueron: la Estratigrafía, la Sismología, la Gravimetría y el Análisis Estructural. Como resultado de la integración geológica realizada, la columna estratigráfica puede ser dividida en dos ciclos sedimentarios, separados por una discordancia regional a nivel Cenomaniano :

i) Ciclo Transgresivo : Fm. Todos Santos, Fm. Salina, Fm.

Chinameca y Cretácico indiferenciado (no aflora ni ha sido definido en el área estudiada; pero se conoce en su vecindad).

ii) Ciclo Regresivo : Fm. Méndez, Gpo. Nanchital (no aflora en el área), Fms. La Laja, Depósito, Encanto, Concepción Inferior, Concepción Superior, Filisola y Acalapa.

El estilo estructural en Sal Somera es Halocinético. No hay evidencias de tectonismo notable en superficie o en subsuelo.

La conjunción entre las respuestas sísmica y gravimétrica, permitió ubicar 5 estructuras salinas intrusivas, que jerarquizadas en orden de importancia económica son : OTEAPAN, TATAGAPA, ENCANTO, MORALAR y MANATI. Se proponen trabajos indirectos y directos, con objetivo Mioceno Inferior, en cada una de ellas. Además se propone la flexibilización de los criterios exploratorios, adecuándolos a los avances actuales en el conocimiento geológico de cada área. El realizar trabajos de campo rápidos, pero resolutivos, de detalle, en áreas relativamente pequeñas, en estructuras bien delimitadas y persiguiendo un objetivo estructural o estratigráfico concreto.

C A P I T U L O I . I N T R O D U C C I O N

A) LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.

La presente investigación geológico-geofísica, se refiere a la porción del sur del Estado de Veracruz conocida localmente como Sal Somera.

El nombre de Sal Somera se debe a que la cima de la sal se encuentra "masivamente" a menos de 500m. de la superficie y en general casi aflora en esta región.

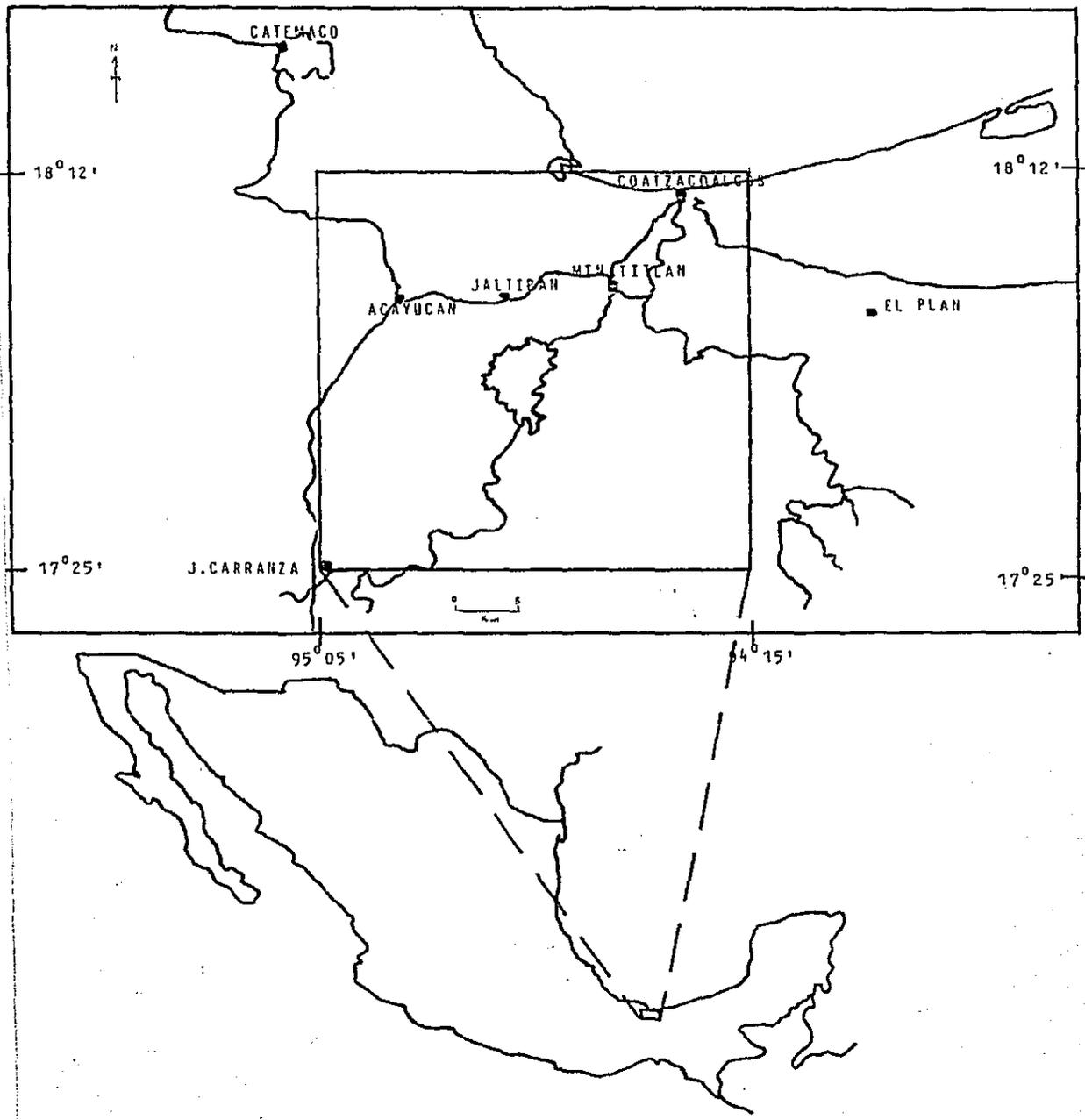
Ubicada geográficamente entre los meridianos 94° 15' y 95° 05' de longitud oeste, y los paralelos 17° 30' y 18° 00' de latitud norte; es de forma rectangular y cubre una superficie aproximada de 6 640 Km². FIG. 1.

De acuerdo a la división de provincias geológicas propuestas por PEMEX, esta región se ubica en la porción occidental de la Provincia denominada Cuencas Terciarias del Sureste y, al mismo tiempo, esta hacia la parte occidental de la Cuenca Salina del Istmo de Tehuantepec. FIG. 2.

En ella se encuentran las ciudades de Coatzacoalcos y Minatitlán, Ver., así como las poblaciones de Jáltipan de Morelos y Acayucan, Ver., FIG. 4.

Se encuentra bien comunicada ya que la cruzan la Carretera Transístmica, así como las vías de Ferrocarriles Nacionales que unen al Puerto de Coatzacoalcos con Minatitlán y con el centro de México. A estas vías principales entroncan varias secundarias que permiten el acceso terrestre a toda el área.

FIG. 1. PLANO DE LOCALIZACION.



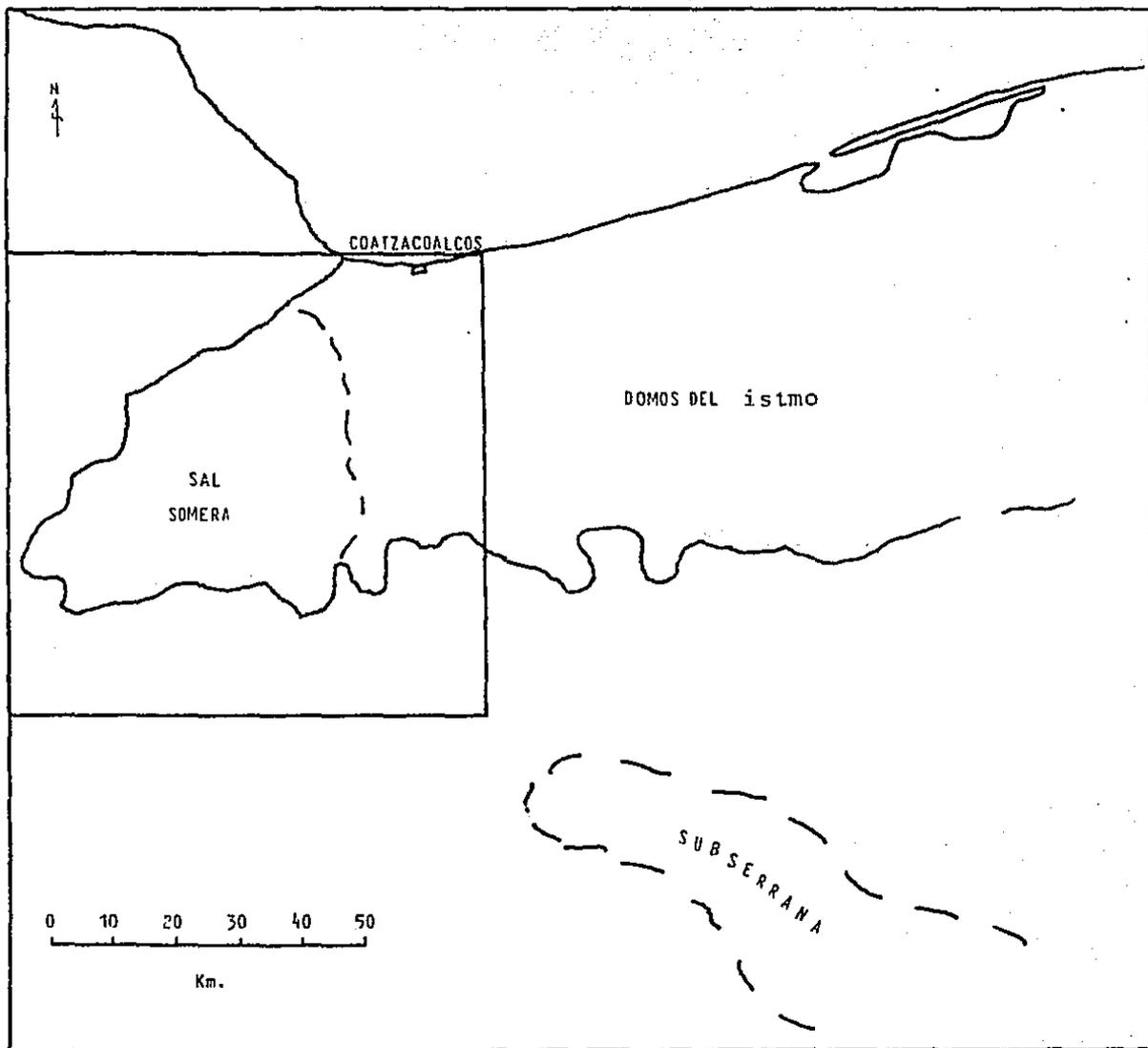


FIG. 2. REGIONES SALINAS DE LA "CUENCA SALINA DEL ISTMO".

B) FISIOGRAFIA.

La región de Sal Somera, se ubica dentro de la porción occidental de la Provincia Fisiográfica de las Cuencas Terciarias del Sureste. Está al sur de San Andrés Tuxtla y al norte de la Sierra de Chiapas, Lopez Ramos, 1979.

Es por lo tanto una porción de la Planicie Costera del Golfo de México, la cual, de manera general, corresponde a una Planicie de tipo externo y regresiva durante el Cenozoico. Presenta una pendiente mínima hacia el Golfo de México, misma que favorece al escurrimiento en esa dirección preferente.

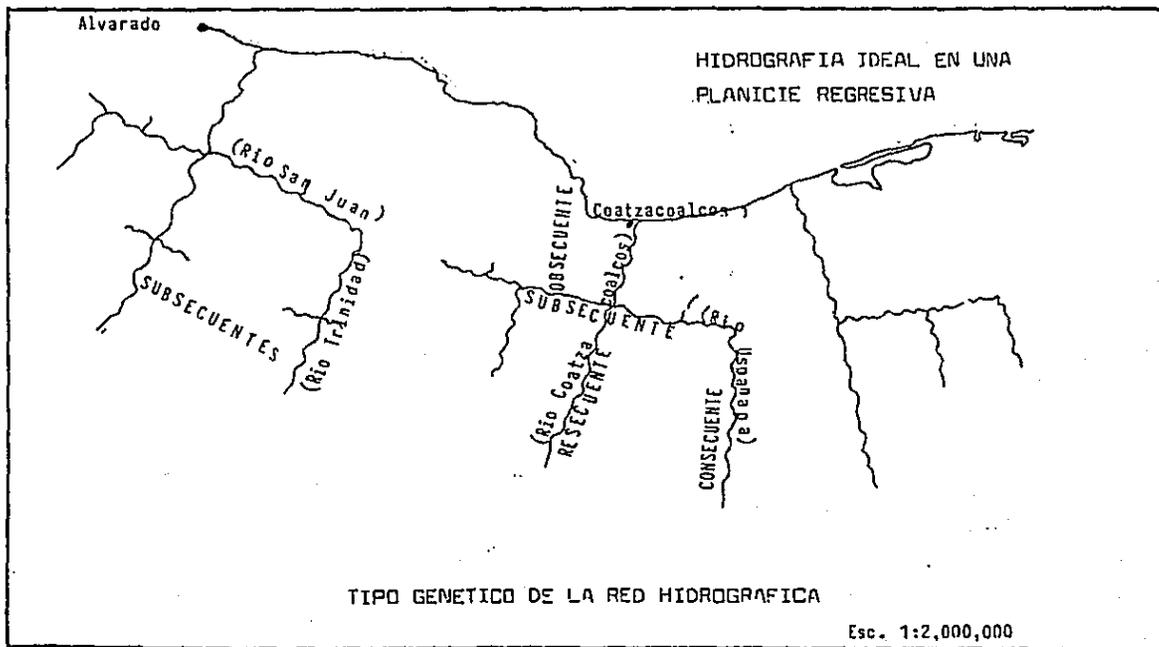
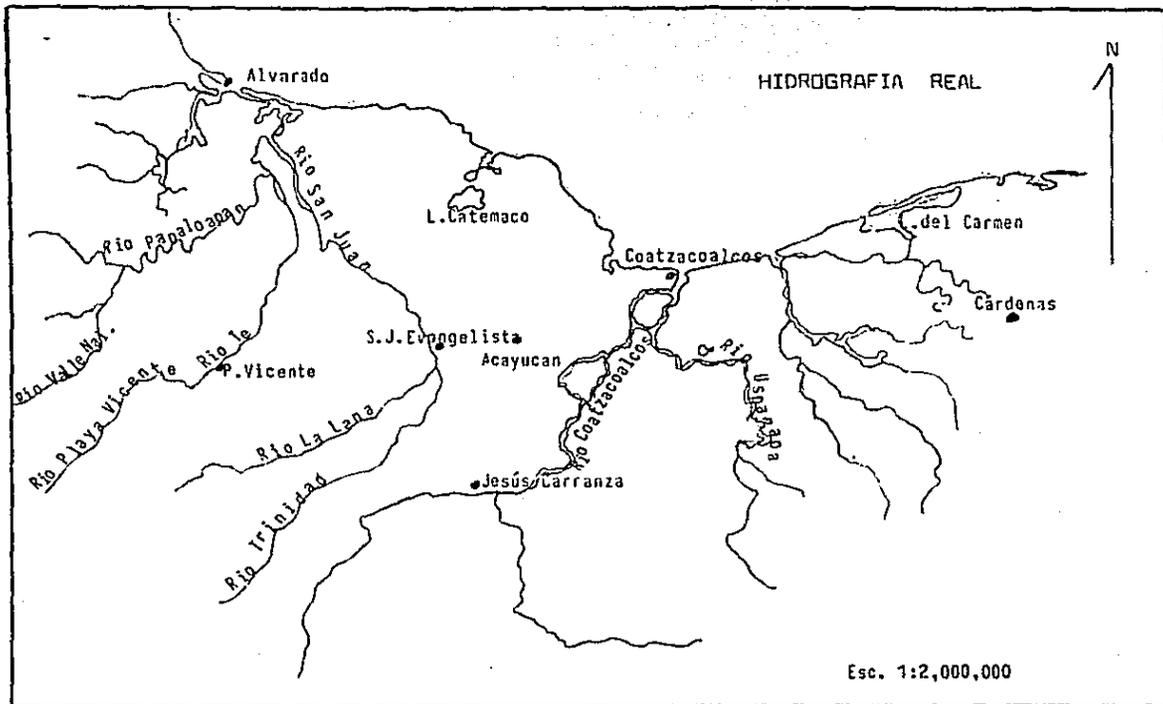
Localmente se observan alturas promedio sobre el nivel del mar de unas cuantas decenas de metros, mientras que el relieve máximo no llega a exceder los 100 metros. Los lomerios constituidos por rocas calcáreo-terrágenas constituyen los rasgos topográficos que sobresalen dentro de la monotonía de la Planicie.

Estas condiciones de topografía suave, aunadas a la abundancia de agua y pastos, han favorecido el desarrollo de una amplia red de vías de comunicación terrestre y han promovido una importante actividad económica.

C) HIDROGRAFIA

La zona pertenece a la vertiente del Golfo de México. Los sistemas hidrográficos de los ríos Coatzacoalcos y Papaloapan, dominan las porciones suroriental y noroccidental respectivamente, FIG. 3.

FIG. 3. HIDROGRAFIA REAL E IDEAL DE LA REGION DE SAL SOMERA; VER.



Los afluentes principales del río Coatzacoalcos son el río Jaltepec y el río Uzpanapa, mientras que los afluentes principales del Papaloapan son el Trinidad y La Lana, que al unirse forman el río San Juan mismo que desemboca en el Papaloapan ya cerca de la Laguna de Alvarado.

El río Coatzacoalcos es navegable en una gran extensión y en su desembocadura, el puerto del mismo nombre es actualmente el de mayor importancia en el país.

La madurez alcanzada en la red hidrográfica se evidencia tanto por la integración del drenaje, como por la madurez de los ríos Coatzacoalcos y Papaloapan, hecho que incluye a sus principales afluentes. Ambos constituyen las corrientes maestras de la región, conduciendo sinuosamente hasta el mar el aporte de sus tributarios.

En general el patrón hidrológico de la porción septentrional del Istmo de Tehuantepec, se aproxima bastante al modelo típico que se desarrolla en una planicie costera regresiva, FIG. 3.

Localmente se aprecia un control estructural por fallas, anticlinales, síclinales y por intrusiones salinas (ver plano geológico anexo).

D) GEOMORFOLOGIA.

Aún cuando de pequeñas dimensiones, el área de que se habla no corresponde exactamente a una planicie, sino que más bien es una zona de plegamientos suaves sepultados, en una etapa madura dentro del ciclo geomorfológico.

La estructura más notable es el Domo de Sayula, evidente tanto por su forma semicircular, como por el drenaje radial centrifugo y parcialmente anular que lo circunda, FIG. 4.

Las estructuras anticlinales buzantes de San Juan Evangelista y Tonalapa, se distinguen por sus rasgos topográficos, así como por el drenaje que las circunda. Las estructuras de Moralar y Achotal, presentan drenaje anómalo: en el primer caso no se define un patrón claro y en el segundo se observa una geometría radial centripeta, controlada por el colapso de una cúpula salina intrusiva, FIG. 4.

En el área al oriente de Almagres, ocurre otra zona drenada radialmente hacia el centro, lo cual coincide con una estructura sinclinal, (ver plano geológico).

La expresión superficial de estos plegamientos es mínima, mas queda definida por lomerios. Esto es debido principalmente a que no se trata de grandes plegamientos compresivos, así como a la incapacidad de la red de drenaje de acarrear hasta el mar la gran cantidad de sedimentos provenientes de la Sierra de Chiapas y a la generalmente débil litología de las rocas dentro de la Planicie. Estos factores aunados a las condiciones regresivas que han predominado durante el Cenozoico, son los elementos que han modelado el paisaje actual.

E) GENERALIDADES TECTONICO - ESTRATIGRAFICAS DEL AREA.

Desde el punto de vista tectónico, el Istmo de Tehuantepec presenta características de una margen continental pasiva hacia el Golfo de México, y de una margen activa hacia el Pacifico.

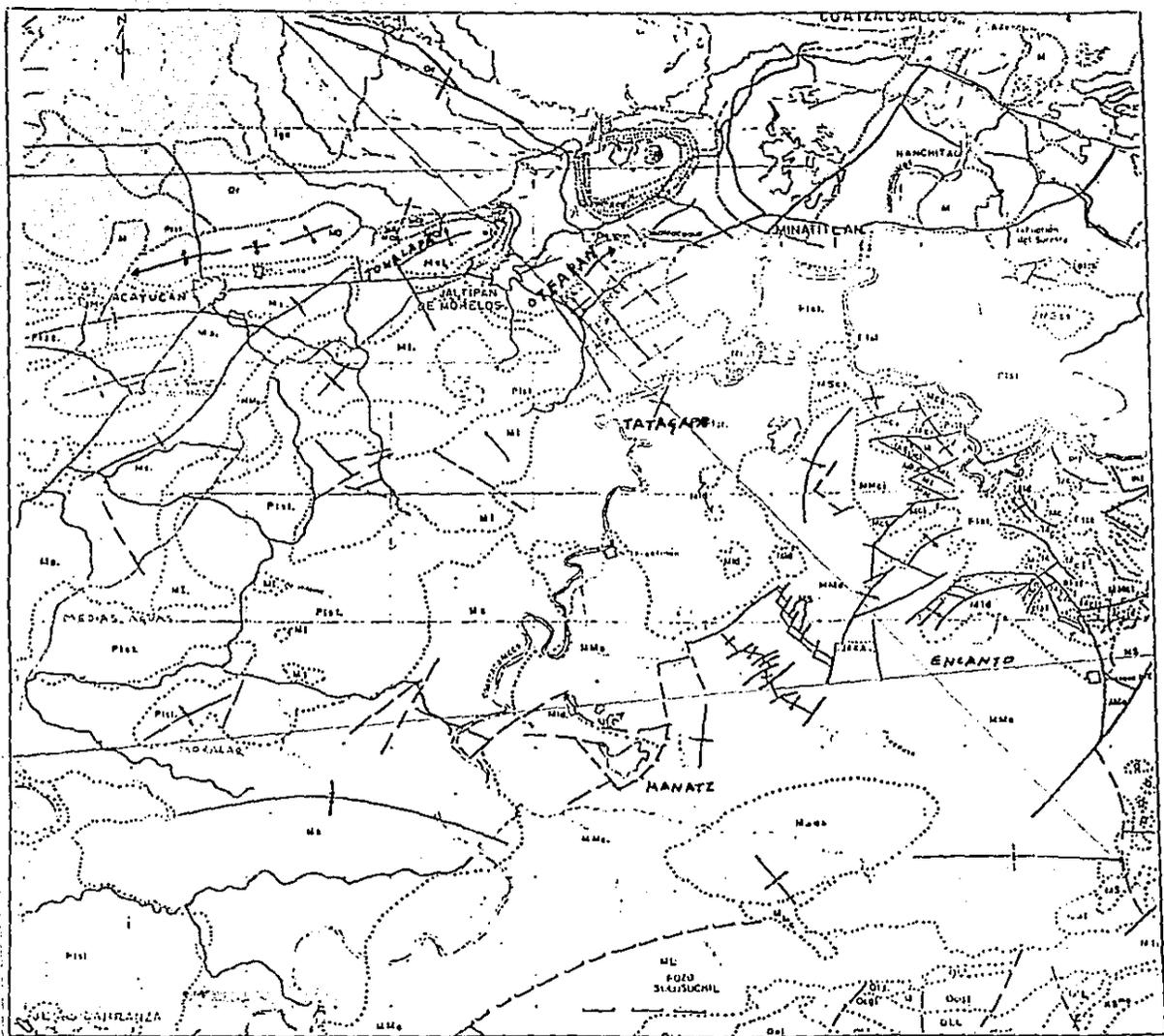


FIG. 4. PLANO GEOLOGICO DE LA REGION DE SAL SOMERA, VER..

La estratigrafía y estructura del Triásico al Cretácico Medio de la porción pasiva en la cual se ubica Sal Somera, estuvieron controladas por el proceso de apertura del Golfo de México, con una tectónica de tipo extensional y la depositación de un gran ciclo sedimentario transgresivo, que incluye de la base a la cima a las formaciones Todos Santos, Salina, Chinameca y Cretácico de cuenca indiferenciado.

La sal jurásica, de importancia especial en este estudio, queda comprendida dentro de la Formación Salina. (Ver tabla estratigráfica).

A partir del Cenomaniano se evidencia en la región del Golfo un cambio estructural y estratigráfico, que sobreponiéndose al ciclo anterior, señala condiciones sedimentarias regresivas, marcadas por el predominio de la sedimentación terrígena sobre la carbonatada.

Este ciclo regresivo incluye de la base a la cima a las formaciones: Méndez, Nanchital, La Laja, Depósito, Encanto, Concepción Inferior, Concepción Superior, Filisola, Paraje Solo y Acalapa.

En las Cuencas Terciarias del Sureste, no existen grandes plagamientos compresivos. Los plagamientos del frente noroccidental de la Sierra de Chiapas así como los de la región al sur de San Andrés Tuxtla, pueden ser considerados como pequeñas flexuras. Asimismo, los ejes estructurales marcados en la región de Sal Somera (Ver plano geológico), no indican un repliegue importante dentro de la cubierta Cenozoica.

Las estructuras principales dentro de Las Cuencas Terciarias del

Sureste y específicamente en la Cuenca Salina del Istmo, son fallas de crecimiento y estructuras dómicas o muros, producidas por intrusiones salinas.

F) POSIBILIDADES ECONOMICAS.

En opinión del autor, la región de Sal Somera reúne todas las características estratigráficas y estructurales para contener entrampamientos de hidrocarburos.

Tanto al occidente, en la Cuenca del Papaloapan, como al oriente en la región de Domos Salinos del Istmo, han existido campos productores en rocas terciarias, algunos de ellos considerados como de los más importantes del país.

En el subsuelo del área bajo consideración, se puede presumir la existencia de rocas generadoras, ya que tales rocas afloran tanto en la Sierra de Chiapas como en el Domo de Chinameca; además las rocas almacenadoras y las trampas estructurales deben estar íntimamente asociadas a la geometría de la masa salina. Las rocas sello estarían constituidas por los terrígenos finos del cenozoico así como por la sal misma.

En estas condiciones, es nuestra opinión que el presente trabajo puede ayudar a esclarecer las condiciones geológicas de esta región, y resultar de interés a Petroleos Mexicanos.

G) O B J E T I V O S.

El estudio geológico-geofísico del Area de Sal Somera, Edo. de Veracruz, persigue una finalidad principal : enfocar las estructuras salinas con un interés económico para Petroleos Mexicanos.

De acuerdo a lo anterior, se plantean los siguientes objetivos:

- i) Integrar la estratigrafía mesozoica y terciaria de la región, en el marco de las Cuencas Terciarias del Sureste.
- ii) Proponer un patrón estructural y tectónico tomando como base los datos de sismología de reflexión, así como de gravimetría.
- iii) Determinar el origen geológico de las estructuras salinas y relacionar las anomalías geofísicas con estructuras de interés económico.
- iv) Obtener conclusiones de caracter económico petrolero.
- v) Proponer una metodología de trabajo para posteriores estudios de detalle.

Dadas las características geológicas del área bajo consideración, la información indirecta y de subsuelo es de valor inapreciable, razón por la cual se tuvo que recurrir a los archivos de información de Petroleos Mexicanos y gracias al amable interés de las autoridades superiores de esta empresa, se pudo tener acceso a los datos necesarios para la realización del presente trabajo.

T A B L A E S T R A T I G R A F I C A

ERA	SISTEMA	PERIODO	EDAD	FORMACION
C E N O Z O I C O	CUAT.		Holoceno	ALUVION
			Pleistoceno	ACALAPA Central
			Plioceno	aquequesquite paraje solo Tilisoia
	Mioceno		CONCEPCION SUPERIOR	
			CONCEPCION INFERIOR	
			ENCANTO	
			DEPOSITO La Laja	
	Oligoceno		GRUPO MANCHITAL	
	Eoceno			
	Paleoceno			
M E S O Z O I C O	CRETACICO	SUPERIOR	MAESTR TCHITANO	MENDEZ
			CAMPANTANO	
			CANYONIANO	
			CONIACIANO	
			TURONIANO	
	MEDIO	CENOMANIANO	SIERRA MADRE ?	
		ALBIANO		
		APTIANO		
	INFERIOR	BARREMIANO	CHINAMECA	
		HUATERVIANO		
		VALANGINIANO		
		BERRIASTIANO		
		TITHONIANO		
	JURASICO	SUPERIOR	KIMMERIDGIANO	SALINA
			OXFORDIANO	
	MEDIO		TODOS SANTOS	
INFERIOR	SUPERIOR	COMPLEJO IGNEO - METAMORFICO		
	MEDIO			
P A L E O Z O I C O	PERMICO	INFERIOR	MACIZO DE CHIAPAS	
	CARB.			
	DEVONICO			
	SILURICO			
	ORDOVISICO			
CAMBRICO	BASAMENTO IG-M.			

CAPITULO II. ESTRATIGRAFIA.

El registro estratigráfico mesozoico y cenozoico de Sal Somera, comprende dos grandes ciclos sedimentarios, separados por una discordancia regional a nivel Cenomaniano, dentro de los cuales ocupan su respectivo lugar todas las rocas de la región :

a) Un ciclo transgresivo típico que incluye de la base a la cima: depósitos terrigenos gruesos continentales (Fm. Todos Santos); depósitos evaporíticos (Fm. Salina); depósitos terrigenos arenáceos y calcáreo terrigenos de ambientes profundos (Fm. Chinameca), y depósitos calcáreos marinos francos (Grupo Sierra Madre.

b) Cubriendo al anterior se encuentra un ciclo regresivo típico que incluye de la base a la cima: depósitos calcáreos marinos francos con gran influencia terrigena (Fm. Méndez), depósitos terrigenos finos y arenosos turbidíticos (Formaciones Nanchital a La Laja), depósitos terrigenos arenosos de transición (Fms. Concepción, etc.), y depósitos terrigenos gruesos a medios continentales (Aluvión).

A continuación se hace la descripción de las rocas que afloran en Sal Somera, o que se han determinado en subsuelo, en los sondeos exploratorios de Petroleos Mexicanos. No fué posible presentar una descripción tan detallada del Cretácico ni del Paleoceno-Eoceno, pues aún cuando estas rocas afloran en las inmediaciones de la Sierra de Chiapas, no lo hacen en el área de estudio y escasamente han sido alcanzadas en el pozo Solosuchil - 1 y Sal Somera - 1.

FORMACION TODOS SANTOS

a).- Definición

El nombre de Formación Todos Santos, fue introducido por Sapper en 1894 al describir una serie de conglomerados, areniscas y limolitas de coloración rojiza que afloran cerca de la Villa de Todos Santos, en el Alto de los Cuchumatanes en la República de Guatemala.

b).- Distribución

Aflora extensamente en el borde norte y noreste del Macizo de Chiapas. Asimismo aflora en la región de Chinameca, Ver., distante aproximadamente 90Km. al norte del frente de la Sierra, lo cual hace suponer que en el subsuelo de Sal Somera debe estar presente.

c).- Litología y Espesores

En la región de Chinameca, Ver., las exposiciones reducidas permiten observar que se trata de terrigenos gruesos mal estratificados, de coloración rojiza. En la Sierra de Chiapas, fuera del área bajo consideración, está constituida por una serie de terrigenos gruesos: conglomerados, areniscas y limolitas con algunas interestratificaciones de rocas ígneas extrusivas, principalmente de composición intermedia a máfica. Los conglomerados están formados por fragmentos sin clasificar de rocas ígneas mal redondeadas de 2 a 40 cm. de diámetro,

cementados en una matriz areno-limosa de color rojizo y burdamente estratificados. Las areniscas se presentan en capas medianas a masivas, con estratificación bien definida y en ocasiones cruzada.

Las limolitas son compactas, bien estratificadas, en capas medianas a masivas de color rojizo. Se han mencionado espesores de 1,030m. (Concit, 1981), 1,501m. (Rodriguez D., 1975), y 1,000m. (Camacho V., 1983).

d).- Relaciones Estratigráficas

En Chinameca, Ver., no esta expuesta su base y su cima es angularmente discordante bajo la Fm. Chinameca. En la Sierra de Chiapas se observa su contacto inferior discordante sobre el Paleozoico Igneo-Metamórfico.

e).- Edad

La total ausencia de fósiles bien preservados o identificables, retardó por muchos años la determinación de edad para esta unidad. Sin embargo, las rocas igneas que forman parte de ella, han sido datadas recientemente, como se muestra :

ROCA	LOCALIDAD	ESTUDIO	EDAD	SISTEMA	REFERENCIA
Tonalita			198+7	J. Inf.	Quezada 1977
Andesita	Pueblo Viejo		148+6	J. Sup.	" "
Andesita	Cintalapa		159+4	J. Med.	" "
Andesita	Rio Coatzacoalcos	Rb-Sr	197+3	J. Inf.	CONCIT.1983
Andesita	Rio Ciatzacoalcos	K-Ar	214+5	Trias.Sup.	" "
Andesita	Rio Chalchijapa	Rb-Sr	197+3	J. Inf.	" "

Además, García P. (1978), en base a palinomorfos ubica a los lechos rojos en el Bajociano-Bathoniano, Jurásico Medio.

Ortuño P. (1985), menciona que en el área al sur de Sal Somera, los derrames ígneos ocurren en la porción superior de la Formación Todos Santos, mientras que la porción inferior con un gran espesor (no medido) consiste de areniscas, conglomerados y limolitas. El lapso de tiempo durante el cual se depositó la porción inferior debió ser grande.

Por otra parte, la edad radiométrica de las rocas ígneas y/o metamórficas a las cuales sobreyace Todos Santos, varía entre el Pérmico y el Jurásico Medio con la mayoría de las determinaciones entre el Triásico Medio y el Jurásico Medio.

En base a lo anterior y considerando:

- i) Que la gran mayoría de los fragmentos en los conglomerados de Todos Santos son de rocas ígneas y/o metamórficas, datadas entre el Pérmico y el Jurásico Medio.
- ii) Que las granodioritas, granitos, gneisses y otras rocas ígneas y/o metamórficas del Macizo de Chiapas y del Batolito de la Mixtequita, de donde se originaron los fragmentos de Todos Santos, cristalizaron a gran profundidad en condiciones de temperatura y presión elevadas.

Se concluye que el depósito de la Formación Todos Santos, principió cuando menos a inicios del Triásico Tardío, alcanzó su climax en el Jurásico Temprano-Medio y se restringió a las zonas marginales del rift hacia los últimos tiempos del Jurásico Medio, llegando a persistir localmente durante el Jurásico Tardío.

f).- Correlación.

En la zona del Golfo de México se correlaciona con las Formaciones Cahuazas y Huizachal.

g).- Origen

Los sedimentos que dieron lugar a esta formación se depositaron en condiciones primordialmente subaéreas, derivados de la rápida erosión de rocas cristalinas paleozoicas o precámbricas. Su depósito fue en taludes, abanicos aluviales y a lo largo de planicies aluviales que se extendían conforme se desarrollaba el proceso de apertura del Golfo de México.

FORMACION SALINA

a).- Definición

Tschopp en 1924 relacionó e incluyó a los depósitos salinos de la región del Istmo de Tehuantepec, dentro de los lechos rojos de la Formación Todos Santos.

En el presente estudio se considera a los depósitos salinos como una unidad funcional independiente, denominándola Formación Salina de acuerdo con Imlay (1949). Según el desarrollo clásico de un rift, se puede establecer su asociación espacio-temporal con la depositación de los lechos rojos de la Formación Todos Santos.

La importancia económica funcional de esta unidad es innegable, ya que su movilidad ha originado grandes entrapamientos de hidrocarburos.

b).- Distribución

De acuerdo a la gran cantidad de trabajos exploratorios llevados a cabo dentro de la "Cuenca Salina del Istmo", se ha podido delimitar que actualmente la sal mesozoica ocurre en tres regiones: Sal Somera se refiere al área en la cual la cima de la sal "masivamente" se encuentra a menos de 500m. de la superficie; la región de Domos Salinos es donde la sal se ha intrusionado con esa forma o como muros y la región Subserrana estaría limitada a algunas porciones dentro de la Sierra de Chiapas, donde de acuerdo a sondeos exploratorios recientes, la sal se encuentra en el núcleo de estructuras en rocas calcáreas mesozoicas (Ver FIG. 2).

En el área estudiada no aflora la sal, tampoco lo hace en la región del Istmo debido al clima húmedo de lluvias abundantes que la disuelven; pero casi lo hace en el domo de Chinameca así como en Cerro Pelón, Ver., pues el "cap rock" asociado a las intrusiones diapíricas se ha reportado en Medias Aguas, Encantada, Juile, Texistepec, Jáltipan, Amesquite, El Encanto y San Pedro, cerca del Rio Playas. Además en numerosos sondeos exploratorios se ha reportado la presencia de sal.

c).- Litología y Espesores

La Formación Salina incluye predominantemente sal y anhídrita, con sales de potasio muy subordinadas y diseminadas.

Cuando está in situ, se presenta como una secuencia alternante de estratos anuales de anhídrita y capas laminares de arcilla salina. Al moverse, las masas salinas lo hacen

recristalizándose continuamente y en este proceso se separan de todas sus impurezas arcillosas, resultando en masas salinas puras en un alto porcentaje.

En los núcleos de barrenación se puede observar una textura sacaroide, variando de gruesa a fina, constituida por cristales de halita. Además es notable el bandeamiento arcilloso discontinuo y sinuoso que marca la arcilla separada y actualmente englobada en la sal.

En los pozos se han reportado intervalos arcillosos-salinos dentro del cuerpo principal de halita o anhidrita.

La porción central de las cuencas evaporíticas se reconoce, entre otras cosas, por la presencia de sales de potasio. En el área de Soledad, Ver. se han reportado tales sales (carnalita con 12% de K₂O) sin embargo, no se dispone de más datos que permitan saber que tan lejos de Soledad se extiende la presencia de sales de potasio, Van Tyn, 1924.

Originalmente el espesor de la Formación Salina debió ser de unos mil o dos mil metros; pero su extensión en área debió ser mucho mayor que la actual. Al movilizarse la masa salina ha dado lugar a cuerpos intrusivos que de acuerdo a los datos geofísicos, alcanzan los 6,500m. de espesor en el área de Sal Somera.

d).- Relaciones Estratigráficas.

Tanto en subsuelo como en superficie, se desconoce la naturaleza del contacto inferior de la Formación Salina. Los perfiles sísmicos no alcanzan a definir este contacto, que quizá se encuentra a más de 7 seg. Dado que con un soterramiento de unos 1 000 m, la masa salina se moviliza subhorizontalmente hacia

los puntos de concentración definidos por la sedimentación diferencial sobre ella y que posteriormente es sumamente sensible a los eventos tectónicos, se puede suponer que su base es estructuralmente discordante sobre Todos Santos.

Su contacto superior está marcado por la existencia del "cap rock", el cual no es un depósito primario o bien está definido por una discordancia estructural con rocas jurásicas inalteradas, en la región de Damos Salinos.

e).- Edad

Los depósitos salinos de las Cuencas Terciarias del sureste, fueron depositados durante el Jurásico Medio Tardío, según se deduce de los comentarios hechos en relación a la Formación Todos Santos, así como de la Tectónica Regional. Por posición estratigráfica la Formación Salina es post-Todos Santos y pre-Chinameca, aun cuando puede ser localmente penecontemporánea de los lechos rojos de Todos Santos.

f).- Correlación

Se puede correlacionar esta unidad con las capas arcillo salinas de Guerrero, con los depósitos salinos en capas rojas del Área de Aramberri, Doctor Arroyo, N.L., Miquihuana, Tamps., con las capas de yeso de los alrededores de Huizachal y Jaumave Tamps., con el yeso de Galeana N.L., y con los depósitos de yeso y anhidrita de Coahuila y Chihuahua.

g).- Origen

Al presentarse la invasión de las áreas bajas, coincidentes con las fosas, por mares someros, la evaporación del agua marina dió lugar a la precipitación de evaporitas. Las condiciones climáticas debieron ser cálidas y con lluvias escasas para permitir lo anterior en el área del protogolfo de México.

FORMACION CHINAMECA

a).- Definición

Burckhardt C. en 1923 identifica amonitas y otros moluscos en rocas calcáreas del Jurásico Superior en los cerros La Gravera y De Cal, en el área de Chinameca, Ver.. En 1930 este autor denomina formalmente a estas rocas como Caliza Chinameca y las asigna al Kimmeridgiano-Barremiano.

b).- Distribución

Las exposiciones de esta unidad son muy erráticas. Ha sido descrita en Chinameca y Cerro Pelón, Ver.

c).- Litología y Espesores

En el área de Chinameca, Ver. muestra una acentuada alteración, acompañada por el enriquecimiento del fierro no soluble y la lixiviación de carbonato de calcio. La roca presenta una coloración rojiza llamada "Almagre". De esta roca se origina el suelo rojo que en muchos lugares del Istmo cubre discordantemente a las calizas o que se deposita cerca de ellas.

En roca sana corresponde a una intercalación de capas

delgadas a gruesas de calizas finas con abundante pedernal en nódulos y bandas y calizas arcillosas y lutitas laminares. Ahí se observan abundantes fracturas selladas por asfalto.

En el área de Cerro Pelón, Ver., se presenta como una secuencia continua de calizas de color oscuro, en capas gruesas a masivas en la base y generalmente delgadas hacia la cima. La porción superior presenta bandas y nódulos de pedernal negro muy abundante. En el pedernal se presentan muchos foraminíferos. Muchos de los estratos de caliza son bastante bituminosos, especialmente los laminares de aspecto pizarroso. En estas capas se presentan restos y esqueletos enteros de peces.

Las calizas alternan con lutitas bituminosas en capas delgadas.

En Cerro Pelón esta unidad tiene 315m. de espesor, además se han reportado espesores de 500m. (Camacho V. 1983) y 400m. (Concit 1982).

d).- Relaciones Estratigráficas

La base de esta unidad en su localidad típica, es discordante estructuralmente sobre la sal o sobre Todos Santos y su cima es erosional. En Cerro Pelón sobreyace por falla a la Fm Todos Santos y subyace discordantemente a la Fm Méndez.

e).- Edad

En Cerro Pelón Burckhardt repota la siguiente macrofauna:

Aptychus laevis

Aulacomyella problemática

Oppelia cf. O. pugilis

Crioceras sp

Puzosia d.gr. liptoviensis

Lytoceras cf. L. phestas

Aspidoceras d.gr. unispinosi

Inoceramus sp

Steuropoceras cussmanni

Perisphinctes sp

Restos y esqueletos enteros de peces.

En Chinameca, Ver.:

Haploceras sp

Oppelia (Tramellicerias) sp. ind.

Perisphinctes mazapiliensis

P. d. gr. cyclodorsatus

P. aff. kobelti

Aspidoceras d.gr. bispinosum

Idoceras hospes

Gravesia sp

Aptychus laevis

A. d. gr. lamellosus

Inoceramus sp

Aulacomyaella vecina de A. problemática

Restos de peces y aún esqueletos enteros: Ganoides (Pholidophorus, etc.)

Astieria sp

Neocomites d.gr. neocomensis

Hoplites cfr paraplesius

Crioceras de talla pequeña

Anayloceras cfr xelhux

La macrofauna indica una edad Kimmeridgiano Barremiano.

f).- Correlación

Su porción inferior se correlaciona con la Formación Tepexic del área Acaxochitlán-Villa Juárez, Pue., la porción media con la Formación San Andrés del Noreste y centro de México y la porción superior se correlaciona con la Formación La Casita de Nuevo León y Tamaulipas.

g).- Origen

Los sedimentos que dieron origen a esta unidad se depositaron en condiciones marinas profundas. La influencia terrígena gruesa que se observa en Cerro Pelón y que está ausente en Chinameca, indica una fuente de suministro continental en el sur.

GRUPO SIERRA MADRE.

A) Definición.

En 1899, E. Böse utiliza los nombres de Caliza Maltrata y Caliza Escamela, para denominar a calizas con pedernal, con intercalaciones delgadas de lutitas; y calizas de color claro, en capas gruesas a masivas, con rudistas, respectivamente.

Tschopp en 1926, utiliza el nombre de Caliza Sierra Madre, al describir las rocas cretácicas de la Sierra de Chiapas, correlacionandolas con las de la región de Orizaba, Ver. y

conservando las divisiones Maltrata y Escamela.

En este trabajo se sigue la nomenclatura de Tischopp, denominando Formación Maltrata a las calizas de cuenca y Formación Escamela a las de plataforma del Cretácico.

B) Distribución.

No aflora en la región bajo consideración. Ha sido determinado en el pozo Solosuchil - 1, en facies de plataforma y en Cerro Pelón, en facies de cuenca.

C) Litología y Espesores.

Calizas Maltrata. Son de color gris oscuro, densas, raramente arenosas, estratificadas en capas delgadas con laminación interna. Contienen lentes y nódulos de pedernal. Están intercaladas con lutitas.

Calizas Escamela. Ocurren en capas de estratificación media a masiva, altamente fosilíferas, porosas localmente. Hacia la cima se presentan frecuentemente brechadas y/o cavernosas.

D) Relaciones Estratigráficas.

En localidades de la Sierra de Chiapas cubre concordantemente a Chinameca, y subyace discordantemente al Cretácico Superior.

E) Edad.

Contiene la microfauna siguiente :

Diciclina sp.

Nummoloculina sp.

Microcalamoides confusus

Calcispaherula sphaerica

Nummoloculina heimi

Su edad es Aptino - Turoniano, pudiendo abarcar la porción superior del Barremiano.

F) Correlación.

Se correlaciona en tiempo ampliamente con las Formaciones Cupido y Aurora, Tamaulipas y Abra, y en general con las rocas cretácicas de la Sierra Madre Oriental.

G) Origen.

La Fm. Maltrata corresponde a condiciones de borde de plataforma o cuenca. La Fm. Escamela es de plataforma.

FORMACION MENDEZ

a).- Definición

El término Formación Méndez fue introducido por Jeffreys en 1910, al nombrar una secuencia de lutitas calcáreas, margas y areniscas calcáreas, en estratos delgados a medianos, raramente gruesos, de coloración gris que intemperizan en tonos cafés, que afloran en el área de la Estación Méndez del ferrocarril Ciudad Valles-Tampico.

b).- Distribución

Aflora en las márgenes sur y sureste de la región salina hacia las inmediaciones de la Sierra de Chiapas y en Zongolica, Ver.. Además en el área de Chinameca y en Cerro Pelón, Ver..

En los pozos: Pedregal-1, Pedregal-2A, Ixhuatlán-3A, Soledad-101, Soledad-102, Tonalá-157, El Chapo-4, Bravo-12, Los Abanicos-1, Cerro Nanchital-6 y 12, Río Playas-2, Colonial 1 y 2, Grama-1 y Pedregal-11A, se ha reportado Cretácico Superior, equivalente en tiempo a la Fm. Méndez.

c).- Litología y Espesores

En Cerro Pelón, Ver., la Fm. Méndez está representada por lutitas arenosas y lutitas finas pegajosas cuando húmedas, de color gris verdoso, con una porción basal conglomerática y arenosa de aproximadamente 250m. de espesor.

La base está marcada por un conglomerado brechoso basal de espesor variable entre 0.2 y 30m. Los componentes del conglomerado son primordialmente fragmentos angulares a subangulares de calizas bituminosas jurásicas y de calizas coralinas y con rudistas del Cretácico. El diámetro de los fragmentos es siempre menor a 3cm. Además contiene fragmentos de rocas ígneas y de pedernal. El cemento es calcáreo y fosilífero. Vertical y lateralmente el conglomerado-brechoide; gradúa hacia calizas arenosas gruesas. El origen sedimentario de este cuerpo es claro y no tiene nada que ver con una brecha tectónica.

Cubriendo al conglomerado se presentan lutitas alternando con calizas en capas de 10 a 15cm. de espesor. Es usual encontrar

pedernal incluido en las lutitas.

Sobre éstas se presentan lutitas interestratificadas con areniscas arcósicas porosas de grano fino a grueso y aún conglomeráticas y areniscas calcáreas de color azul, todas ellas en capas de 0.2 a 10m. de espesor. Lateralmente se observa un engrosamiento de las areniscas hasta constituir verdaderos conglomerados en capas de 2 a 5m. de espesor. Los fragmentos del conglomerado son de pedernal y caliza y están embebidos en una matriz arcillosa de color verde. Los fragmentos de caliza más grandes son eterogéneos, constituidos de calizas cretácicas con rudistas, miliólidos y corales en un cemento calcáreo.

Los espesores que se han reportado son:

LOCALIDAD	ESPESOR
Cerro Pelón, Ver. - - - - -	800
Arroyo La Mica - - - - -	1,200
Sinclinal Las Cuevas - - - - -	500
Sur de Malpaso - - - - -	560
Arroyo Marín - - - - -	880
Pueblo Viejo - - - - -	740

d).- Relaciones Estratigráficas

Su contacto inferior es discordante (ausencia del Turoniano, Coniaciano y Santoniano) sobre Sierra Madre, claramente observable en el sur de Malpaso, Alto Usapanapa, Río Solosuchil y en los anticlinales Amates y Pueblo Viejo, Ver.. En Chinameca y Cerro Pelón sobrayace discordantemente a la Fm Chinameca. Su contacto superior es concordante bajo el grupo Nanchital al sur de Malpaso y discordante, mediante una brecha polimictica, en los

anticlinales Amates y Pueblo Viejo, en la Sierra de Chiapas.

e).- Edad

La abundante microfauna descrita en estas rocas es:

Globotruncana elevata

G.stuartiformis

G. area

G. laparenti

G.leopolde

G.rosetta

G.subcircumnodifer

G.linneana

G.bulloides

G.fornicata

G.calciformis

G.cf contusa

G.elevata

G.conica

G.gansseri

G.excolata

Palmia sp

Lenticulina sp

Heterohelix sp

Sulcoperculina sp

Orbitoides sp

Chabbina cardenasensis

Pseudorbitoides sp

Omphalocyclus sp

Orbitoides tisoti

Vaughanina cubensis

Globotruncanella havanensis

Sulcoperculina diazi

Torreina torrei

Planoglobulina acervulinoides

Su edad es Campaniano Maestrichtiano.

f).- Correlación

Se correlaciona ampliamente con las rocas calcáreo-terrigenas del Cretácico Superior que afloran en toda la región del Golfo de México.

g).- Origen

El cambio en las condiciones tectónicas, variando de una etapa oceánica de apertura al principio de una orogenia, controlaron la litología de esta formación. La rápida erosión de las rocas antiguamente marinas, propició el depósito subacuático salvaje de sedimentos terrigenos gruesos hacia la Sierra de Chiapas. Hacia el norte, rumbo a Sal Somera el depósito marino ha de corresponder a sedimentación más fina y profunda.

GRUPO NANCHITAL.

A) Definición.

Abadilla A. en 1922 estudia la porción superior del río Uzpanapa e introduce los nombres formacionales Serie Río Nanchital y

Conglomerado Monte Nanchital; Tschopp en 1926 propone los nombres : Nanchital Inferior (lutitas, 400 m); Conglomerado Uzpanapa (conglomerados, 200 m); Nanchital Superior (lutitas, 650 m) y Conglomerado Nanchital (conglomerados, 600 m).

En esta tesis se incluye en el Grupo Nanchital a la Fm. Soyalo del Paleoceno, descrita por Chirinos en el arroyo El Nopal, conservando la nomenclatura introducida por Tschopp.

B) Distribución.

No aflora en el área de Sal Somera, pero fué determinada en el pozo del mismo nombre.

C) Litología y Espesores.

En la Sierra de Chiapas ha sido descrita con mucho detalle (Tschopp, 1931, etc.); pero la litología terrígena gruesa de esa zona no corresponde a la del subsuelo de Sal Somera, donde se carece de los datos suficientes para describirla detalladamente. Baste decir que esta constituida por terrígenos finos, limolitas y lutitas. El espesor bajo el área en consideración tampoco ha sido determinado.

D) Relaciones Estratigráficas.

El Grupo Nanchital sobreyace concordantemente a la Fm. Méndez en la Sierra de Chiapas y subyace concordantemente a la Fm La Laja. Estas relaciones se deben mantener en el subsuelo de Sal Somera.

E) Edad.

Nutall ubica a las Fms. Nanchital Inferior, Conglomerado Uzpanapa y Nanchital Superior en el Eoceno; y al conglomerado Nanchital en el Oligoceno. La FM. Soyalo es Paleoceno.

F) Correlación.

Se correlaciona en tiempo con las Fms. Velasco, Chicontepec, Candelaria y Chinal, entre otras.

G) Origen.

Son depositos marinos, variando de someros a profundos, desde la Sierra de Chiapas hacia el norte.

FORMACION LA LAJA

a).- Definición

Burnett en 1922 denominó lutitas La Laja a la potente serie de lutitas que afloran en el Arroyo La Laja, en la región de El Depósito, Ver.. Subyace a la Fm. Depósito.

b).- Distribución

La formación La Laja está presente en las regiones de Concepción, San Cristobal, Soconusco, Chinameca, Juile, Potrero de Tatagapa, Cuitlaxoyo, San Juan Evangelista y Achotal, Veracruz. FIG. 4.

c).- Litología y Espesores

La Fm. La Laja al sur de El Depósito, es una secuencia de lutitas arenosas de color gris azulado y areniscas de grano fino

en capas delgadas. Las lutitas abarcan el 80% del total de esta unidad. Presenta foraminíferos abundantes y muy escasos megafósiles.

En el Alto Río Uzpanapa, hacia la Sierra de Chiapas, la Formación La Laja presenta una litología gruesa. La porción inferior transicionalmente gradúa sobre el Conglomerado Nanchital, en la forma de areniscas y lutitas arenosas alternando con conglomerados en los cuales el radio de fragmentos calcáreos a fragmentos de otras rocas, varía entre 4:3 y 2:3 y aún se llegan a presentar cuerpos conglomeráticos con muy escasos fragmentos calcáreos. Hay También calizas arenosas y areniscas calcáreas no fosilíferas.

A lo largo del Río Nanchital, desde la Gallina hacia el oriente, una alternancia de lutitas arenosas y numerosas capas de caliza, representan los 300m. inferiores de La Laja. Las lutitas contienen abundantes gasterópodos de estuario, así como todo tipo de fauna costera.

Hacia el oeste de la línea La Gallina-Encajonado, la facies arenosa y calcárea se atenúa más y más, graduando en la típica facies de lutitas azules.

De tal manera que, tanto vertical como lateralmente se presenta un cambio de clásicos finos a gruesos del NW-W hacia el SE-E, cambio que va acompañado de la transición de facies marinas hacia facies de estuario.

En el área del Depósito tienen 600m. de espesor, mientras que en el Alto Uzpanapa alcanza 1,000m.

d).- Relaciones Estratigráficas

Hacia la Sierra de Chiapas, sobreyace transicionalmente al Grupo Nanchital y su cima se marca por la aparición de tobas y la rápida alternancia de areniscas bajo la Fm. Depósito.

e).- Edad

En las lutitas de La Laja, Nuttall menciona:

Haplophragmoides aff. subglosum

H. coronata

Cyclammia pauciloculata

Pleurestomella brevis

P. alternans

Anomalina grosserugosa

Amnodiscus incertus

Ellipsonodosaria subnodosa

Gaudryina bradyi

Bulimina elegans

Siphonodosaria abyssorum (actualmente Nodosaria abyssorum)

Truncatulina pseudoungeriana

Globigerina bulloides

Globigerina bulloides var triloba (No. 2)

Cyclammia cancellata (No. 1)

Anomalina dorri

Actualmente se consideran típicos de estas rocas:

Cibicides cushmani

C. tuxpamensis

Nodosaria schlichti

Rectuvigerina basispinata

R.aff.R.striata

Cibicides granosus

Cibicides aff.C.formosus

C.aknerianus

Gyroidina broeckiana

Su edad es Oligoceno.

f).- Correlación

Se correlaciona con la formación Misopa de Tabasco y Campeche y con las formaciones Horcones, Alazán, Meson, Palma Real y Coatzintla del norte de Veracruz.

g).- Origen

En la región del Depósito, estos sedimentos marcan la profundización de los mares, donde se depositaron tranquilamente "oozes" de globigerinas y lutitas. Hacia el sur se pasa transicionalmente a condiciones costeras y de estuario.

FORMACION DEPOSITO

a).- Definición

Weaver en 1922, utiliza los nombres de Arenisca Depósito y Ceniza Depósito para describir a la porción superior de areniscas, lutitas y tobas de las rocas oligocénicas (sic) del área de Filisola, Ver.

Tschopp en 1924 incluye a estas unidades dentro de la Serie La Laja, indicando que la Arenisca Depósito, aún cuando de

especial importancia desde el punto de vista económico es considerada como una fase clástica gruesa de la porción superior de la Serie La Laja, la cual localmente puede desarrollarse en cuerpos arenosos remarcables.

b).- Distribución

Existen reportes de esta unidad en las regiones de Concepción, San Cristobal, Soconusco, Chinameca, Juile, Potrero de Tatagapa, Cuitlaxoyo, San Juan Evangelista y Achotal, en general en las porciones sur y central de Veracruz.

c).- Litología y Espesores

En el área de Depósito, las Areniscas Depósito son areniscas calcáreas y lutitas arenosas. Las arenas son productoras habiendo sido famosa la que alcanza 15m. de espesor.

Las Tobas Depósito consisten principalmente de lutitas de coloración gris y café con alternancias rápidas de areniscas en capas delgadas y con acumulaciones menores de tobas en la porción inferior, mientras que hacia la cima, los últimos 150 a 200m. el contenido de tobas aumenta un poco. Las tobas inferiores muestran cristales de biotita y a 2m. de profundidad tienen una porosidad del 8%.

En el área del Alto Uzpanapa, Ver., hacia la Sierra de Chiapas, las Tobas Depósito consisten de una serie alternante de lutitas y tobas. El espesor de las tobas varía entre láminas delgadas y estratos de más de 4m. Las tobas son siempre de grano fino, usualmente micacíferas (biotita) de color blanco a gris

claro, porosas a duras. Cuando son duras se fragmentan en trozos rectangulares. Algunas de las lutitas contienen material tobáceo en fina difusión. El contenido total de tobas puede ser estimado entre 5 y 7% dentro de la serie.

El espesor en el área del Depósito es de 350m. y en el Alto Uzpanapa de +- 400m. En general se ha mencionado que el espesor disminuye dramáticamente en dirección oriente-poniente.

d).- Relaciones Estratigráficas

Su contacto inferior es transicional y concordante sobre la Formación La Laja. Su contacto superior se marca de manera arbitraria en la cima de la última toba superior que subyace concordantemente a la Formación Encanto.

e).- Edad

Nuttall menciona dentro de estas rocas:

Planulina gigas

Heterolepa granosa

Truncatulina akneriana (No. 8)

Rothalia broeckiana (No.4) (actualmente Gyroidinoides broeckiana)

Gyroidinoides laevis (ant. Rot. 11)

Anomalina cicatricosa

Actualmente se ubica a estos depósitos en la porción inferior del Mioceno.

f).- Correlación

Se correlaciona con las tobas de la región caxaquena en el río

Coatzacoalcos, con la Formación Macuspana de Tabasco y Chiapas y con la Formación Escolin del norte de Veracruz.

g).- Origen

Indica una fase de depositación más o menos profunda y con aporte de clásticos gruesos (turbiditas), contemporánea a la actividad de tipo volcánico. Los centros de eyección volcánica debieron estar ubicados entre Jaltepec y Chiapas occidental, ya que no se conocen reportes de tobas para este tiempo en Playa Vicente, Chiapas Central ni en Tabasco.

FORMACION ENCANTO

a).- Definición

Burnett en 1923, denomina Formación Encanto a la serie de areniscas y lutitas arenosas que en la región de Concepción, Ver., sobreyace a la Toba de Depósito y subyacen a la Lutita Concepción. La porción superior más arenosa fue denominada por este autor Arenisca Yucatlecatl.

b).- Distribución

Se ha reportado en las áreas de Manchital-Cascajal, Campo Tecuanapa, San Cristobal, Capocán, Campo Soledad, Campo Santa Ana, Ixhuatlán, Soconusco, Jáltipan, Sayula, Mancuernillas, Cerro Pelón, Ver. FIG. 4. Ocurren en las porciones sur y central de Veracruz.

c).- Litología y Espesores

En la región Concepción-San Cristobal, es una alternancia rápida de capas delgadas de lutitas arenosas y areniscas arcillosas. Las lutitas son generalmente duras, de color gris a gris azulado; las areniscas son siempre de grano fino, arcillosas, con coloración café. En los planos de estratificación se presentan limolitas. En la porción inferior predomina la lutita aún cuando en porcentajes variables.

La arenisca Yucatécatl está constituida en un 80% por areniscas de grano grueso a medio con una porosidad que varía entre el 5 y 35%, de color café, en ocasiones micacifera, en capas que alcanzan hasta 20m. de espesor y en un 20% por lutitas arenosas de color gris azulado con unos cuantos estratos de caliza margosa. Son raros los macrofósiles.

En las lutitas hay concreciones arenosas. Son muchas las manifestaciones de hidrocarburos en estas rocas y campos muy importantes en el pasado, fueron desarrollados teniendo a ésta como formación productora.

En las Colinas Mancuernillas, Ver., hacia la Sierra de Chiapas, los 220m. inferiores consisten de una alternancia de lutitas pegajosas, lutitas arcillosas, unas cuantas tobas con lutitas arcillosas tobáceas y areniscas de grano fino a medio que forman concreciones duras o capas. La estratificación es muy variable de laminar y delgada hasta masiva. Las capas de arenisca son siempre menores a 2m. de espesor.

Sobre esta secuencia siguen areniscas en capas gruesas a masivas que intemperizan en tonos rojizos. Son porosas, generalmente de grano grueso, conglomeráticas. Los fragmentos mayores tienen un diámetro de 0.8 a 1cm. y contienen fósiles

intemperizados. Esta porción superior es el equivalente de la Arenisca Yucatécatl.

El espesor de esta formación es muy variable, su porción inferior tiene:

LOCALIDAD	ESPESOR
Pozo Concepción 23	+ - 130 m
Región Encanto	+ - 380 m
Encanto #1	+ - 300 m
Sur del Depósito	+ - 260 m
San Cristobal #102	+ - 170 m
Area Soledad	+ - 200 m
Colinas Mancuernillas	+ - 220 m

La Arenisca Yucatécatl varia en espesor entre:

LOCALIDAD	ESPESOR
Filisola	+ - 115-130 m
Santa Ana	+ - 130 m
Capoacán-Soledad	+ - 130-150 m
Area Cerro Pelón	+ - 50 m

Hacia la porción occidental del área Concepción-San Cristobal, tiene lugar un cambio de facies pequeño pero bien marcado, hacia terrigenos más finos, mientras que hacia el Área de Mancuernillas ocurre lo contrario, es decir, se cambia a una

facies terrigena gruesa.

d).- Relaciones Estratigráficas

Su relación es siempre discordante estructuralmente sobre el "cap rock" o sobre la sal en las áreas de Concepción y otros lugares del Istmo. Sobreyace concordantemente a la Formación La Laja.

El contacto entre la porción inferior y la Arenisca Yucatécatl, es en la mayor parte del Istmo transicional y concordante.

El contacto superior es concordante bajo las lutitas de Concepción Inferior.

e).- Edad

Las rocas de esta unidad contienen de acuerdo con Nuttall.

Uvigerina auberiana (No. 4) (Hoy Siphouvigerina-auberiana)

Uvigerina canariensis var. encantoensis (No. 5)

Uvigerina crassistriata

Ceratobulimina contraria (buliminella No. 1)

Orbiculina adunca (No. 1)

Vernevilina bradyi (No. 2)

Chilostomella mexicana (No. 2)

Nodosaria comatula (Glandulina No. 2)

Cibicides trinitatoensis

Su edad es Mioceno Temprano.

f).- Correlación

Se correlaciona con las porciones inferiores de las Formaciones Amate y Tuxpan de Tabasco-Campeche y del norte de Veracruz

respectivamente.

g).- Origen

Marca una etapa de sedimentación en mares someros, tranquilos.

FORMACION CONCEPCION INFERIOR

a).- Definición

Burnett (1923) denomina Serie Concepción a las lutitas de color gris azulado, plásticas, con foraminíferos que afloran en el Campo Concepción en el Río Uzpanapa, Ver. La ubica en el Mioceno. A la porción superior con contenido de areniscas la denomina Serie San Antonio.

Posteriormente Tschopp señala la discordancia angular notable entre la porción superior de esta unidad y las formaciones más antiguas, reconociendo la regionalidad de tal discordancia. Menciona que en San Juan Evangelista y Cuitlaxoyo, Ver., la Concepción Superior no está plegada y es discordante angularmente sobre las rocas más antiguas. La división de la Serie Concepción se hace en base a esta discordancia, denominando Concepción Inferior a la porción plegada y Concepción Superior a la porción no plegada, más joven.

b).- Distribución

Es amplia dentro y fuera de la región de Sal Somera. Su litología y contenido fósil es persistente en toda el área del

Itsmo, en las porciones central y sur del estado de Veracruz.
(Ver plano geológico).

c).- Litología y Espesores

Son lutitas finas, muy plásticas, fosilíferas, de color gris-azul, con nódulos calcáreos. La porción inferior (100m.) esta caracterizada por la presencia de tobas. También se observan areniscas delgadas que indican una transición a la Formación Encanto hacia la base.

Presenta intercalaciones de caliza de equinodermos o de isocardia, que en la porción inferior alcanzan gran espesor. Algunas coquinas de ostras. Espesor de aproximadamente 350m. Es muy fosilífera.

d).- Relaciones Estratigráficas

En Cuitlaxoyo, Ver., sobreyace discordantemente a la Fm. Encanto, aunque en general su contacto inferior es concordante y transicional sobre esta formación.

Su contacto superior es discordante angularmente bajo Concepción Superior.

e).- Edad

Pecten cactaceus es índice, además contiene la microfauna:

Marginulinopsis marginulinoides

Marginulina subhirsuta (No. 1)

Textularia mississippiensis (No. 3)

Epistomina elegans (Truncatulina No. 4)

Nodosaria hispida (No. 3) (actualmente Amphicarina hirsuta)

Textularia nitensis

Pseudoclavulina americana

Se ubica en el Mioceno Tardío.

La presencia de fragmentos de moluscos y equinodermos la distingue de la Fm. La Laja.

f).- Correlación

Se correlaciona con las porciones medias de las formaciones Amate y Tuxpan, que ocurren en las regiones de Tabasco-Campeche y sur de Veracruz respectivamente.

g).- Origen

Marina franca, de condiciones estables y someras, -200m. de profundidad que en el área de la depresión de Coatzacoalcos se hace más profunda.

FORMACION CONCEPCION SUPERIOR

a).- Definición

Burnett (1923) denomina Serie San Antonio, a las lutitas con contenido de arena y algunas areniscas constituyen la porción superior de la Serie Concepción.

Posteriormente Tschopp (1924-1927?) denomina Concepción Superior a las rocas de edad Miocénica que discordantemente

cubren a las lutitas y calizas de la porción inferior la Serie Concepción en el área de Cuitlaxoyo.

b).- Distribución

Se ha reportado en Playa Vicente, Tetella, Actopan, Ver., el carácter litológico y faunístico que es constante en todo el Istmo, especialmente en las porciones central y sur del Estado de Veracruz.

c).- Litología y Espesores

Hegwein (1928) la describe como areniscas azules bien estratificadas, con capas de caliza. Presenta concreciones y bancos de ostras esporádicas. Su espesor es de + 200m. en general. 500m. en Playa Vicente.

d).- Relaciones Estratigráficas

Su contacto inferior está marcado por una discordancia angular con la Concepción Inferior. Su contacto superior es localmente discordante bajo Filisola, principalmente en las inmediaciones de la Sierra de Chiapas; pero en la mayor parte del Istmo está marcado transicional y concordantemente bajo Filisola. En Playa Vicente cubre al Cretácico.

e).- Edad

Estas rocas contienen además de fragmentos de moluscos y equinodermos, la siguiente microfauna, Nuttall :

Brizalina (antes Bolivina)

Cristellaria vaughani (No. 5) (actualmente Astacolus vaughani)

Bulinmina striata

Cristellaria rotulata (No. 1)

Amphistegina lessoni (No. 1)

Sigmoilopsis schlumbergeri

Nuttall menciona como criterio importante para reconocer esta formación, la ausencia de los microfósiles:

Marginulina subhirsuta (No. 1)

Textularia mississippiensis (No. 3)

Actualmente se ubica en el Mioceno Tardío.

f).- Correlación

Se correlaciona con las porciones superiores de las formaciones Amate y Tuxpan de las regiones de Tabasco-Campeche y norte de Veracruz respectivamente.

g).- Origen

Son depósitos costeros de un mar francamente regresivo.

FORMACION FILISOLA

a).- Definición

Burnett (1923) denomina Arenisca Filisola a las areniscas masivas de color café, de grano fino a medio, cuyo espesor no excede de 500m. y que cubren a la Concepción Superior en la

región de Filisola, Veracruz.

b).- Distribución

Su distribución es amplia, tanto en el centro como en el sur de Veracruz.

c).- Litología y Espesores

En el área de Filisola varía entre 50-300m. En la base hay una zona de transición con capas de lutitas y arenisca. Son principalmente areniscas suaves y friables, no cementadas, que hacia la cima muestran menos contenido de arcilla y entonces están pobremente estratificadas; de grano medio a fino, de color café a "ante" y con estratificación cruzada. Escasas intercalaciones de areniscas micáceas de grano fino, color azul. Los conglomerados nunca desarrollan horizontes persistentes. Muestra guijas de asfalto en la porción inferior, así como también un enriquecimiento de fósiles.

d).- Relaciones Estratigráficas

Filisola y Concepción Superior forman una secuencia conformable en la mayor parte del Istmo. En las lomas del área de Filisola, el Conglomerado que ocurre a 250-300m. encima de Concepción es la cima.

e).- Edad

Adkins en 1923 la ubica en el Plioceno en base a una colección de megafósiles, actualmente depositada en el Museo de Washington de la cual no se encontró mayor referencia.

f).- Correlación

Se correlaciona con la Formación Encajonado de Tabasco y Campeche.

g).- Origen

Representa una facies costera y cercana a la costa de un mar regresivo hacia el norte.

FORMACION PARAJE SOLO

a).- Definición

Tschopp (1924) utiliza el nombre de Serie Paraje Solo al describir las areniscas y arcillas que principian con horizontes de conglomerados cubriendo a la Serie Filisola. La fauna de aguas salobres, así como capas ligníticas enriquecidas especialmente hacia la porción superior constituyen las características principales de la serie.

b).- Distribución

Aflora en las colinas Filisola, Paraje Solo, Moloacán, Cuitlaxoyo, Hierba Santa y Concepción, Ver. FIG 4.

c).- Litología y Espesores

De arriba hacia abajo se puede describir como: areniscas conglomeráticas de grano grueso a fino, arcillosas, carbonosas, con capas de toba de grano fino de 2m. de espesor y tres

horizontes fosilíferos (+- 400m.): arcillas color café u oscuras, arenosas, laminadas y muy carbonosas en partes (+- 150); areniscas de grano grueso a medio, arcillosas y micáceas algunas veces petrolíferas con muy pequeñas intercalaciones de arcilla-lutita (+- 150m.).

Las areniscas inferiores son muy parecidas a Filisola; pero la ausencia de fósiles no deja lugar a confusiones.

d).- Relaciones Estratigráficas

Sobreyace concordantemente en contacto discontinuo a Filisola y su cima es erosional en el área del Sal Somera.

e).- Edad

Los pelecípodos:

Pecten santarosaurus

Pecten sp.

Cerithium sp.

Maura sp.

Modiola sp.

Mytilus sp.

Laevicardium serratum

La ubican en el Plioceno.

f).- Correlación

Se correlaciona con las Formaciones Encajonado y Zargazal de Tabasco y Campeche, en sus porciones superior e inferior respectivamente.

g).- Origen

Es marina somera regresiva. Depositada en lagunas o en pequeñas entrantes de mar, como los últimos restos de un mar en regresión hacia el norte. La asociación Maura-Mytilus-Modiola-Cerithium, indica un ambiente deltaico con pantanos de intermareas y pantanos interiores.

El río Coatzacoalcos drenaba durante este tiempo el área via la Laguna Mescalapa-Concepción hacia la región de Paraje Solo. (Cuenca Paraje Solo).

FORMACION ACALAPA

a).- Definición

Tschopp (1924) establece la Serie Paraje Solo en el área del mismo nombre. También menciona las formaciones Grava y Arena del Pleistoceno y Conglomerados Acalapa del Pleistoceno.

b).- Distribución

Ocurre en las partes altas de las colinas, 78 a 105 m. s. n. m., en el área de San Andrés Tuxtla. Subyace a derrames igneos en Nanchital.

c).- Litología y Espesores

Conglomerado igneo con fragmentos de diorita, etc. En Nanchital incluyen *Mastra* sp y fragmentos de moluscos embebidos.

d).- Relaciones Estratigráficas

Cubre, sin estar plegada, discordantemente a Paraje Solo. Su

cima demuestra el desarrollo de un suelo arenoso de color rojizo.

e).- Edad

Pleistoceno por estructura.

f).- Correlación

Se correlaciona con depósitos volcánicos del área de San Andrés.

g).- Origen

Es un depósito igneo sedimentario, originado en San Andrés Tuxtla y depositado cerca de la playa del mar pleistocénico.

CAPITULO III. ESTRUCTURA.

A) SISMOLOGIA.

Son varios los trabajos de sismología que se han efectuado en la región de Sal Somera, Ver., por o para Petroleos Mexicanos.

De el gran número de líneas sísmicas existentes, se seleccionaron aquellas que son de mejor calidad y que al mismo tiempo cortan o estan cerca de estructuras salinas de interés.

Son 11 las líneas que se reeinterpretaron y corresponden a las siguientes areas :

A R E A	# L I N E A
EL JUILE - ACHOTAL	11 , 25 , 101 , 108
SUCHILAPAN	103
SAL SOMERA-AMEZQUITE	13 - T
UZPANAPA	87 , 93 , 106 , 110
ATEPONTA	7

La FIG. 5 muestra la distribución de los perfiles sísmicos mencionados.

Se procuró que las líneas formaran una retícula; sin embargo dentro de la región salina la respuesta sísmica es muy deficiente, de tal manera que aún cuando existen muchas líneas, son muy pocas las que muestran reflectores.

Ninguno de los perfiles consultados esta migrado.

A continuación se mencionan las características estructurales que se lograron definir en cada uno de los perfiles sísmicos

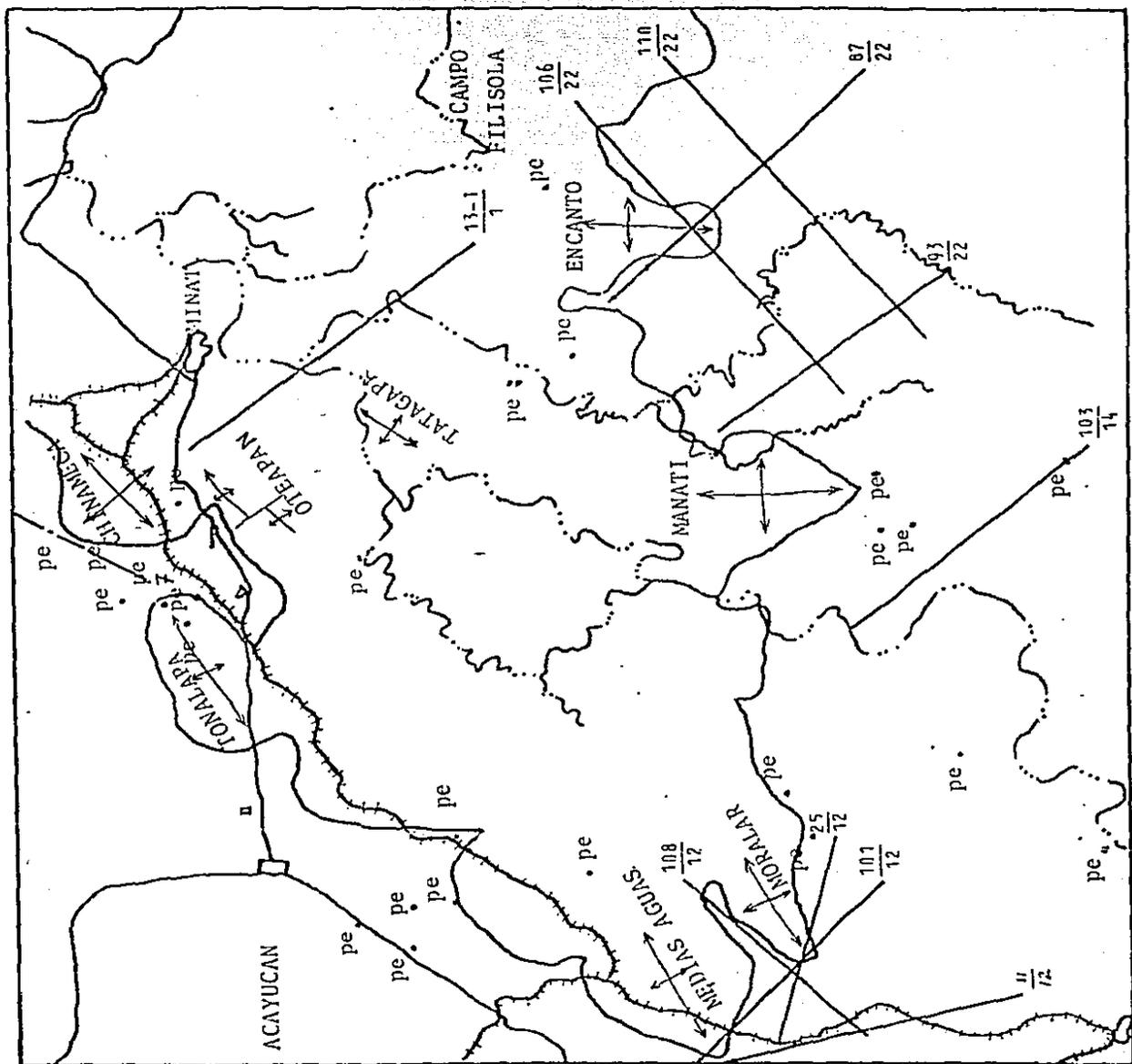


FIG. 5. PLANO DE LOCALIZACION DE LINEAS SISMICAS. pe = POZO EXPLORATORIO.

interpretados.

AREA EL JUILE - ACHOTAL.

LINEA 11.

Es de rumbo NNW - SSE y se ubica hacia el occidente de la zona salina, sin tocarla, FIG. 6 . Entre los PT-1 y PT-343 se observa claramente una estructura sinclinal. El espesor entre los reflectores coloreados es muy variable : mínimo en los extremos y máximo en la porción axial. Entre los PT-343 y PT-445 se ubica la estructura de Achotal. En superficie corresponde a un domo; pero en el perfil sísmico corresponde a una zona caótica, que no permite una interpretación adecuada.

La porción NW de esta línea, desde el PT-445 al PT-590 muestra claramente los reflectores, formando un anticlinal suave.

La importancia de esta línea radica en dos factores :

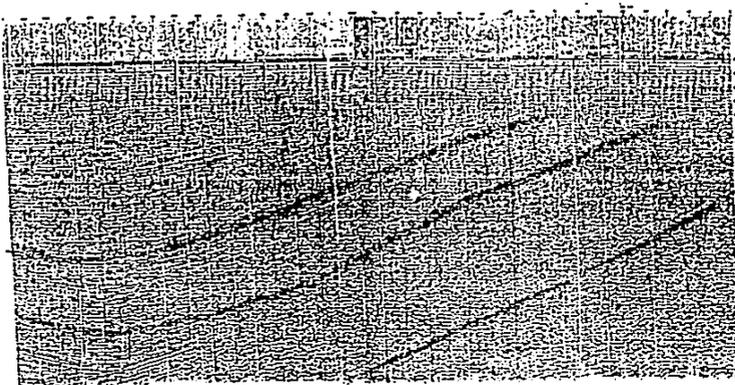
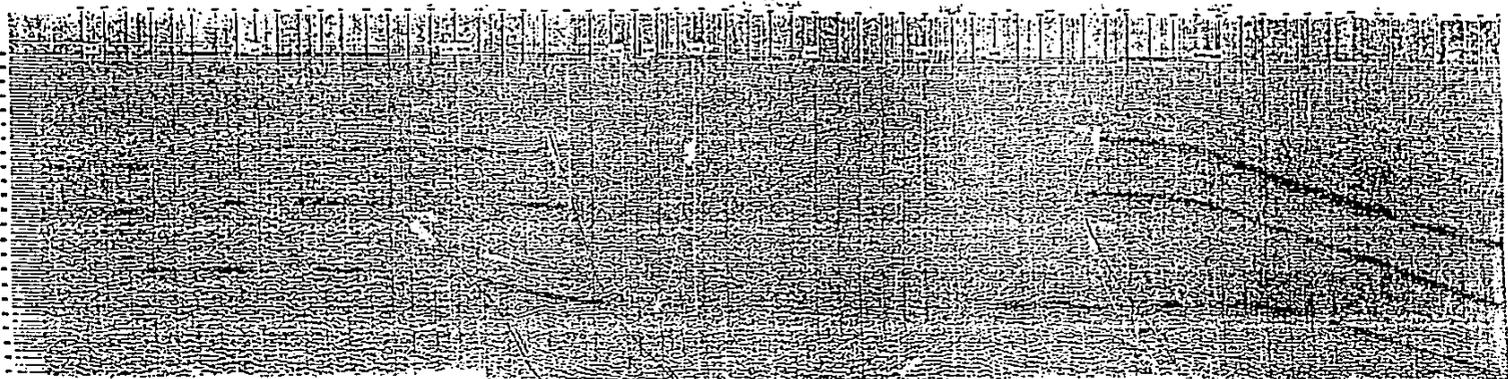
- i) Muestra que la región inmediatamente al poniente de Sal Somera esta deformada de manera muy suave.
- ii) Indica que la estructura de Achotal no muestra las características asociadas a las intrusiones salinas, observables claramente en otras estructuras del área. Sin embargo, en los reflectores más someros sí se presentan aunque mal definidos, efectos producidos por la estructura.

LINEA 25.

Tiene un rumbo WNW - ESE y corta el extremo SW de la estructura de Moralar, FIG. 7.

Del PT-1 al PT-57 los reflectores se observan casi horizontales, excepto en las cercanías del diapíro salino, donde

ACHOTAL



— (L-11) —

STATION	TIME	AMPLITUDE	PHASE
1	00:00:00	0.5	P
2	00:00:05	1.2	S
3	00:00:10	0.8	P
4	00:00:15	1.5	S
5	00:00:20	1.0	P
6	00:00:25	1.8	S
7	00:00:30	1.2	P
8	00:00:35	2.0	S
9	00:00:40	1.5	P
10	00:00:45	2.2	S

FIG. 6. PERFIL SISMICO # 11. AREA EL JUILE ACHOTAL.

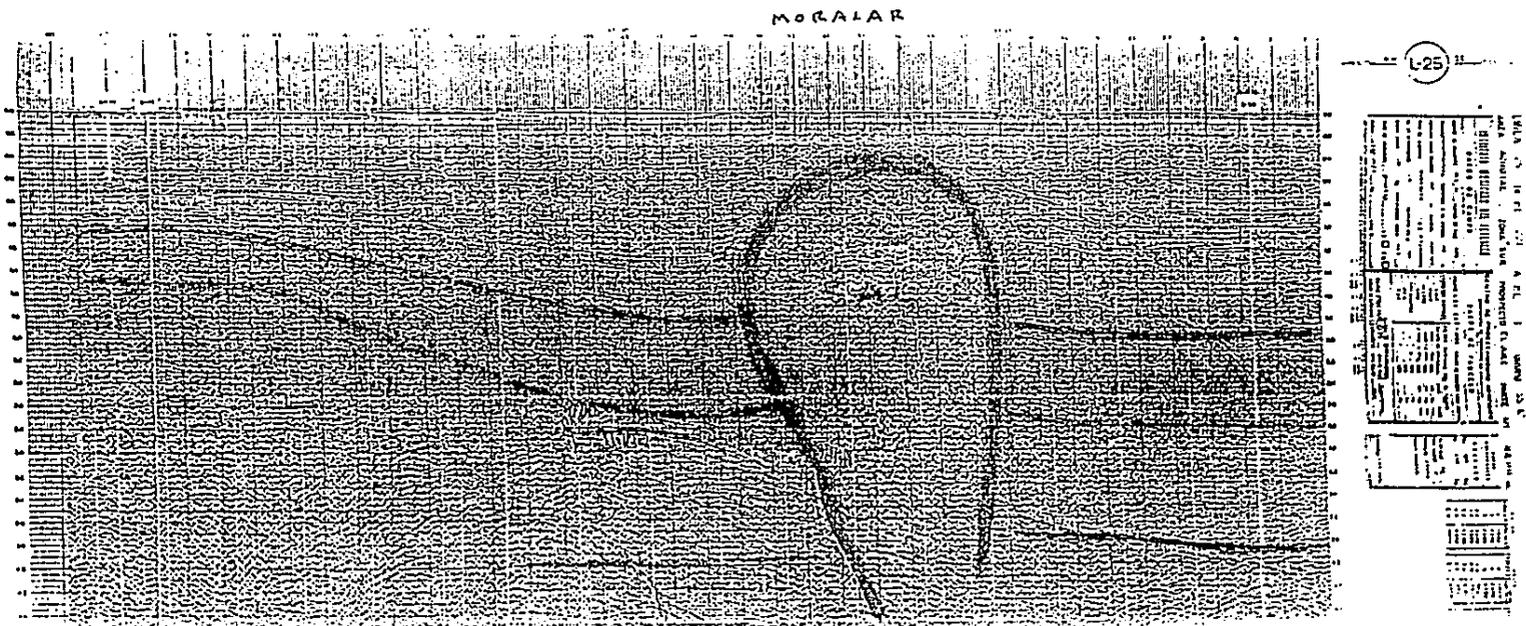


FIG. 7. PERFIL SISMICO # 25. AREA EL JUILE - ACHOTAL.

se fleccionan hacia arriba.

Entre los PT-57 y PT-99 se localizó la estructura de MORALAR, FIG. 5.

En la porción NW de la línea, los reflectores hasta 3 seg. muestran cambios de espesor muy notables; máximo cerca del diapíro y mínimo alejándose de él. A partir de los 3 seg. el cambio de espesor aparentemente es a la inversa, es decir, grande lejos del diapíro y escaso cerca de él.

Las características importantes que hay que resaltar en este perfil son :

- i) En los reflectores hasta 3 seg. se presenta la influencia del movimiento vertical de la sal, definiéndose claramente sinclinales periféricos secundarios.
- ii) A partir de los reflectores a 3 seg., especialmente en la porción NW de la estructura de MORALAR, se definen con incertidumbre, características geométricas de un sinclinal periférico primario.
- iii) Dadas las características de i) y ii), la estructura de MORALAR es indudablemente un diapíro salino.

LINEA 101

Es de dirección NW - SE y cruza los extremos SW de las estructuras de MORALAR y MEDIAS AGUAS, FIG. 8.

La estructura de MORALAR se observa entre los PT-105 y PT-132 y la de MEDIAS AGUAS entre los PT-230 y PT-265.

Los reflectores entre estos diapíros muestran características típicas y sumamente importantes :

- i) A profundidad, a partir de los 3 seg., se observan rasgos

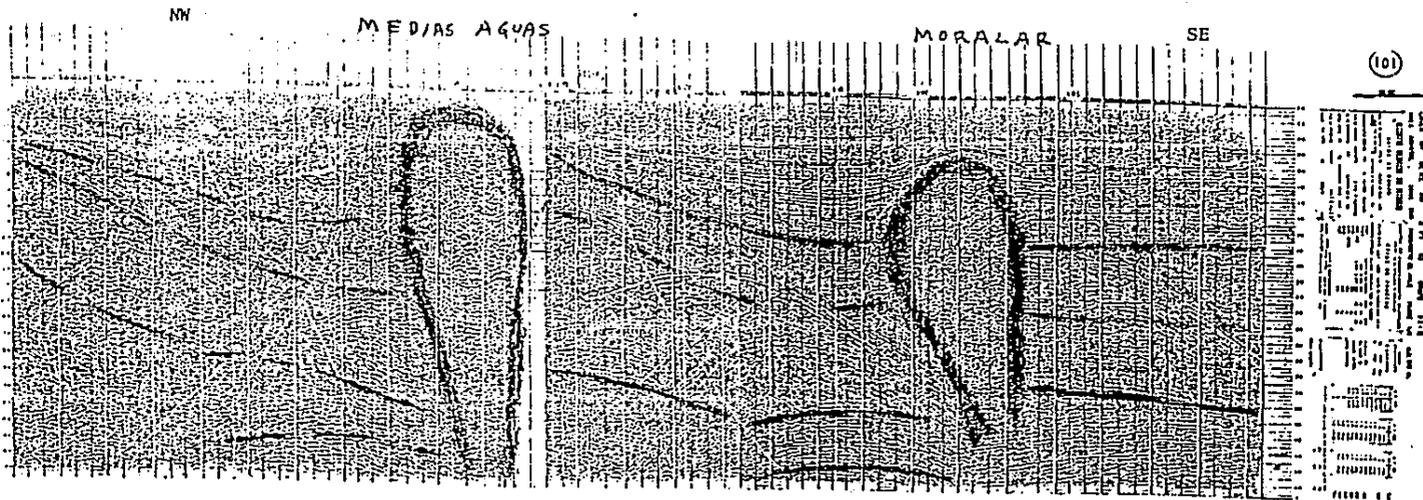


FIG. 8. PERFIL SISMICO # 101. AREA EL JUILE - ACHOTAL.

correspondientes a sinclinales primarios y estructuras en tortuga asociadas.

- ii) A menos de 3 seg. se observan claramente los sinclinales periféricos secundarios.

LINEA 108.

Es de rumbo NE - SW y corta el flanco SE del diapíro de MEDIAS AGUAS, FIG. 9.

Esta línea, por ser semiparalela al eje de las estructuras de MORALAR y MEDIAS AGUAS y por ubicarse entre ellas, presenta los reflectores de manera muy confusa. Gran cantidad de reflexiones fuera de plano y de difracciones terminan de complicar esta línea. Sin embargo hay que resaltar :

- i) La estructura en tortuga que se observa a partir de los 3 seg. entre los PT-199 y PT-351.
- ii) El sinclinal periférico secundario claramente observable hasta los 3 seg. entre los PT- 131 y PT-185.
- iii) El buzamiento suave y uniforme, sin cambio de espesor entre los reflectores, en la porción SW de la línea, alejándose de Sal Somera.

En el Capítulo de Interpretación se hace referencia a la importancia económica de algunos rasgos presentes en este área.

AREA SUCHILAPAN

LINEA 103

Tiene rumbo NW - SE y corre desde las inmediaciones de la Sierra de Chiapas hasta cerca del límite sur de Sal Somera, sin tocar la zona salina, FIG. 10.

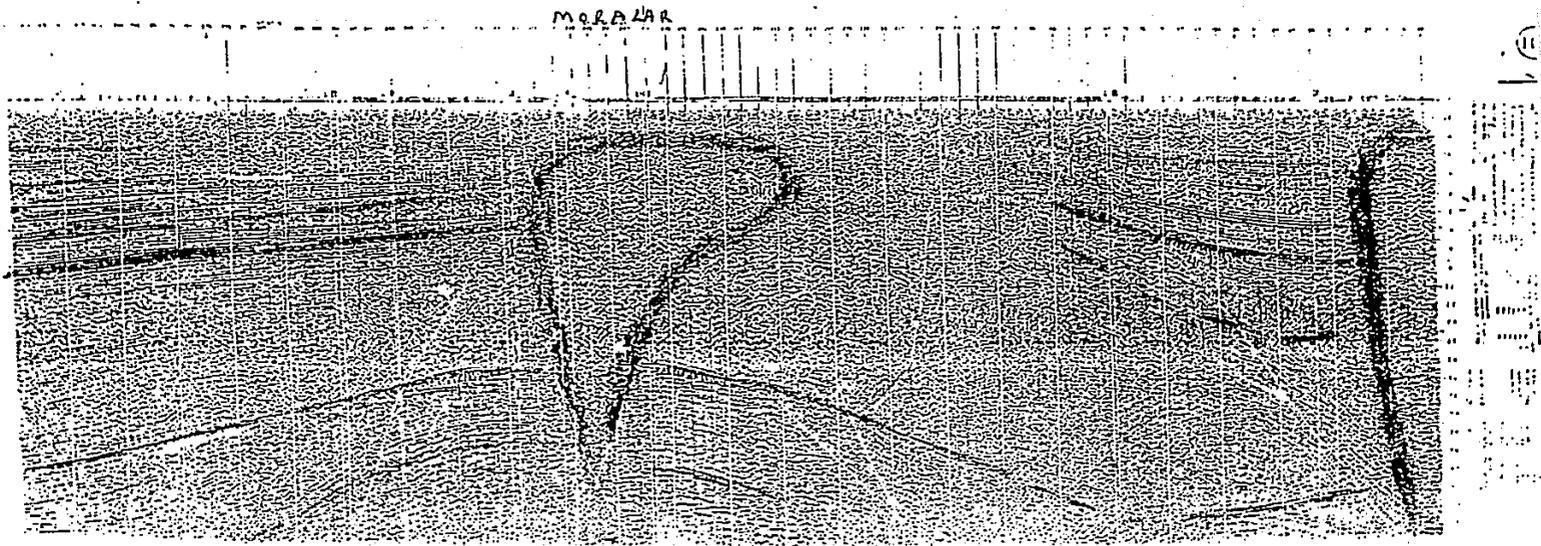


FIG. 9. PERFIL SISMICO # 108. AREA EL JUILE - ACHOTAL.

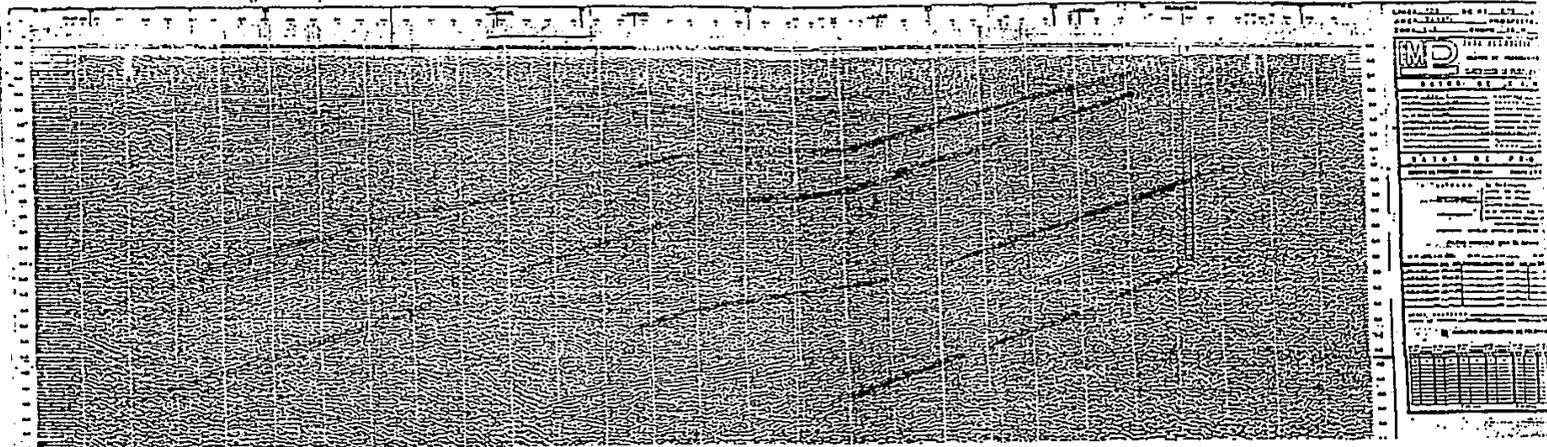


FIG. 10. PERFIL SISMICO # 103. AREA SUCHILAPAN.

La importancia de esta línea es que muestra la estructura general al sur de Sal Somera :

- i) Los reflectores buzan uniformemente hacia el NW.
- ii) El espesor entre reflectores también aumenta considerablemente en dirección NW.
- iii) Se pueden marcar reflejos a más de 5 seg., lo cual indica el potente espesor de sedimentos, inmediatamente al N de la Sierra de Chiapas.

AREA SAL SOMERA AMEZQUITE.

LINEA 13-T.

Tiene un rumbo NW - SE y es la única que se ubica totalmente dentro de la zona salina, FIG. 11.

La calidad de este perfil no es muy buena.

Se logró interpretar en él la cima de la masa salina, así como porciones cortas de reflectores más o menos definidos.

AREA UZPANAPA

LINEA 87.

Es de rumbo NW - SE. Entre los PT-157 y PT-259 se presenta la intrusión salina de ENCANTO. En sus bordes, hasta los reflectores a 2 seg., se observan claramente los sinclinales secundarios. A profundidad los reflejos se ven oscurecidos por difracciones y reflexiones fuera de plano. FIG. 12.

LINEA 93.

Tiene una dirección NW - SE y su extremo NW toca la porción sur de la región salina. FIG. 13.

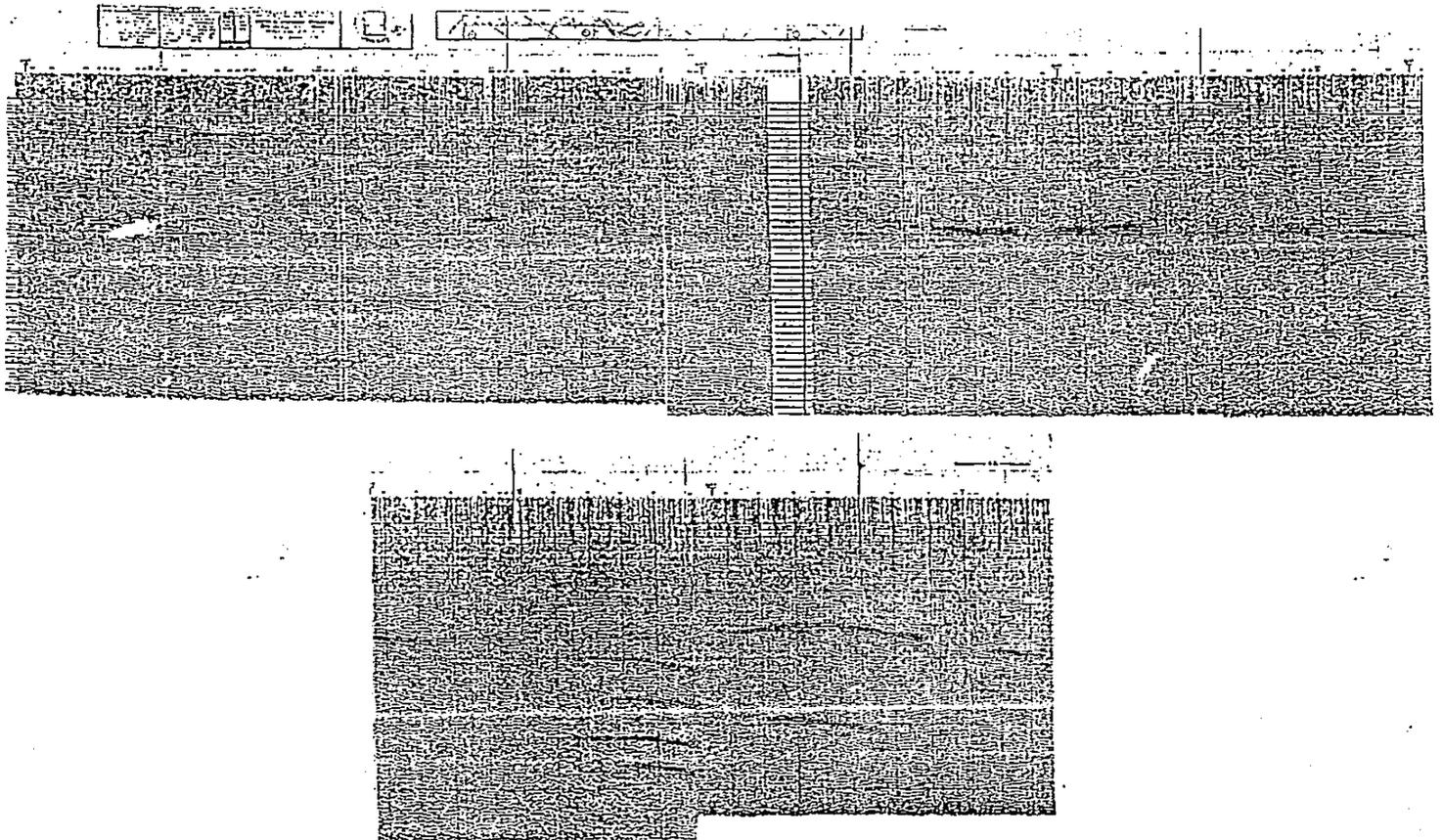


FIG. 11. PERFIL SISMICO # 13 - T. AREA SAL SOMERA - SUCHILAPAN.

En esta línea se observa claramente que en la zona entre la Sierra de Chiapas y Sal Somera las capas buzan hacia el NW uniformemente, pasando de espesores mínimos en las inmediaciones de la Sierra, a espesores muy potentes hacia Sal Somera.

A profundidad, a partir de los 2 seg., se han marcado 3 fallas normales con caída al SE : PT-175, PT-235 y PT-301.

En esta línea se observan reflectores hasta 5 seg.

Del PT-373 al PT-390 se ha marcado el borde de una intrusión salina, que presumiblemente se extiende hacia el NW.

LINEA 106

Es de rumbo SW - NE y corta la estructura de ENCANTO, FIG. 14.

En su extremo NE penetra en la región salina, pero sin alcanzar a definir algún rasgo estructural con claridad.

Entre los PT-554 y PT-691 se ha marcado el intrusivo salino de ENCANTO, que en su borde NE muestra de manera confusa un sinclinal periférico secundario.

LINEA 110.

Es de rumbo SW - NE y alcanza a tocar la porción sur de Sal Somera, aunque se ubica casi totalmente fuera de la región salina, y por esta razón los reflectores se ven con mejor claridad que en las demás líneas de esta área. FIG. 15.

De el PT-347 al PT-391 se delimita claramente el borde de una intrusión salina, que ha afectado a las capas adyacentes, fleccionandolas hacia arriba, pero sin formar sinclinales periféricos claros.

En el resto de la línea se observan los reflectores formando un

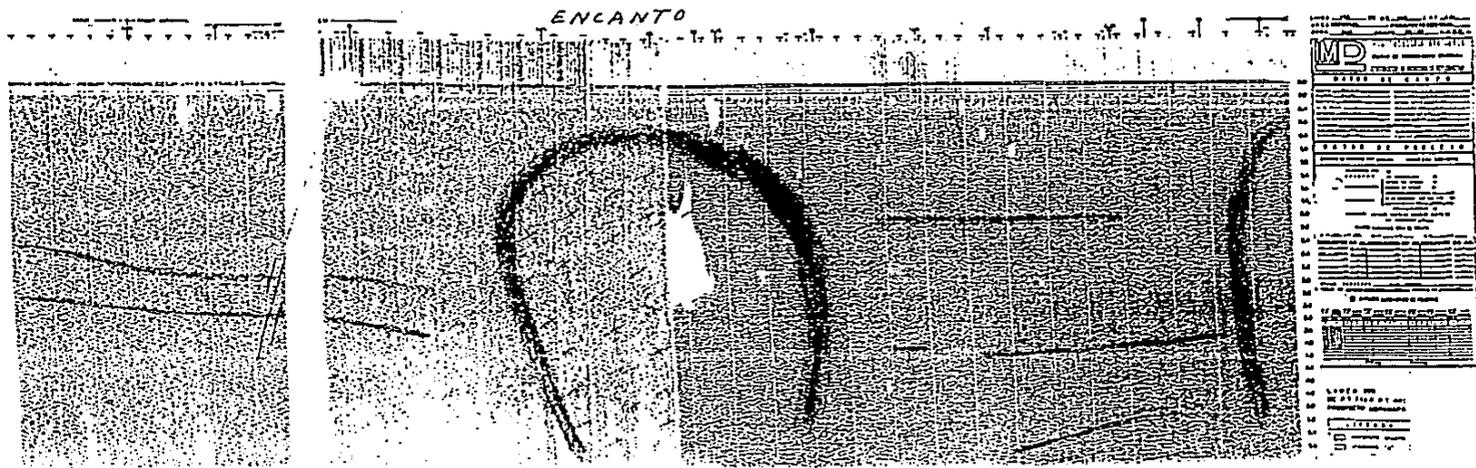


FIG. 14. PERFIL SISMICO # 106. AREA UZPANAPA.

1. NOME DO PROJETO:
 2. DATA:
 3. LOCAL:
 4. OBJETIVO:
 5. TIPO DE ESTUDO:
 6. ESCALA:
 7. AUTORES:
 8. REVISOR:
 9. APROVADO:
 10. DATA DE APROVAÇÃO:
 11. NOME DO CLIENTE:
 12. ENDEREÇO DO CLIENTE:
 13. CIDADE:
 14. ESTADO:
 15. PAÍS:
 16. NOME DO GEÓLOGO:
 17. NOME DO GEÓLOGO RESPONSÁVEL:
 18. NOME DO GEÓLOGO EXECUTANTE:
 19. NOME DO GEÓLOGO COLABORADOR:
 20. NOME DO GEÓLOGO AUXILIAR:
 21. NOME DO GEÓLOGO TÉCNICO:
 22. NOME DO GEÓLOGO ESTAGIÁRIO:
 23. NOME DO GEÓLOGO AUXILIAR:
 24. NOME DO GEÓLOGO TÉCNICO:
 25. NOME DO GEÓLOGO ESTAGIÁRIO:

LIMEA: 110
 AREA: 11111, 11
 PADM: 11111, 11
 *

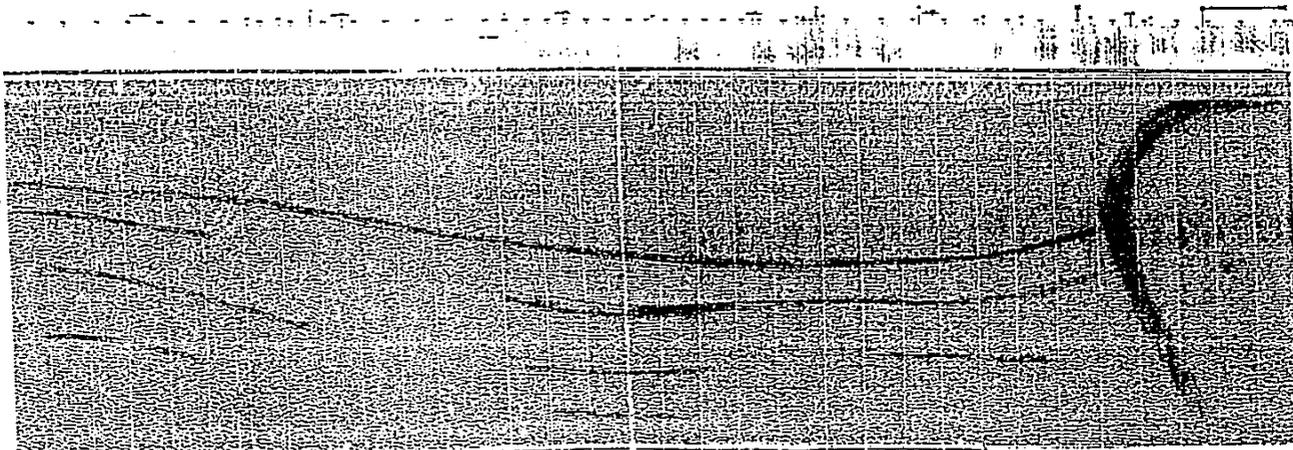


FIG. 15. PERFIL SISMICO #110. AREA UZ PANAPA.

sinclinal muy amplio, y suavemente se acuñan hacia el SW.

AREA ATEPONTA.

LINEA 7.

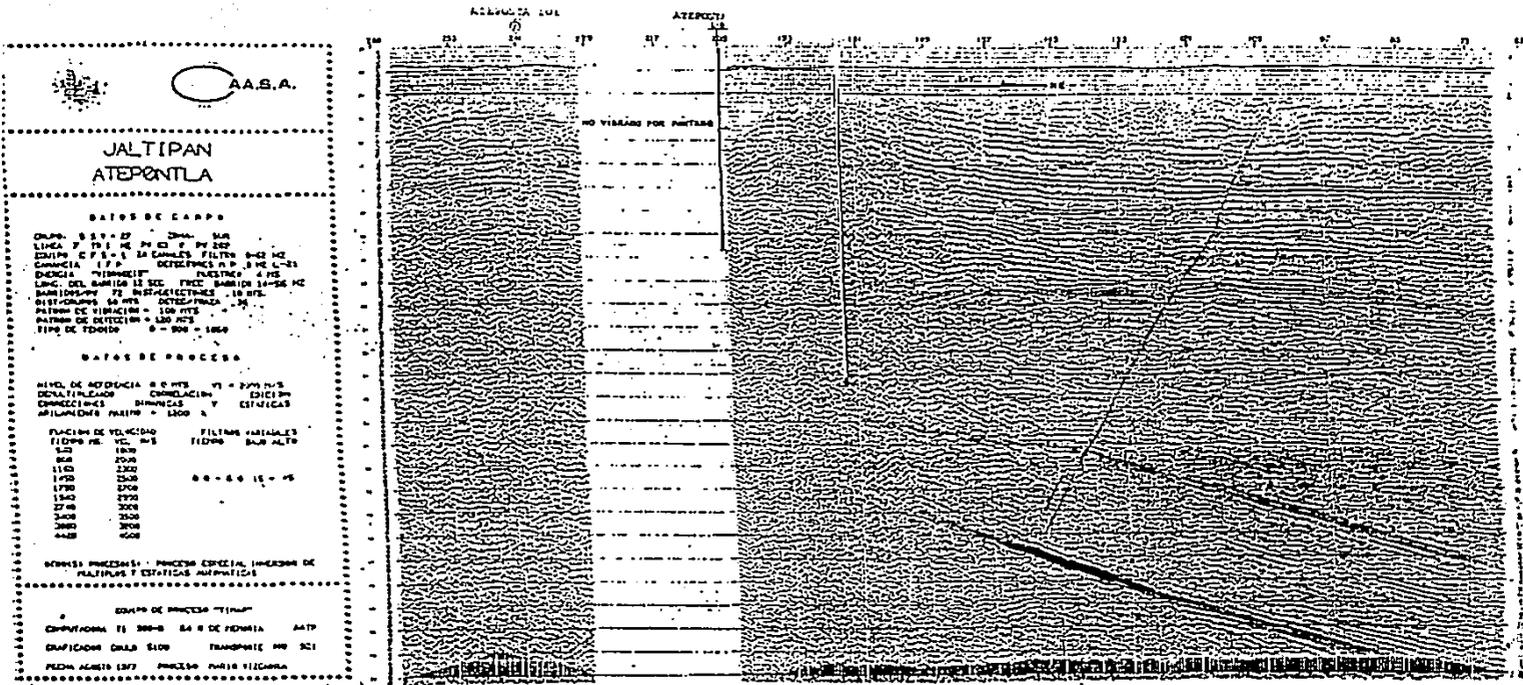
Es de rumbo NW - SE y se ubica totalmente fuera de Sal Somera, al norte, FIG. 16.

La importancia de esta línea estriba en que muestra la estructura al norte de la región salina. Como en los casos anteriores, no se observan plegamientos fuertes ni fallas inversas en esta sección. Las capas buzcan suavemente hacia el NE en los reflejos a menos de 2 seg. y muestran un buzamiento a profundidad más fuerte.

Hay que resaltar que los reflectores que se observan a una profundidad de 2.5 seg. en el pozo Ateponta - 1, se profundizan rápidamente a más de 5 seg. en dirección NE.

En base a las características estructurales observadas en las 11 líneas, es importante resaltar lo siguiente :

- i) En las inmediaciones de Sal Somera las capas no están afectadas por tectonismo. En todas las líneas se observan formando estructuras amplias, abiertas, que posiblemente sean de origen primario.
- ii) Las zonas que se han interpretado como intrusivos salinos, muestran un patrón de reflejos cáuticos. Esto es debido a la uniformidad de los cuerpos salinos.
- III) Todos los diapiros marcados, están asociados a estructuras periféricas. Los sinclinales secundarios, más someros, son



claramente visibles.

Esto puede utilizarse como criterio en esta área, para saber si una zona de reflejos caóticos en un perfil sísmico, corresponde a un diapíro salino o se debe a una falla u otra causa estructural.

- iv) Los sinclinales primarios se presentan a mayor profundidad y su interpretación requiere de líneas de mejor calidad, de ser posible migradas. La importancia de estas estructuras es que constituyen excelentes trampas para hidrocarburos, estructuras en tortuga, y además sirven para conocer si el movimiento inicial vertical de la sal se debió a causas puramente halocinéticas o fué por tectonismo.

B) GRAVIMETRIA.

B1) DATOS FUENTE.

Son varios los trabajos de gravimetría terrestre que se han efectuado en porciones relativamente amplias de la región de Sal Somera, Veracruz.

De las recopilaciones de configuración de la Anomalia de Bouguer a que se tuvo acceso, se seleccionaron dos:

Una a escala 1 : 200 000 que cubre totalmente la región bajo consideración.

Otra a escala 1 : 50 000 que incluye las Hojas Catemaco, Acayúcan, Minatitlán y Pichucalco.

En la recopilación 1 : 200 000 la porción NE, que incluye a las poblaciones de Coatzacoalcos y Minatitlán, Ver., la configuración de Bouguer está hecha a un nivel de referencia distinto al utilizado en el resto del área, y las curvas configuradas no coinciden con las que se tienen en toda la región. Por esta razón la información que se graficó en esta área, al utilizar los planos 1 : 200 000 es imaginaria y aparece plana. Sin embargo los planos 1 : 50 000 cubren con bastante detalle esta zona.

En los planos esc. 1 : 50 000 además de la configuración de la anomalia de Bouguer con intervalo entre curvas de 2 U. G., se muestra la ubicación en el terreno de los datos originales. Esto permite observar que la densidad de los caminamientos corresponde aproximadamente a una cuadrícula con líneas a cada 5 km., con lecturas a cada 500 m sobre cada línea.

Esta densidad de datos permite localizar con certeza anomalías

gravimétricas cuya longitud sea de cuando menos 0.5 ciclos/intervalo de datos. Es decir que todas aquellas anomalías con una longitud de 10 km. o mayores, están incluidas en la configuración de Bouguer y pueden hacerse notables por medio de un filtro adecuado.

Lo anterior no implica que una anomalía con una longitud menor a 10 km. no pueda ser definida en esta zona, únicamente se está señalando que tales anomalías tienen una probabilidad de ser detectadas, menor al 100%.

Segun Martin, 1980, el diámetro promedio de los diapíros de la costa del Golfo de México es de 11 km.. En la región de Sal Somera el "domo de Chinameca" y la estructura de Medias Aguas tienen diámetros de 12 y +-8 km. respectivamente.

De tal manera se consideró que los datos fuente del presente estudio resultan adecuados para determinar estructuras diapíricas en la región de Sal Somera, Ver..

B2) CAPTURA DE DATOS.

A partir del conocimiento geológico, explicado ampliamente en los subcapítulos correspondientes, y del análisis de los planos de anomalía de Bouguer en esc. 1 : 50 000 se seleccionaron las áreas de Chinameca y Medias Aguas, Ver., para efectuar un análisis gravimétrico detallado. Se delimitaron zonas de 30.5 x 46.0 km. y de 10.5 x 11.5 km. respectivamente, haciendo en ellas una cuadrícula equiespaciada de 500 m, para procesarlas en una P. C.. Con esto fueron alimentados 5612 datos de gravedad de Bouguer para formar una matriz de 61 renglones y 92 columnas en el área

de Chinameca y 483 datos de gravedad de Bouguer para formar una matriz de 21 renglones y 23 columnas en el área de Medias Aguas. La captura de datos se efectuó utilizando el programa "CAPTUR.BAS" anexo.

En este proceso se tuvo en cuenta que había que alimentar una zona mayor que la de interés, pues los bordes serían eliminados posteriormente con el filtrado, ya que todos los operadores consideran al menos un radio de promediación de 1 unidad de malla. También se consideró conveniente analizar tan detalladamente como fuera posible, el comportamiento de la gravedad en toda el área de Sal Somera.

Debido a que esta cubre una superficie aproximada de 80 x 83 km. y a que el plano esc. 1 : 200 000 no es tan detallado como se hubiera querido, el procesamiento general de los datos se efectuó de manera diferente :

El plano de anomalía de Bouguer esc. 1 : 200 000 fué alimentado a la computadora HP-9000 del Instituto de Geofísica, de la UNAM, utilizando el digitalizador adaptado a ella. Las coordenadas X Y son determinadas automáticamente conforme se recorren las curvas configuradas en el plano. Así se obtuvo un archivo de datos X Y al que posteriormente se anexaron los respectivos valores de gravedad. El archivo representó 1954 datos (X,Y,Z) distribuidos de manera aleatoria, que para poder ser analizados han de redistribuirse en una malla regularmente espaciada. Esto se logra haciendo la interpolación de los datos.

Al tratar de interpolar en una P. C. para obtener una matriz de 80 x 83 entradas, correspondiente a una malla de 1 x 1 km., los

abre un archivo llamado "TEST.lis" donde guarda una matriz de n renglones y m columnas en la forma i j =

```
open "TEST.lis" for output as #1
n=5 m=5
dim a(n,m)
for i=1 to n
for j=1 to m
input a(i,j)
next j
next i
for i=1 to n
for j=1 to m
print #1;"i;j;a(i,j)"
next j
next i
print #1;"fin de corrida"
close
```

programas disponibles en P. C. tardaban tanto tiempo que no resultó práctico hacerlo así. Tampoco se logró obtener una matriz de 40 x 40, correspondiente a un espaciamento de 2 x 2 km..

Finalmente se recurrió a la HP-9000 y se obtubieron dos matrices una de 64 x 64 entradas, correspondiente a un espaciamento de 1250 x 1297 m aprox., y otra de 100 x 100 equivalente a una red de 830 x 800 m en el terreno.

El diagrama siguiente indica la captura de datos mencionada :

AREA MEDIAS AGUAS

 Dibujo de una malla
 de 1 x 1 cm. en el
 plano esc. 1:50 000
 de anom. de Bouguer

483 datos de gravedad

 programa "CAPTUR.BAS"
 en P. C.

 archivo "medags.lis"
 correspondiente a una
 matriz i j z de
 21 x 23 entradas

AREA CHINAMECA

 Dibujo de una malla
 de 1 x 1 cm. en el
 plano esc. 1:50 000
 de anom. de Bouguer

 5612 datos de grave-
 dad

 programa "CAPTUR.BAS"
 en P. C.

 Archivo "chinbou.lis"
 correspondiente a
 una matriz i j z de
 61 x 92 entradas

TOTAL SAL SOMERA

 Digitalizacion del
 plano de anom. de
 anom. de Bouguer
 esc. 1 : 200 000
 sobre las curvas a
 cada 50 u. g.

 Archivo "ssxy.red"
 de 1954 datos X Y
 distribuidos alea-
 toriamente.

 programa "VJ" en
 HP-9000

 archivo "sals.dat"
 de 1954 X Y Z
 distr. aleatoria

 programa "INTER" en
 HP-9000

 archivo "ss64.red"
 correspondiente a
 una matriz de 64x64
 z's equiespaciadas.

 y
 archivo "ss100.red"
 correspondiente a
 una matriz 100x100
 z's equiespaciadas.

B3) ANALISIS GRAVIMETRICO DEL AREA DE MEDIAS AGUAS.

Se seleccionó un área de 10.5 x 11.5 km. en la porción SW del prospecto Sal Somera por las siguientes razones :

- i) Se tiene conocimiento de la existencia de afloramientos del "cap-rock".
- ii) Existen pozos de desarrollo de la Cia. Azufrera Panamericana inmediatos.
- iii) El drenaje se muestra radial centripeto, indicando el posible colapso de una cúpula salina.
- iv) Se cuenta con tres líneas sismológicas en la periferia de de la zona drenada centripetamente.
- v) Existen los pozos exploratorios Medias Aguas - 1 y - 2, que aunque no muy profundos, cortaron "cap-rock" y sal desde pocos metros bajo mesa rotaria.
- vi) El plano de anomalía de Bouguer esc. 1 : 50 000 muestra deflecciones interesantes y tiene el suficiente detalle como para ser analizado.

Se construyó una matriz con datos a cada 500 m, representando a la anomalía de Bouguer.

Como primer paso en el análisis, se graficó esta matriz utilizando una P. C. y siguiendo la secuencia que se muestra :

Matriz i j z de 21 x 23

datos de gravedad

Programa " LEEMAY.BAS"

Matriz (x,y,z) de 21 x 23

Programa " CELDA2.bas "

Configuración de la anom-
alía de Bouguer con curvas
a un intervalo dado.

Programa " ISO2.BAS "

Configuración en iso-
métrico de la anomalía
de Bouguer vista desde
la esquina del plano
pedida y a un ángulo
de observación dado.

Las gráficas obtenidas se compararon con la configuración utilizada como datos fuente y se obtuvo una correspondencia bastante satisfactoria. (FIGS. 17 y 18).

Debido a la importancia de ubicar geográficamente todos los rasgos de las gráficas, hay que aclarar lo siguiente :

- i) La elección del espaciamiento de 500 m en la malla se tomó para poder conservar todo el detalle posible.
- ii) Las gráficas obtenidas en la P. C. muestran un área reducida en 4 renglones y 4 columnas.
- iii) La matriz i j z de 21 x 23, denota el primer renglón como el superior y el enésimo como el inferior; mientras que la primer columna es la de la izquierda y la última es la de la

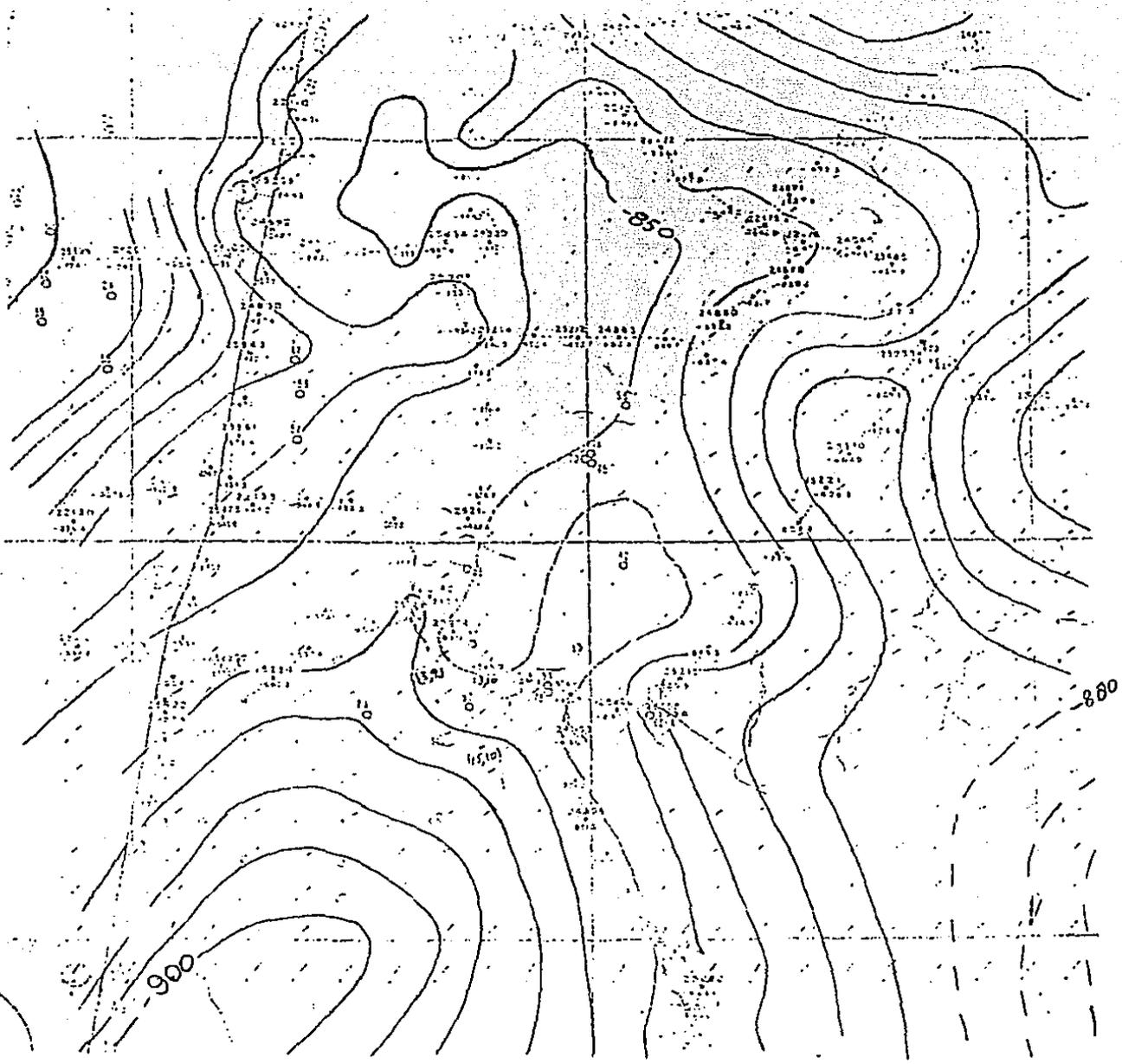
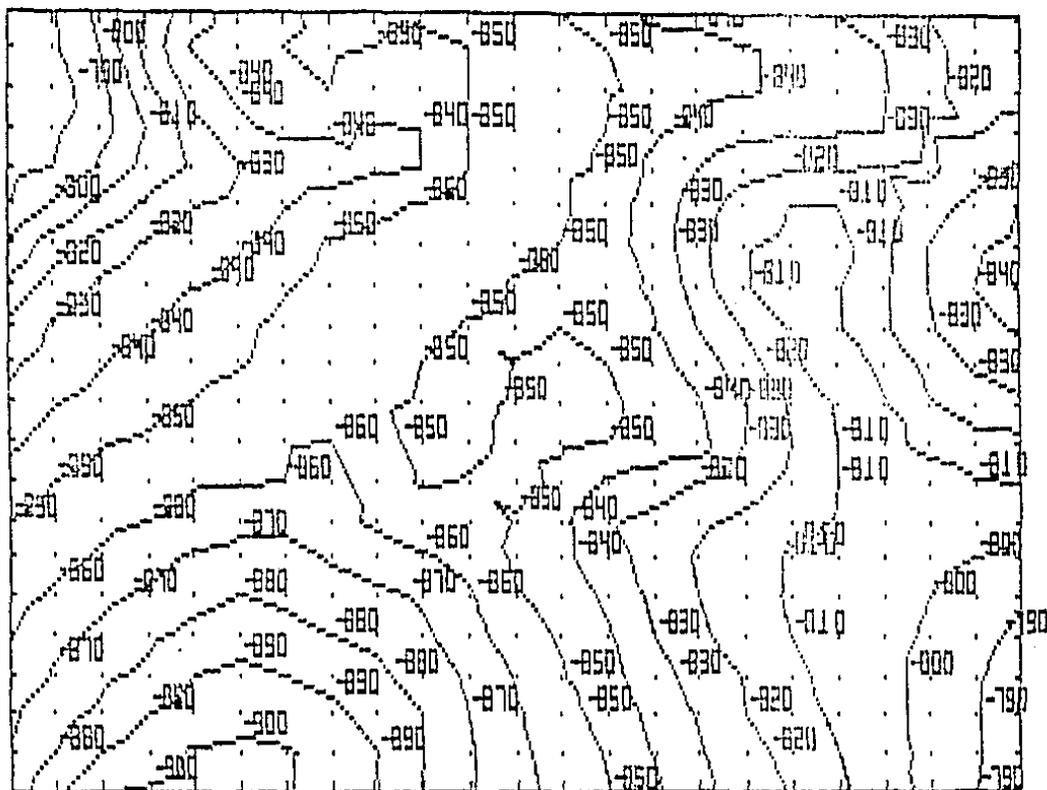


FIG. 17. CONFIGURACION DE LA ANOMALIA DE BOUGUER UTILIZADA COMO DATOS FUENTE. ESCALA ORIGINAL 1 : 50 000. AREA DE MEDIAS AGUAS, VERACRUZ.



0, 0

FIG. 18. CONFIGURACION DE LA ANOMALIA DE BOUGJER DEL AREA DE MEDIAS AGUAS.
INTERVALO ENTRE CURVAS A CADA 10 U. G. , CON DATOS A CADA 500 M.

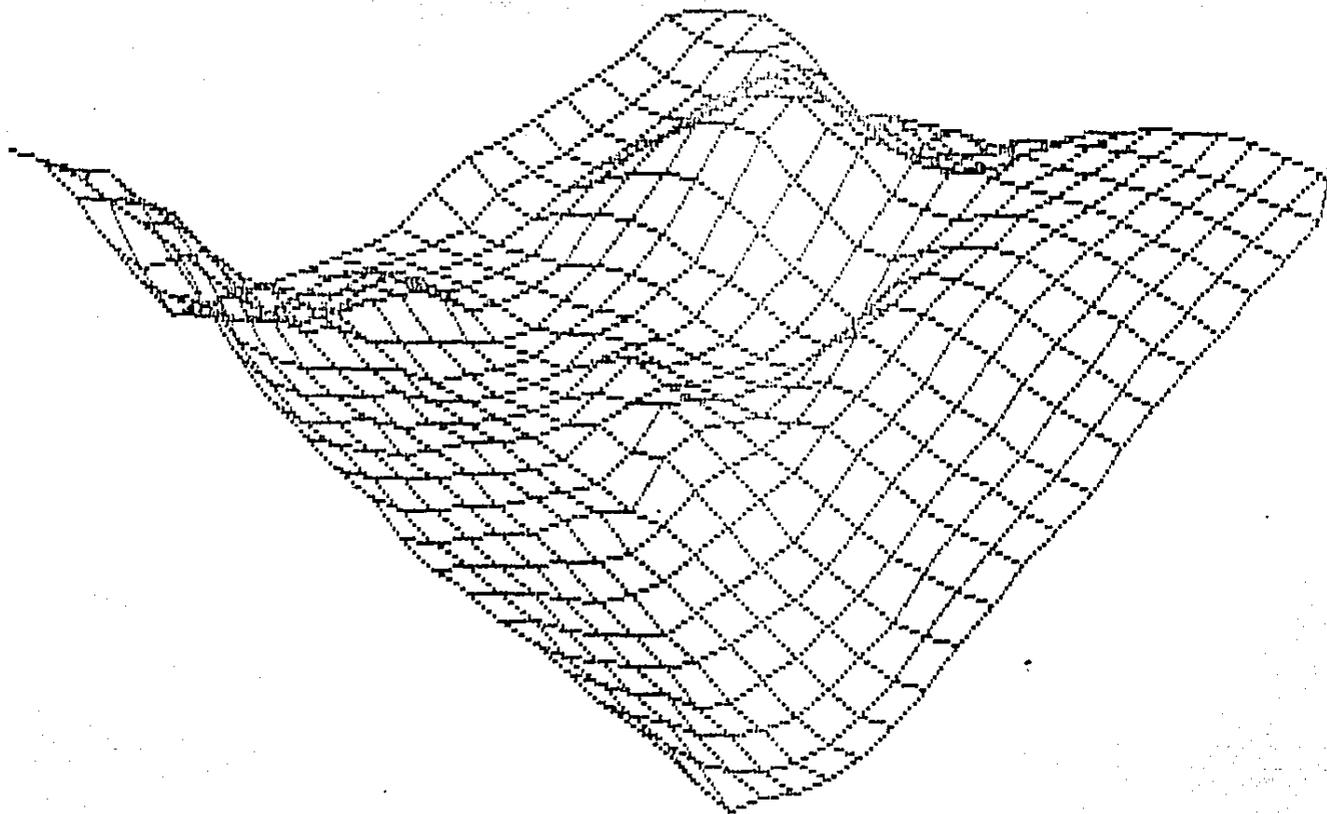
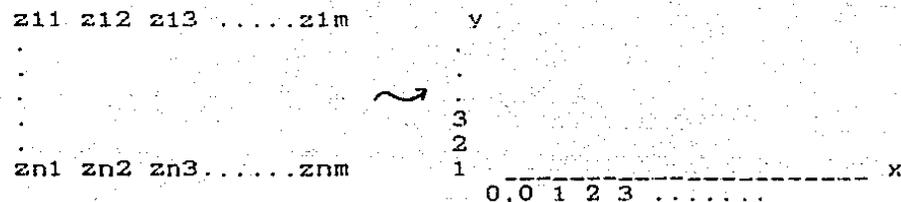


FIG. 19. ISOMETRICO DE LA ANOMALIA DE BOUGUER DEL AREA DE MEDIAS AGUAS, VER. , VISTO DESDE LA ESQUINA SW HACIA LA ESQUINA NE, CON UN ANGULO DE OBSERVACION DE 40 GRADOS.

derecha.

Al graficar esta matriz GELDA2.BAS lo hace según un sistema cartesiano usual, en el primer cuadrante, según se muestra :



Esto produce que en las gráficas el conteo sea de 0 a n-1 en el eje Y (renglones) y de 0 a m-1 en el eje X (columnas).

De cualquier manera el punto (i,j) central de la estructura siempre se grafica al centro del mapa, aunque sus coordenada pueden variar en las distintas gráficas.

iv) Los programas de graficación utilizados, dibujan las matrices restringiendose a las dimensiones del papel en la impresora. Esto implica que la escala es fijada por la P.C. y no puede ser determinada por el operador. Sin embargo, las proporciones son mantenidas y cada rasgo aparece en su lugar correspondiente.

Además para una matriz del mismo tamaño, las gráficas ocupan siempre la misma área de la hoja de impresión, lo cual facilita su comparación

El siguiente paso de análisis fué probar diferentes operadores, distintos espaciamientos de malla y varios intervalos de graficación hasta obtener la representación gravimétrica más clara de la estructura geológica sospechada.

La secuencia seguida fué la siguiente :

Matriz i j z de 21 x 23 datos

de gravedad

Programa "RADIOS.BAS"	Programa "2DER.BAS"	Programa "RESID.BAS"
Residuales con un círculo de promediación que varía entre una y n unidades de malla.	2a. derivada de Peters, 1949, ec. 27. y 2a. derivada de Rosenbach, 1953, ec. 16. y 2a. derivada de Henderson & Zietz, 1949, ecuación 15.	Residual con 2 radios de promediación. y Regional con 2 radios de promediación. y 2a. derivada de Elkins, 1951, ec. 13 y 2a. derivada de Elkins, 1951, ec. 14.

El programa RADIOS.BAS anexo, calcula residuales con un círculo de promediación que puede variar entre una y "n" unidades de malla original.

El programa RESID.BAS calcula residuales y segundas derivadas verticales con diferentes operadores :

- i) Calcula residuales con un radio de promediación de una, tres o cinco unidades de malla.

C:RADIOS.BAS Line 1 Col 1 Insert Indent Tab

CALCULA RESIDUALES CON UN CIRCULO DE PROMEDIACION
QUE VARIA ENTRE 1 Y N UNIDADES DE MALLA.

```
INPUT "CUAL ES EL RADIO MAXIMO ? ", N
INPUT "NUMERO DE RENGLONES, NUMERO DE COLUMNAS ? ", NR, NC
IM A(NR, NC), B(NR, NC), C(NR, NC), R(N, NR-2, NC-2)
PEN "I", #1, "MEDAGS.LIS"
OR I=1 TO NR
OR J=1 TO NC
INPUT #1, A(I, J), B(I, J), C(I, J)
EXT J
EXT I
LOSE #1

OR K=1 TO N
OR I=1+K TO NR-K
OR J=1+K TO NC-K
(K, I-K, J-K)=C(I, J)-(C(I, J+K)+C(I+K, J)+C(I-K, J)+C(I, J-K))/4
EXT J
EXT I
EXT K
```

C:RADIOS.BAS Line 47 Col 1 Insert Indent Tab

```
PEN "0", #1, "MARR1.LIS"
OR I=1 TO NR-2
OR J=1 TO NC-2
RITE #1, I, J, R(1, I, J)
EXT J
EXT I
LOSE #1
```

```
PEN "0", #2, "MARR2.LIS"
OR I=1 TO NR-4
OR J=1 TO NC-4
RITE #2, I, J, R(2, I, J)
EXT J
EXT I
LOSE #2
```

```
PEN "0", #1, "MARR3.LIS"
OR I=1 TO NR-6
OR J=1 TO NC-6
RITE #1, I, J, R(3, I, J)
EXT J
EXT I
LOSE #1
```

C:RADIOS.BAS Line 71 Col 1 Insert Indent Tab

```
PEN "0", #2, "MARR4.LIS"
OR I=1 TO NR-8
OR J=1 TO NC-8
RITE #2, I, J, R(4, I, J)
EXT J
EXT I
LOSE #2
```

```
PEN "0", #1, "MARR5.LIS"
OR I=1 TO NR-10
OR J=1 TO NC-10
```

```
WRITE #1, I, J, R(5, I, J)
NEXT J
NEXT I
CLOSE #1
```

```
OPEN "0", #1, "MARR6.LIS"
FOR I= 1 TO NR-12
FOR J= 1 TO NC-12
WRITE #1, I, J, R(6, I, J)
NEXT J
NEXT I
CLOSE #1
```

```
C:\RADIOS.BAS Line 75 Col 1 Insert Indent Tab
```

```
WRITE #2, I, J, R(4, I, J)
NEXT J
NEXT I
CLOSE #2
```

```
OPEN "0", #1, "MARR5.LIS"
FOR I=1 TO NR-10
FOR J=1 TO NC-10
WRITE #1, I, J, R(5, I, J)
NEXT J
NEXT I
CLOSE #1
```

```
OPEN "0", #1, "MARR6.LIS"
FOR I= 1 TO NR-12
FOR J= 1 TO NC-12
WRITE #1, I, J, R(6, I, J)
NEXT J
NEXT I
CLOSE #1
```

```
PRINT "*** FIN ***"
END
```

C:RESID.BAS Line 1 Col 1 Insert Indent Tab

pide datos de una matriz de nr renglones y nc columnas guardados en un archivo llamado " . lis"

CALCULA RESIDUALES Y SEGUNDAS DERIVADAS

```
open "mab1.lis" for input as #1
INPUT "NUMERO DE RENGLONES, NUMERO DE COLUMNAS ?" , NR,NC
INPUT "RADIO DE PROMEDIACION ?",R
dim a(nr,nc) , b(nr,nc) , c(nr,nc) , r12(NR-4*R,NC-4*R) , re13(NR-4*R,NC-4*R)
DIM re14(NR-4*R,NC-4*R) , rg12(NR-4*R,NC-4*R)
for i=1 to nr
for j=1 to nc
input #1,a(i,j),b(i,j),c(i,j)
next j
next i
CLOSE #1
```

```
for i=2*R+1 to NR-2*R
for j=2*R+1 to NC-2*R
```

CALCULA RESIDUAL CON 2 RADIOS DE PROMEDIACION R Y R**1/2

C:RESID.BAS Line 47 Col 1 Insert Indent Tab

```
re12(i-2*R,j-2*R)=c(i,j)-0.125*(c(i,j-R)+c(i+R,j)+c(i,j+R)+c(i-R,j))-0.125*(c(i-
```

calcula la segunda derivada por ELKINS, eqn 14

```
re14(i-2*R,j-2*R)=(1/20)*(16*c(i,j)+2*(c(i-R,j)+c(i,j+R)+c(i+R,j)+c(i,j-R))-3*(
```

calcula la segunda derivada,por ELKINS,eqn. 13

```
re13(i-2*R,j-2*R)=(1/60)*(64*c(i,j)-2*(c(i-R,j)+c(i,j+R)+c(i+R,j)+c(i,j-R))-4*(
```

calcula regional

```
rg12(i-2*R,j-2*R)=c(i,j)-r12(i,j)
```

```
next j
print " renglon ",i," leido y calculado"
next i
```

guarda en varios archivos " .lis" matrices i,j,z de nr-2R renglones y nc-2R columnas

```
open "o",#1,"chie14.lis"
for i=1 to NR-4*R
```

C:RESID.BAS Line 71 Col 1 Insert Indent Tab

```
for j=1 to NC-4*R
write #1, i,j,re14(i,j)
next j
next i
CLOSE #1
```

```
OPEN "o",#2,"chie13.lis"
FOR I=1 TO NR-4*R
FOR J= 1 TO NC-4*R
WRITE #2, I,J,re13(I,J)
NEXT J
```

```
NEXT I
close #2
open "o",#1,"chiri2.lis"
for i= 1 to NR-4*N
for j= 1 to NC-4*N
write #1,i,j,r12(i,j)
next j
next i
close #1
```

```
open "o",#2,"chireg.lis"
for i= 1 to NR-4*N
```

C:RESID.BAS Line 95 Col 1 Insert Indent Tab

```
for j= 1 to NC-4*N
write #2,i,j,rg12(i,j)
next j
next i
CLOSE #2
```

```
print , " **** fin de corrida ****"
end
```

C:2DER.BAS Line 1 Col 1 Insert Indent Tab

de datos de una matriz de nr renglones y nc columnas guardados en un
archivo llamado ' .lis'

```
EN "Medhou.LIS" FOR INPUT AS #1
PUT "NUMERO DE RENGLONES, NUMERO DE COLUMNAS ?", NR , NC
PUT "RADIO DE PROMEDIACION ?", R
M A(NR,NC) , B(NR,NC) , C(NR,NC) , D(NC-4*R)
M R2(NR-4*R,NC-4*R) , R3(NR-4*R,NC-4*R)
```

```
R I=1 TO NR
R J=1 TO NC
PUT #1,A(I,J),B(I,J),C(I,J)
XT J
XT I
LOSE #1
```

calcula la 2 derivada por PETERS

```
for i=3*R+1 to NR-3*R
for j=3*R+1 to NC-3*R
1(i-3*R,j-3*R)=1.156*(c(i,j))+0.256*(c(i-R,j)+c(i,j+R)+c(i+R,j)+c(i,j-R))/4-0.4
1(i-3*R,j-3*R)=r1(i-3*R,j-3*R)+0.392*(c(i-3*R,j+R)+c(i-R,j+3*R)+c(i+R,j+3*R)+
ext j
ext i
```

C:2DER.BAS Line 47 Col 1 Insert Indent Tab

```
OR I=2*R+1 TO NR-2*R
OR J=2*R+1 TO NC-2*R
```

calcula segunda derivada con HENDERSON & ZIETZ

```
2(i-2*R,j-2*R)=(21/3)*c(i,j)-(32/3)*(c(i-R,j)+c(i,j+R)+c(i+R,j)+c(i,j-R))/4
CALCULA SEGUNDA DERIVADA POR ROSENBACH
```

```
r3(i-2*R,j-2*R)=(1/24)*(96*c(i,j)-18*(c(i-R,j)+c(i,j+R)+c(i+R,j)+c(i,j-R))-8*(
NEXT J
NEXT I
```

GUARDA MATRICES EN ARCHIVOS

```
OPEN "O",#2,"MAR27.LIS"
for i=1 to nr-4*R
for j=1 to nc-4*R
WRITE #2, I,J,R1(I,J)
next j
next i
CLOSE #2
```

```
OPEN "O",#1,"MAR32.LIS"
for i=1 to NR-4*R
```

C:2DER.BAS Line 64 Col 5 Insert Indent Tab

```
for j=1 to NC-4*R
WRITE #1,I,J,R2(I,J)
next j
next i
CLOSE #1
```

```
OPEN "O",#1,"MAR16.LIS"
FOR I=1 TO NR-4*R
FOR J=1 TO NC-4*R
WRITE #1,I,J,R3(I,J)
NEXT I
```

ST I
USE #1

ENT " ** FIN ** "

- ii) Calcula residual con dos radios de promediación, de 1 y (2)1/2 unidades de malla.
- iii) Calcula regionales con uno o dos radios de promediación.
- iv) Calcula la segunda derivada con el operador de Elkins, 1951, ecuación 13.
- v) Calcula la segunda derivada con el operador de Elkins, 1951, ecuación 14.

Por razones prácticas, evitando el manejo de un gran número de matrices a la vez, generalmente solo se obtienen 4 archivos distintos del programa RESID.BAS.

El programa 2DER.BAS aplica varios operadores :

- i) Calcula la segunda derivada según Peters, 1949, ec. 27.
- ii) Calcula la segunda derivada según Henderson & Zietz, 1949, ecuación 15.
- iii) Calcula la segunda derivada según Rosenbach, 1953, ec 16.
- iv) Puede o no ampliar el espaciamento entre datos.

De todas las gráficas obtenidas se muestran a continuación, las que presentan de manera mas clara los efectos que resultan al aplicar los distintos operadores, con diferentes espaciamentos de malla y graficando a varios intervalos. Primero se muestra el efecto de los operadores, manteniendo la malla fija en 1 500 m. La FIG. 20 muestra la configuración de la anomalía de Bouguer en el área restringida a la de las configuraciones de residuales, con el fin de facilitar la comparación entre ellas.

La FIG. 21 muestra el residual calculado con dos círculos de promediación. Este filtro muestra de manera adecuada las anomalías producidas por cuerpos de interés, coloreadas, al

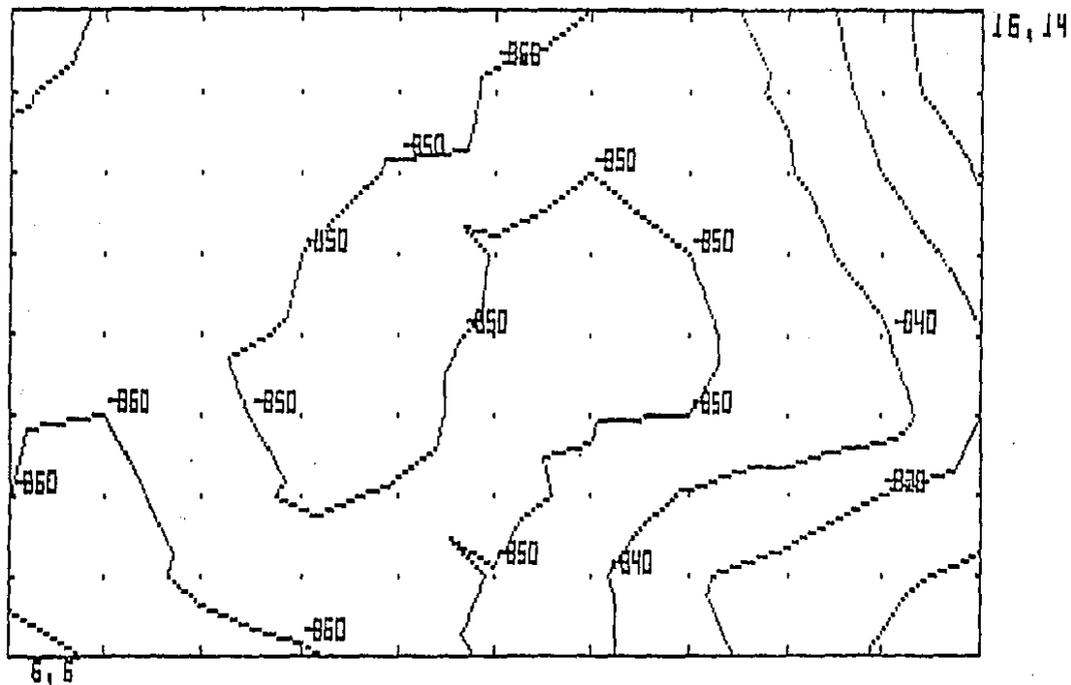
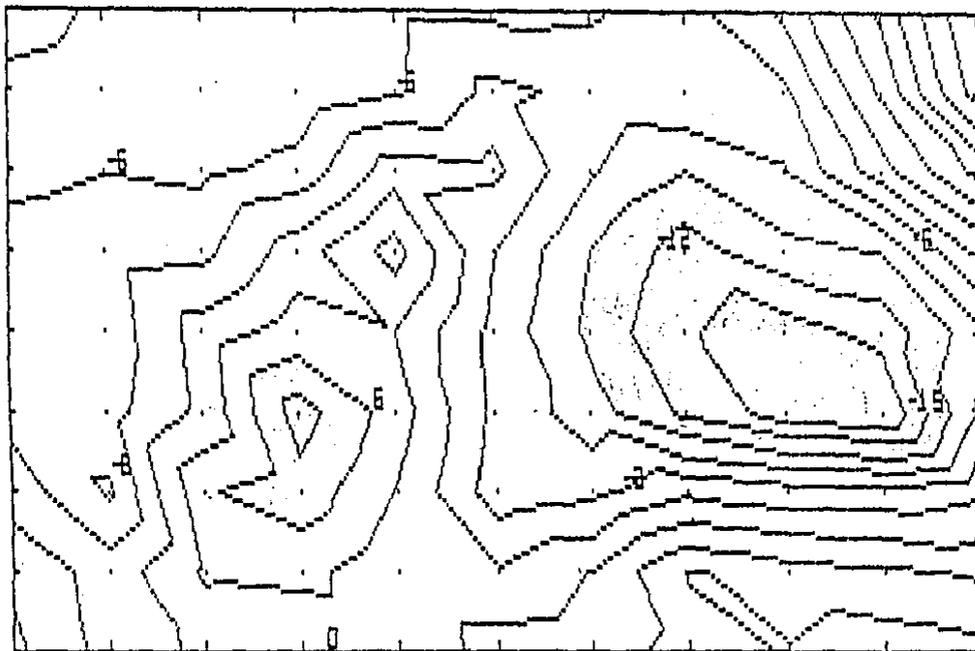


FIG. 20. CONFIGURACION DE LA ANOMALIA DE BOUGUER DEL AREA DE MEDIAS AGUAS, RESTRINGIDA AL AREA MOSTRADA EN LOS RESIDUALES, DATOS CADA 500 M. INTERVALO ENTRE CURVAS DE 10 U. G.



10,8

0,0

FIG. 21. RESIDUAL DE MEDIAS AGUAS CALCULADO CON DOS CIRCULOS DE PROMEDIACION DE RADIOS 1 500 Y 3 000^{1/2} M. INTERVALO ENTRE CURVAS DE 3 U. G.. DATOS A CADA 500 M..

utilizar radios de promediación de 1 500 m y (3 000) m. Los datos están graficados en una malla de 500 m.

El mínimo que se ha coloreado y que incluye al centro de la gráfica, corresponde a la estructura de Medias Aguas; pero está influenciado por efectos mayores, regionales.

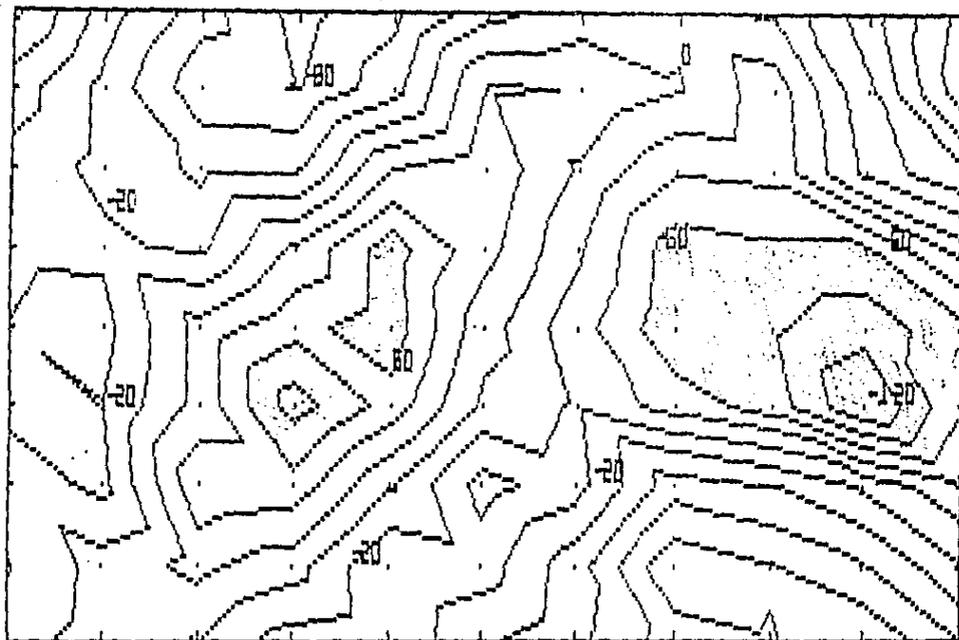
La FIG. 22 muestra la anomalía de Bouguer filtrada con el operador de Henderson & Zietz, 1949, ecuación 15. El efecto de este operador amplifica ciertas frecuencias y disminuye a las bajas. No clarifica las anomalías de interés más de lo que lo hace el residual anterior, y en general el aspecto es más confuso.

La FIG. 23 muestra la segunda derivada calculada con la ecuación 16 de Rosenbach, publicada en 1953. También este operador amplifica las altas frecuencias; pero sin aclarar las anomalías de interés.

La FIG. 24 da la respuesta filtrada con el operador de Elkins, 1951 ecuación 13. Esta configuración es muy buena y casi no distorciona la salida.

La FIG. 25 muestra la segunda derivada calculada con la ecuación 14 de Elkins, 1951. En este caso la gráfica es más clara y el espaciamiento entre curvas puede hacerse más fino. Con este operador se definen exactamente las anomalías principales; siendo escasos los rasgos de baja frecuencia, sin importancia, que acompañan la señal de salida.

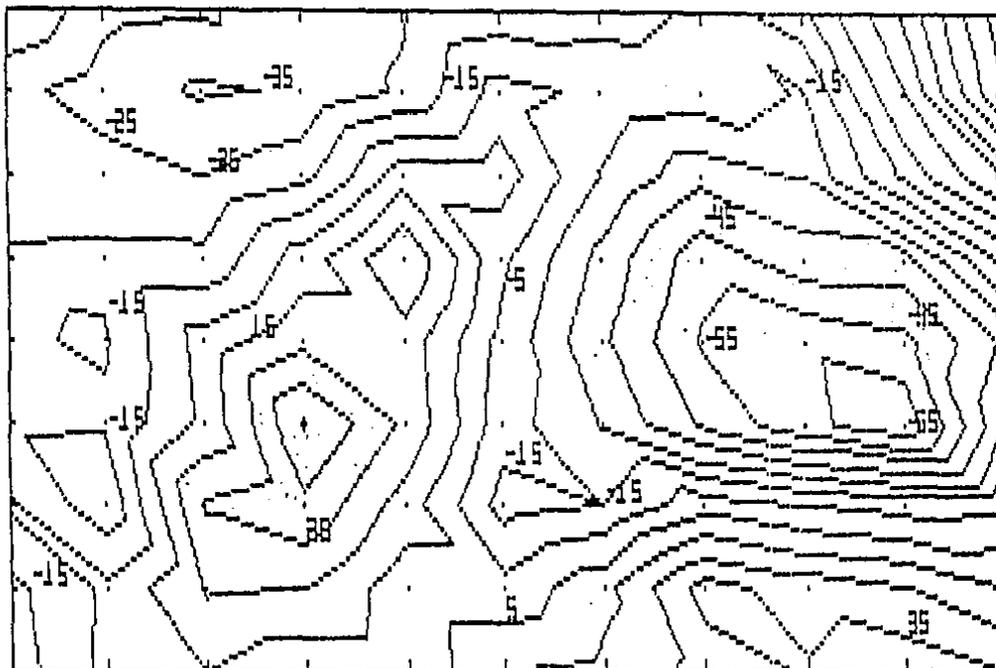
La FIG. 26 muestra la configuración de la segunda derivada, calculada con la ecuación 27 de Peters, 1949. En este caso el área graficada es diferente a las anteriores, pues este operador



10,8

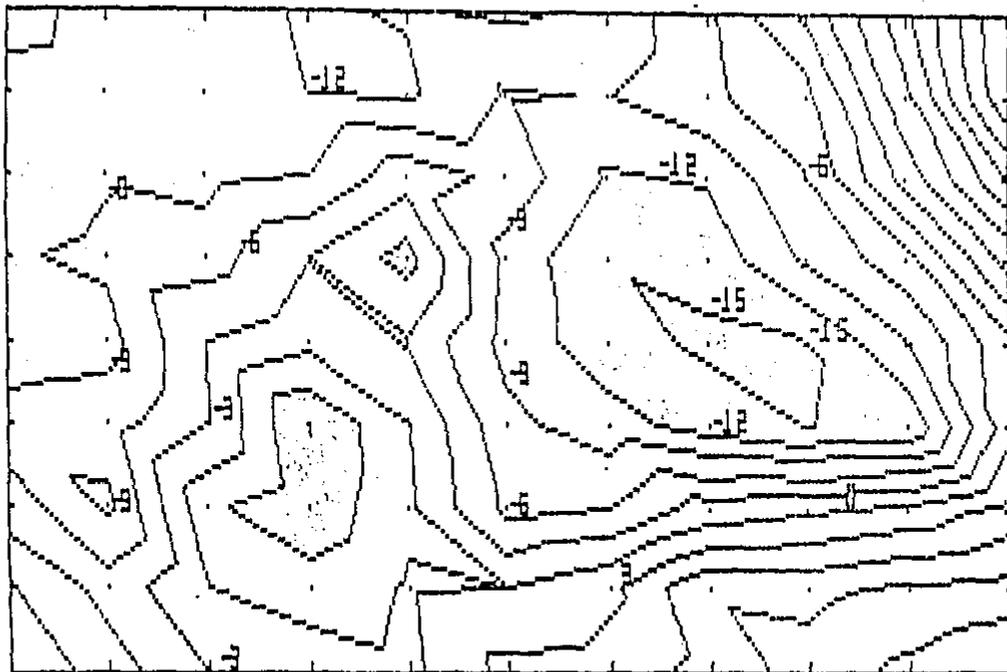
0,0

FIG. 22. CONFIGURACION DE LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL CALCULADA CON EL OPERADOR DE HENDERSON & ZIETZ, 1949, ECUACION 15. INTERVALO ENTRE CURVAS CADA 20 ($T^{-2} L^{-1}$). RADIO DE PROMEDIACION EN MULTIPLOS DE 1 500 M. DATOS A CADA 500 M.



0, 0

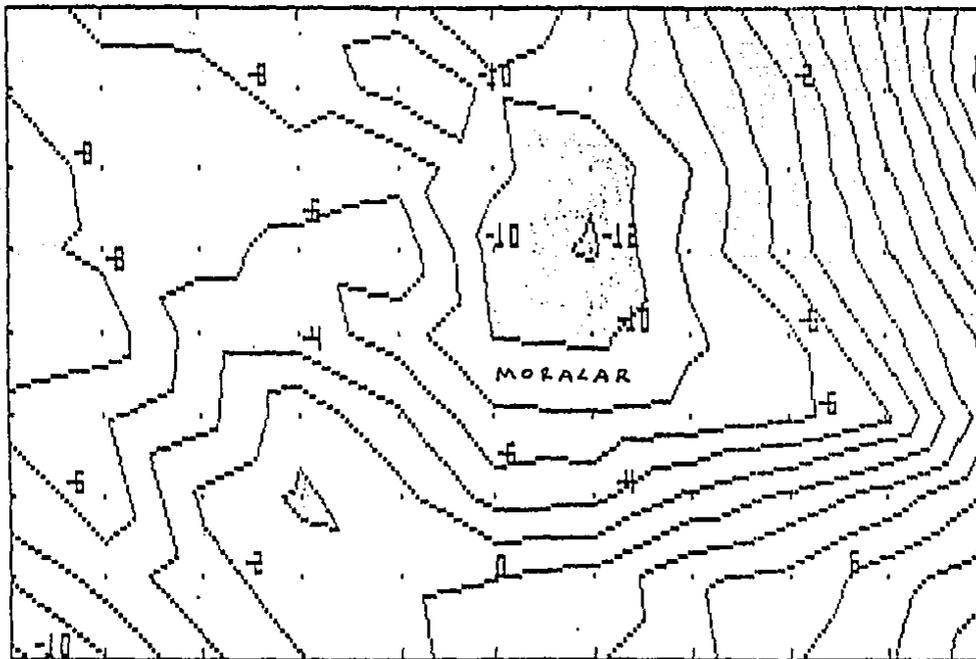
FIG.23. CONFIGURACION DE LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL CALCULADA CON EL OPERADOR DE ROSENBACH, 1953, ECUACION 16. CURVAS A CADA 10 ($T^{-2} L^{-1}$): RADIOS DE PROMEDIACION EN MULTIPLS DE 1 500 M. DATOS A CADA 500 M.



10,8

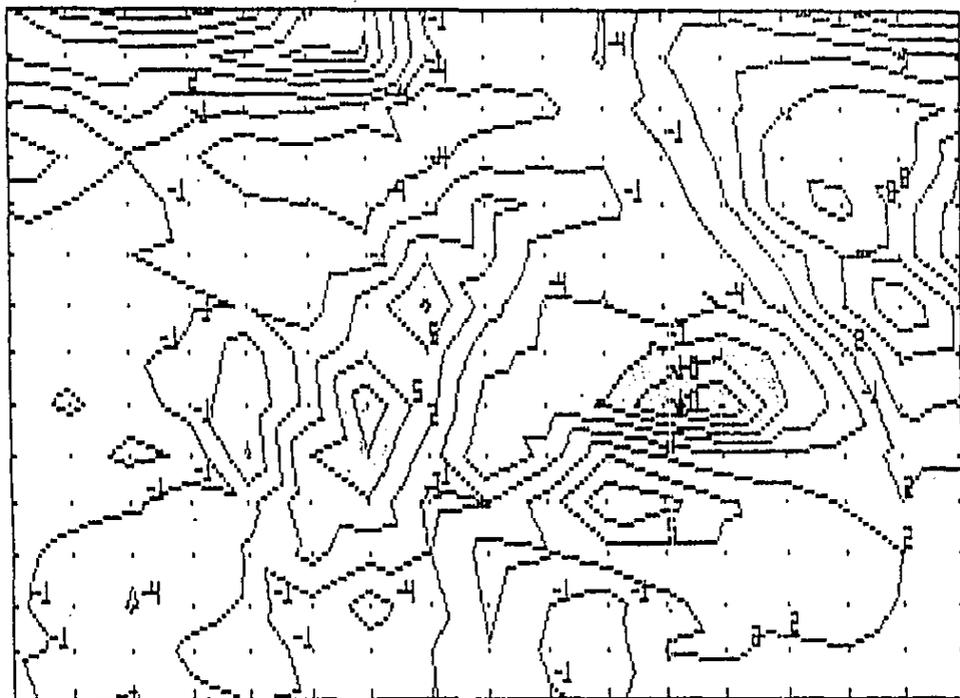
0,0

FIG. 24. CONFIGURACION DE LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL CALCULADA CON EL OPERADOR DE ELKINS, 1951, ECUACION 13. CURVAS A CADA 3 ($T^{-2} L^{-1}$). RADIO DE PROMEDIACION EN MULTIPLOS DE 1 500 M. DATOS A CADA 500 M.



0,0

FIG 25. CONFIGURACION DE LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL CALCULADA CON EL OPERADOR DE ELKINS, 1951, ECUACION 14. INTERVALO ENTRE CURVAS DE 2 ($T^{-2} L^{-1}$). RADIO DE PROMEDIACION DE 1 500 M. O MULTIPLOS. DATOS A CADA 500 M.



16,14

0,0

FIG. 26. CONFIGURACION DE LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL CALCULADA CON EL OPERADOR DE PETERS, 1949, ECUACION 27. INTERVALO ENTRE CURVAS A CADA 3 ($T^{-2} L^{-1}$). RADIO DE PROMEDIACION EN MULTIPLoS DE 1 000 M. DATOS A CADA 500 M.

toma radios de promediación más grandes. Se tomó un radio unitario de 1 000 m y se graficó a un intervalo de malla de 500 m. Este operador amplifica tanto las bajas como las altas frecuencias y en este caso da una salida confusa.

A continuación se presenta el efecto de variar el radio de promediación desde una unidad de malla, 500 m, hasta 6 unidades de malla. No se consideraron radios mayores, pues esto reduce demasiado el área que se estudia.

En las FIGS. 27 a 32 se ha considerado la misma red, para facilitar su comparación.

La FIG. 27 muestra el residual utilizando un radio de promediación de una unidad de malla. En este caso la definición es pobre y muestra efectos muy locales, aún cuando es posible distinguir anomalías de interés. La amplitud de las anomalías es muy pequeña, de -6 u. g..

La FIG. 28 muestra el residual tomando un círculo de promediación de 2 unidades de malla, es decir, 1 000 m.. Es notable la mejor definición de las anomalías de interés, así como el cambio de magnitud de las mismas.

La FIG. 29 muestra el residual calculado con un radio de promediación de 3 unidades de malla. En este caso tal radio produce mayor amplificación y filtra anomalías de alta frecuencia indeseables.

La FIG. 30 es el residual de un círculo de promediación de 2000 m. La FIG. 31 es el residual calculado con un radio de promediación de 2 500 m. En esta área, produce la mayor amplificación en la salida deseada y se considera el óptimo.

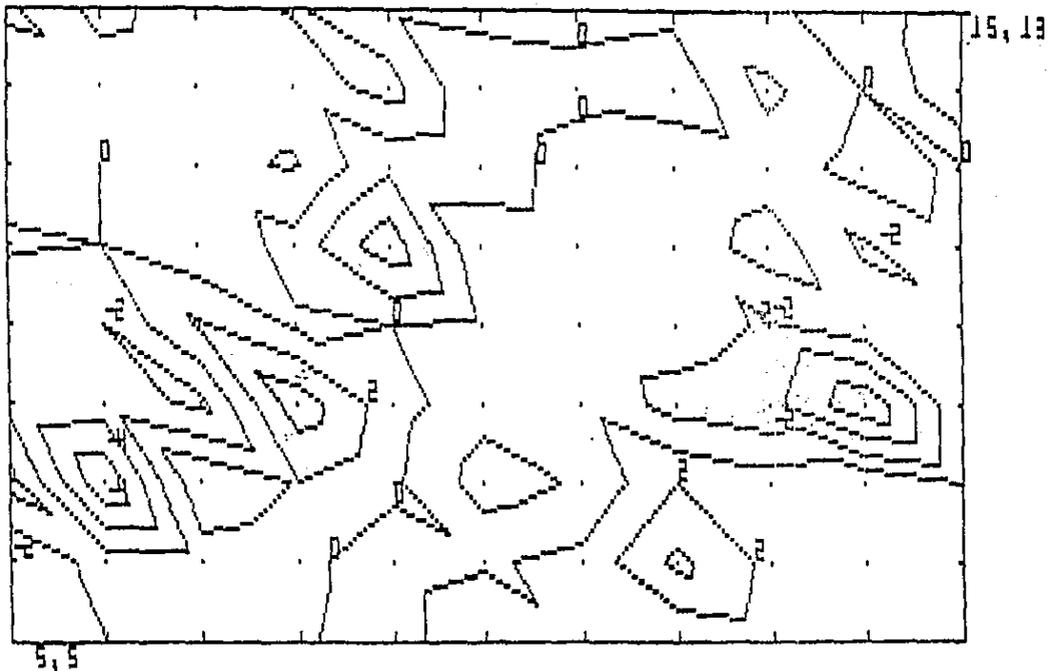


FIG 27. CONFIGURACION DEL RESIDUAL, CALCULADO CON 500 M, COMO UNIDAD DE MALLA.
CON UN CIRCULO DE PROMEDIACION, INTERVALO ENTRE CURVAS DE 2 U. G.

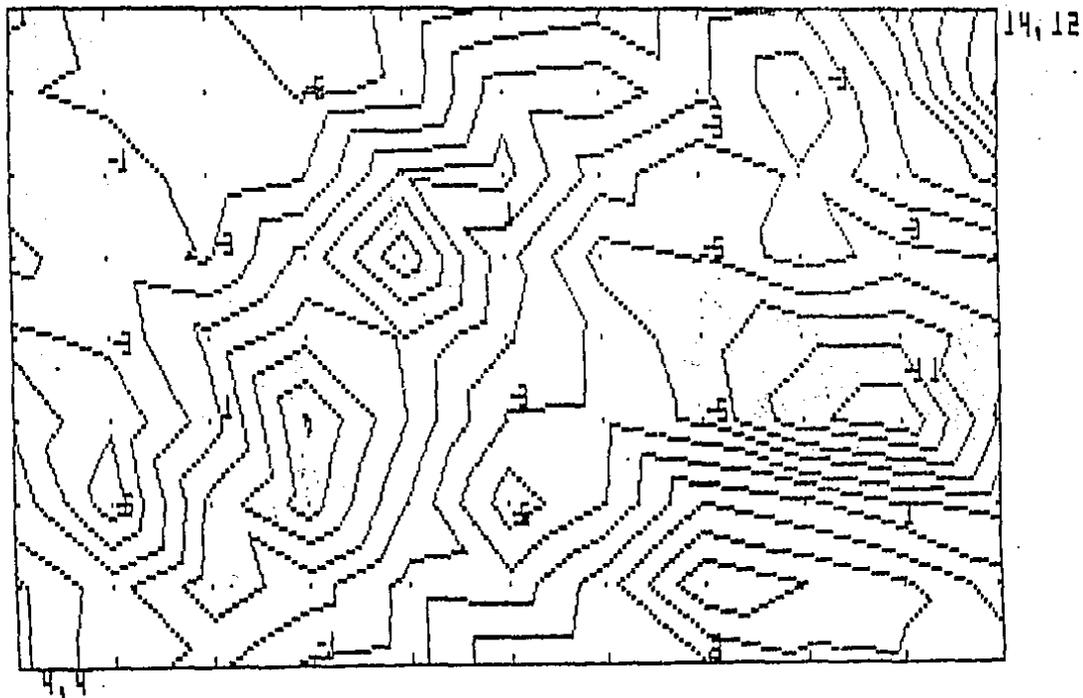


FIG. 28. CONFIGURACION DEL RESIDUAL CALCULADO CON UN CIRCULO DE PROMEDIACION DE RADIO DE 1 000 M. INTERVALO ENTRE CURVAS DE 2 U. G.

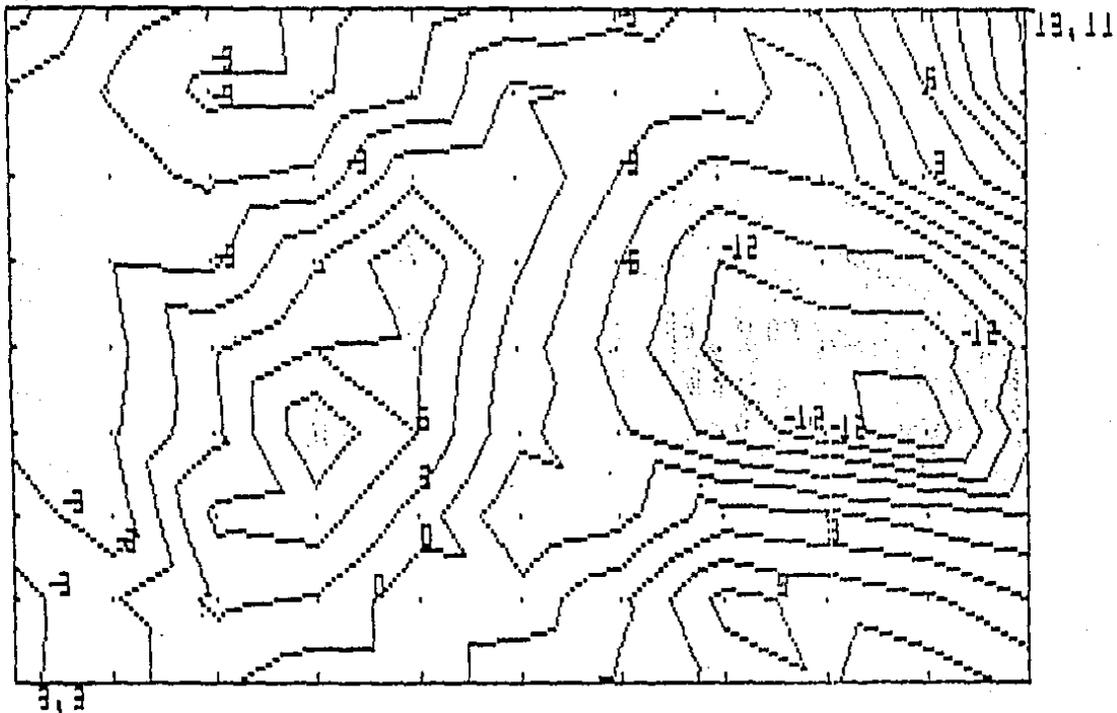


FIG. 29. CONFIGURACION DEL RESIDUAL CALCULADO CON UN CIRCULO DE PROMEDIACION DE RADIO DE 1 500 M. INTERVALO ENTRE CURVAS A CADA 3 U.G.

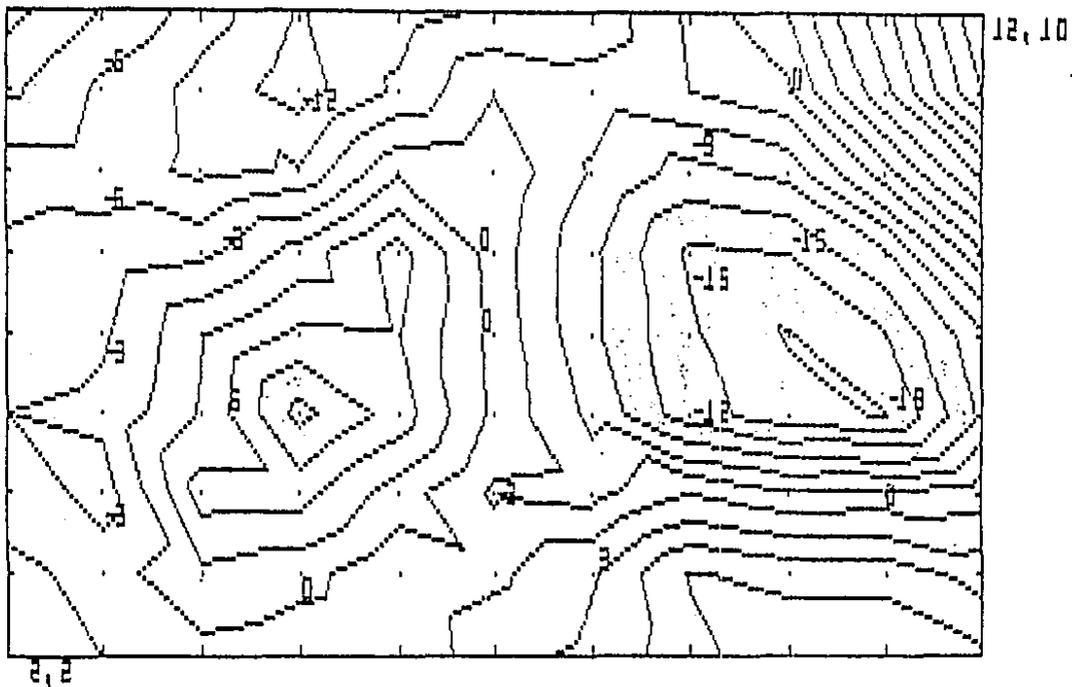


FIG. 30. CONFIGURACION DEL RESIDUAL CALCULADO CON UN CIRCULO DE PROMEDIACION DE RADIO DE 2 000 M. INTERVALO ENTRE CURVAS A CADA 2 000 M.

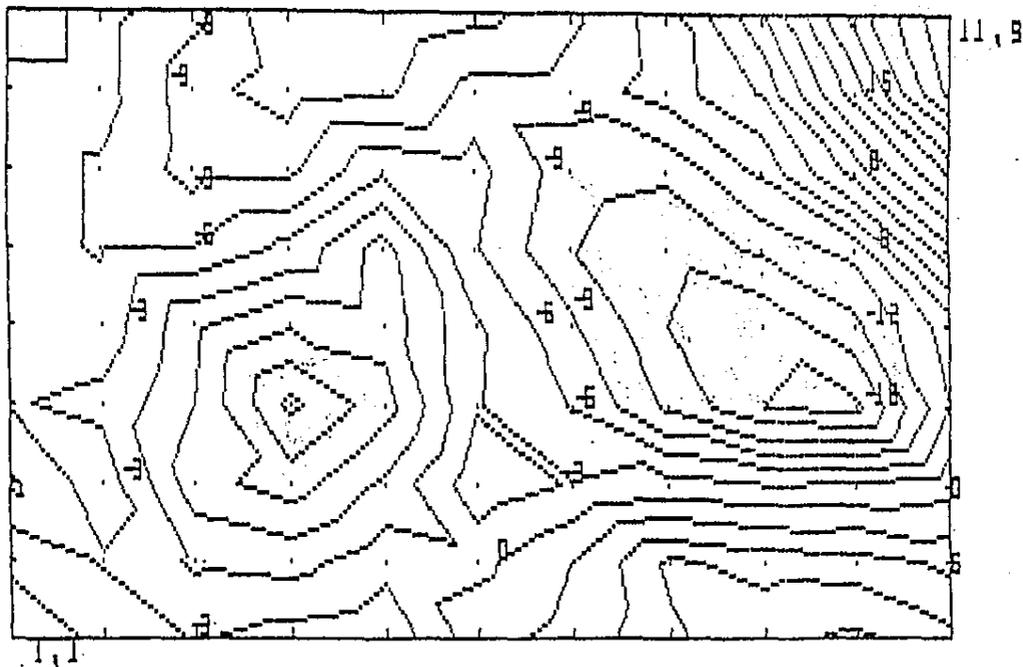
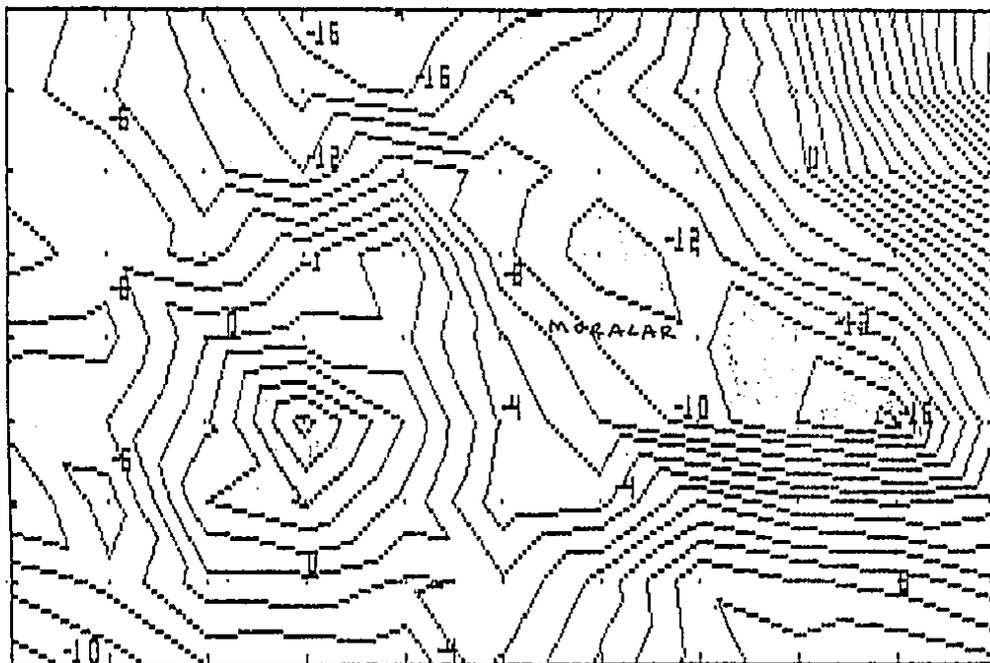


FIG 31. CONFIGURACION DEL RESIDUAL CALCULADO CON UN CIRCULO DE PROMEDIACION DE RADIO 2 500 M. INTERVALO ENTRE CURVAS A CADA 3 U. G.



10,8

0,0

FIG. 32. CONFIGURACION DEL RESIDUAL CALCULADO CON UN CIRCULO DE PROMEDIACION DE RADIO 3 000 M. INTERVALO ENTRE CURVAS DE 2 U.G.

La FIG. 32 muestra el residual calculado con un radio de promediación de 6 unidades de malla. Esta gráfica no presenta ventajas claras con respecto a la anterior y reduce demasiado el área que se estudia.

En el caso del área de Medias Aguas, el mejor residual que se pudo obtener es el mostrado en la FIG. 25, que corresponde a una segunda derivada calculada con el operador de Elkins, ecuación 14., tomando radios de promediación de 1 500 y $(3\ 000)^{1/2}$ metros. El punto al centro de la gráfica, sobre la curva de -10 corresponde al dato $(x,y) = (11,13)$ del centro de la estructura de Medias Aguas.

Hay que resaltar que no siempre es posible tomar un radio óptimo y al mismo tiempo el operador más adecuado, pues los datos gravimétricos disponibles pueden no abarcar el área suficiente, como en este caso.

Uno debe lograr la combinación más adecuada, tomando un radio que no reduzca demasiado el área de la respuesta filtrada y un operador que resalte la o las anomalías que producen las estructuras sospechadas.

En esta área se trataba de suprimir en la salida tanto las anomalías de muy alta como las de muy baja longitud. Es por eso que un filtro pasa-banda dió el mejor resultado.

El efecto general que se obtiene al aplicar diferentes filtros, con varios espaciamientos de malla, es mostrado en el apéndice B de este trabajo.

B4) ANALISIS GRAVIMETRICO DEL AREA DE CHINAMECA.

Dentro del área total objeto del presente estudio, se seleccionó una superficie de 30.5 x 46 km. ubicada hacia su porción norte, por las siguientes razones :

- i) En Chinameca afloran rocas jurásicas y cretácicas, rodeadas por sedimentos terciarios, que definen perfectamente una estructura intrusiva salina : "El Domo de Chinameca".
- ii) Los pozos exploratorios perforados en esta estructura han cortado sal y anhidrita a profundidades someras.
- iii) En los afloramientos del "cap-rock" y de las rocas mesozoicas se observan fracturas selladas por asfalto.
- iv) Se cuenta con una línea sísmica que casi toca la estructura.
- v) El plano de anomalía de Bouguer esc. 1 : 50 000 es bastante uniforme y da oportunidad de probar los filtros gravimétricos.

De tal suerte que se marcó un punto en el centro de la estructura de Chinameca y a partir de él se construyó una retícula de datos espaciados a 500 m, 1 cm en el plano, para formar una malla de 61 x 92. En las gráficas siguientes el punto central de Chinameca aparece en la porción central derecha de todos ellas.

La FIG. 33 muestra la anomalía de Bouguer configurada con la P. C., con un intervalo entre curvas de 50 u. g..

La FIG. 34 muestra un isométrico de la FIG. 33.

La FIG. 35 muestra un residual calculado con dos círculos de promediación, y graficando únicamente la tercera parte de los datos. Esto último se hizo pues al tratar de graficar todos los

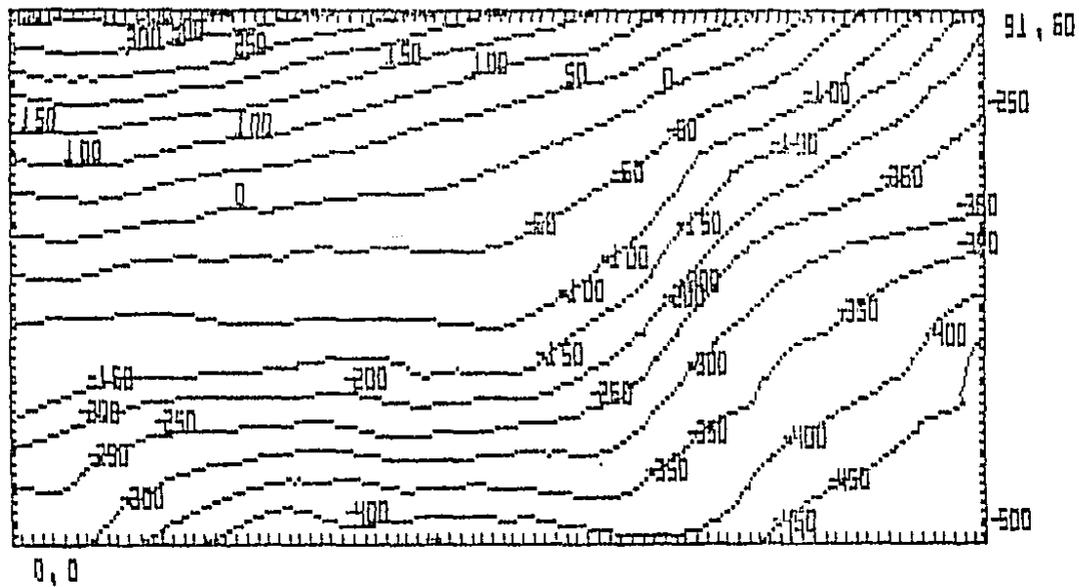


FIG. 33. CONFIGURACION DE LA ANOMALIA DE BOUGUER DEL AREA DE CHINAMECA, VER.
 INTERVALO ENTRE CURVAS A CADA 50 U. G.

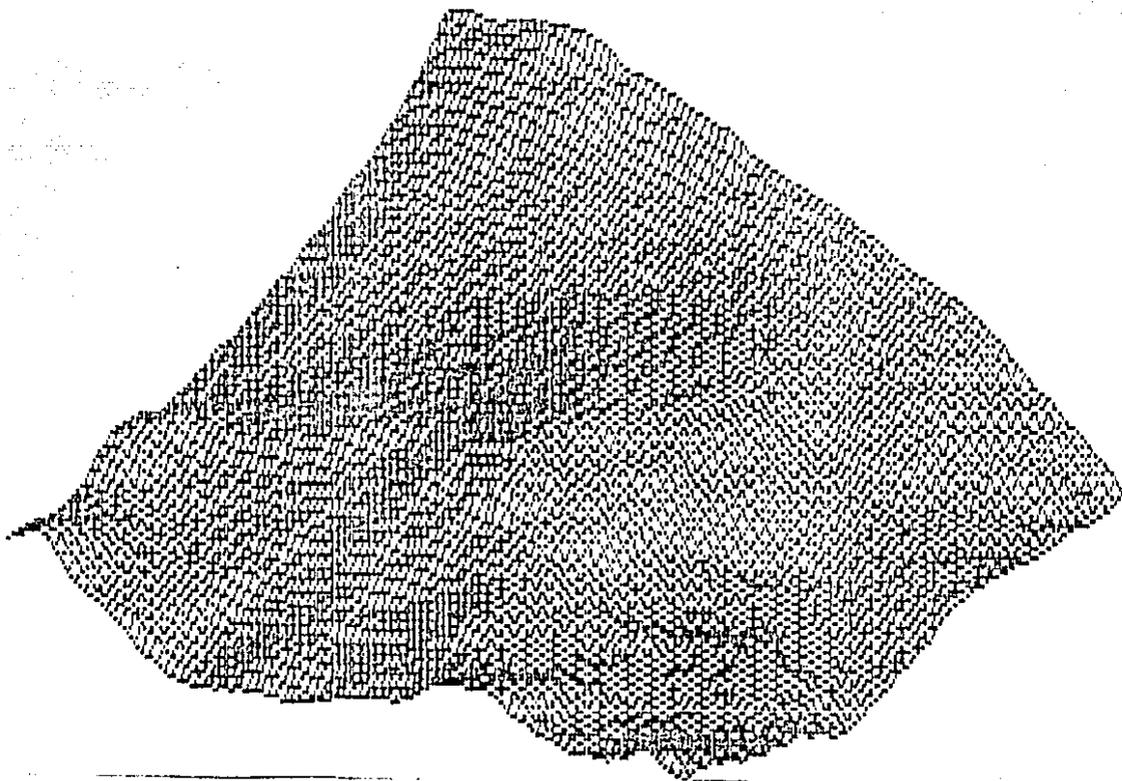


FIG. 34. ISOMETRICO DE LA ANOMALIA DE BOUGUER DEL AREA DE CHINAMECA, VER., VISTO DESDE LA ESQUINA SE HACIA LA NW, CON UN ANGULO DE OBSERVACION DE 45 GRADOS.

puntos, el plano resultante era totalmente ininteligible.

En este caso es notable observar que en el centro del "Domo de Chinameca", aparece una anomalía de -1 u. g., coloreada, rodeada de anomalías de -3 u. g., coloreadas de verde. Esto señala un máximo local, rodeado de mínimos locales, que se pueden interpretar como debidos a rocas densas del "cap-rock" y mesozoicas, rodeadas de rocas terciarias y sal, menos densas.

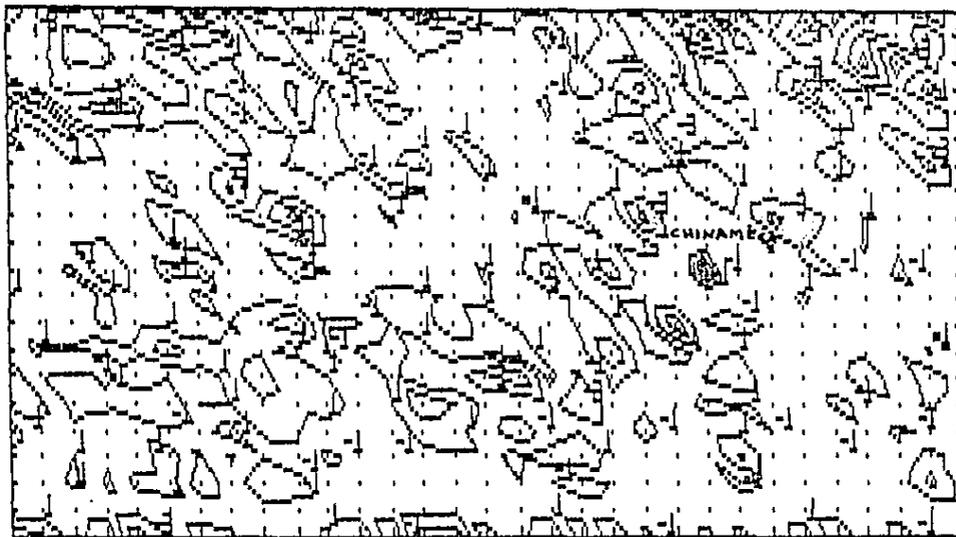
Otras anomalías de interés también aparecen, aunque inmersas en efectos de alta frecuencia, que las obscurecen.

La FIG. 36 muestra un residual calculado con dos radios de promediación; pero tomando en este caso $3\ 000$ m como unidad de malla. Al hacer esto, la definición de las anomalías importantes, es mucho mayor. El mínimo correspondiente al diapíro de Chinameca, coloreado en verde, aparece en la porción central derecha.

Se han coloreado otras anomalías que resultan importantes y que persistentemente aparecen en todas las gráficas.

La FIG. 37 clarifica también la respuesta gravimétrica y se obtuvo con la ecuación 13 de Elkins, 1951.

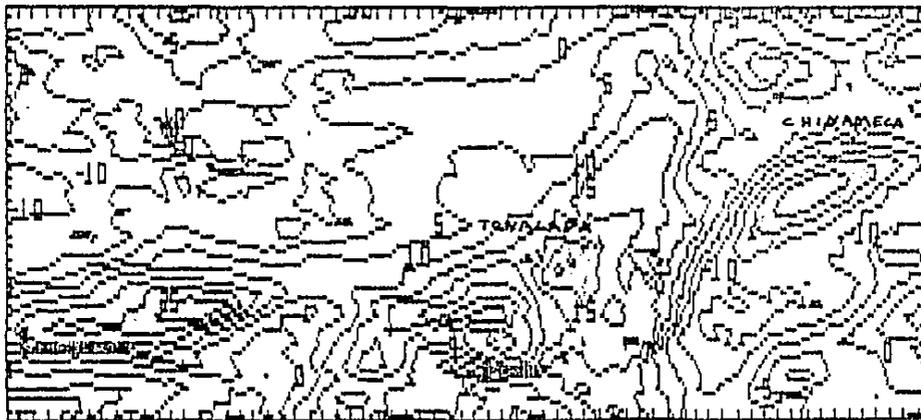
La FIG. 38 muestra la configuración de la segunda derivada calculada con el operador de Elkins, 1951, ecuación 14. En este caso se logró una muy buena definición. El intrusivo salino de Chinameca, se ubica en la porción central derecha. Además las otras anomalías coloreadas en este plano, pueden hacerse corresponder con estructuras geológicas interesantes, como el máximo que aparece en el centro y coincide con el anticlinal de Tonalapa.



30, 20

0, 0

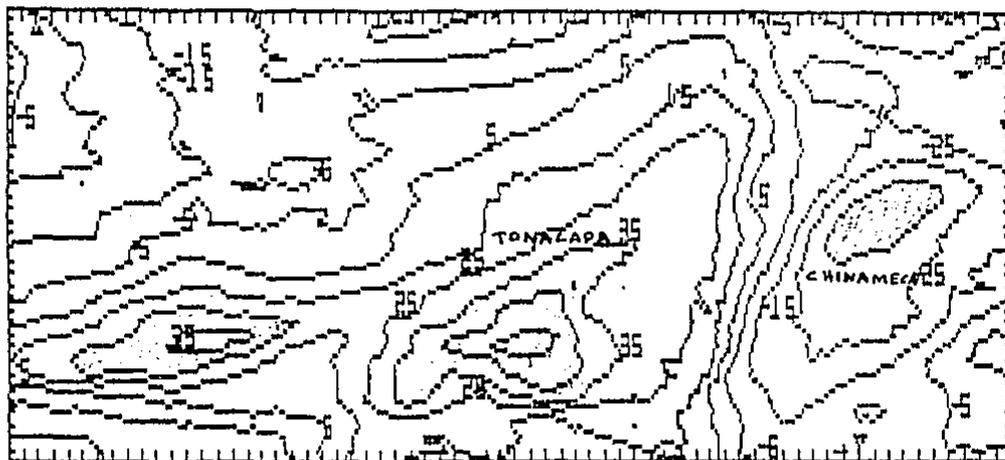
FIG. 35. CONFIGURACION DEL RESIDUAL CALCULADO CON UN CIRCULO DE PROMEDIACION DE 500 M DE RADIO. CURVAS A CADA 2 U. G.. DATOS A CADA 1 500 M. AREA DE CHINAMECA, VER..



67, 36

0, 0

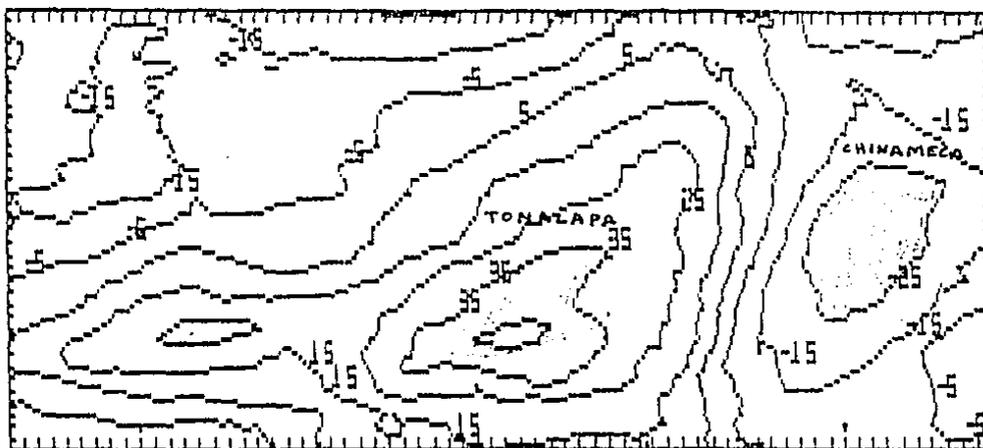
FIG. 36. CONFIGURACION DEL RESIDUAL CALCULADO CON 2 CIRCULOS DE PROMEDIACION DE RADIOS EN MULTIPLOS DE 3 000 M. CURVAS A CADA 5 U. G.. DATOS A CADA 500 M. AREA DE CHINAMECA, VER..



67, 36

0, 0

FIG. 37. CONFIGURACION DE LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL CALCULADA CON EL OPERADOR DE ELKINS, 1951, ECUACION 13. RADIOS DE PROMEDIACION EN MULTIPLOS DE 3 000 M. DATOS GRAFICADOS CADA 500 M. CURVAS A CADA 10 ($T^{-2} L^{-1}$). AREA DE CHINAMECA, VER..



67, 36

0, 0

FIG. 38. CONFIGURACION DE LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL CALCULADA CON EL OPERADOR DE ELKINS, 1951, ECUACION 14. RADIO DE PROMEDIACION EN MULTIPLOS DE 3 000 M. DATOS GRAFICADOS A CADA 500 M. CURVAS A CADA 10 ($T^{-2} L^{-1}$). AREA DE CHINAMECA, VER..

BS) ANALISIS GRAVIMETRICO DEL AREA TOTAL DE SAL SOMERA.

La totalidad del área objeto de esta Tesis cubre una superficie de 80 x 83 km., lo cual impidió un tratamiento análogo al utilizado en las regiones de Medias Aguas y Chinameca, Ver..

Aún cuando hubiera sido más exacto construir una malla de 160 x 166 datos con un equiespaciamiento de 500 m, por razones de tiempo no se pudo hacer así.

Se decidió digitalizar el plano de anomalía de Bouguer esc. 1 : 200 000, según se ha indicado en el subcapítulo de captura de datos.

Con la computadora HP-9000 del Instituto de Geofísica, fué posible crear dos archivos : uno guarda 4096 datos de gravedad correspondientes a una malla de 64 x 64 entradas, o sea un espaciamiento de 1250 x 1297 m; y otro guarda 10 000 datos de gravedad correspondientes a una matriz de 100 x 100 , o sea 800 x 830 m en el terreno. La representatividad de estas matrices es menor a la lograda en las áreas anteriores.

Estos archivos fueron trabajados en una P. C., con la salvedad de que los programas de interpolación de la HP-9000 ordenan los datos de manera diferente a como lo hace la P. C.. Para unificar los formatos de los archivos se construyó el programa ORDEN.BAS, anexo, que realiza la siguiente tarea :

C:\ORDEN.BAS Line 1 Col 1 Insert Indent Tab

```
' TOMA DATOS DE UN ARCHIVO DE Z  
' LOS ORDENA EN UNA MATRIZ X,Y,Z  
' DE NR RENGLONES Y NC COLUMNAS
```

```
open "ss64.red" for input as #1  
input #1,nr , nc  
print nr,nc  
dim z(nr,nc) , z2(32,32)  
'for k=1 to 22  
'input #1,z(1,k)  
'print z(1,k)  
'next k  
for i=1 to nr  
for j=1 to nc  
input #1,z(j,i)  
next j  
next i  
close #1
```

```
open "o",#2,"ssbou.lis"  
FOR I=1 TO nr
```

C:\ORDEN.BAS Line 47 Col 1 Insert Indent Tab

```
FOR J=1 TO nc  
write #2,i,j,z(i,j)  
next j  
next i  
close #2
```

```
for i=1 to nr/2  
for j=1 to nc/2  
z2(i,j)=z(2*i,2*j)  
next j  
next i
```

```
open "o",#1,"ssbou-2.lis"  
for i= 1 to 32  
for j= 1 to 32  
write #1,i,j,z2(i,j)  
next j  
next i  
close #1  
print , '***F I N***'
```

n datos de gravedad	ORDEN.BAS	Matriz (x,y,z) de
o z's		(n)1\2 renglones y
		(n)1\2 columnas

Del gran número de gráficas obtenidas, se presenta a continuación una selección, que muestra con mayor claridad el comportamiento de la gravedad en la región.

La FIG. 39 muestra la configuración de la anomalía de Bouguer esc. 1 : 200 000, utilizada como datos fuente.

La FIG. 40 muestra la anomalía de Bouguer, configurada por la P. C. La configuración de la porción NE enmarcada en rojo, no tiene como base datos reales, sino que fué incluida por la P. C. para tener un área regular. Esto es debido a las razones expuestas en el subcapítulo de captura de datos.

La FIG. 41 corresponde al isométrico de la anomalía de Bouguer.

La FIG. 42 muestra el residual calculado con dos círculos de promediación.

La FIG. 43 es el isométrico de este residual.

La FIG. 44 muestra la configuración de la segunda derivada calculada con el operador de Elkins, ecuación 13, de 1951, y la FIG. 45 es la obtenida con la ecuación 14.

La FIG. 46 es el isométrico de la FIG. 45.

La FIG. 47 corresponde al regional calculado con dos círculos de promediación, con radios de 2 500 y (5 000)^{1/2} m.

La FIG. 48 muestra el isométrico de este regional.

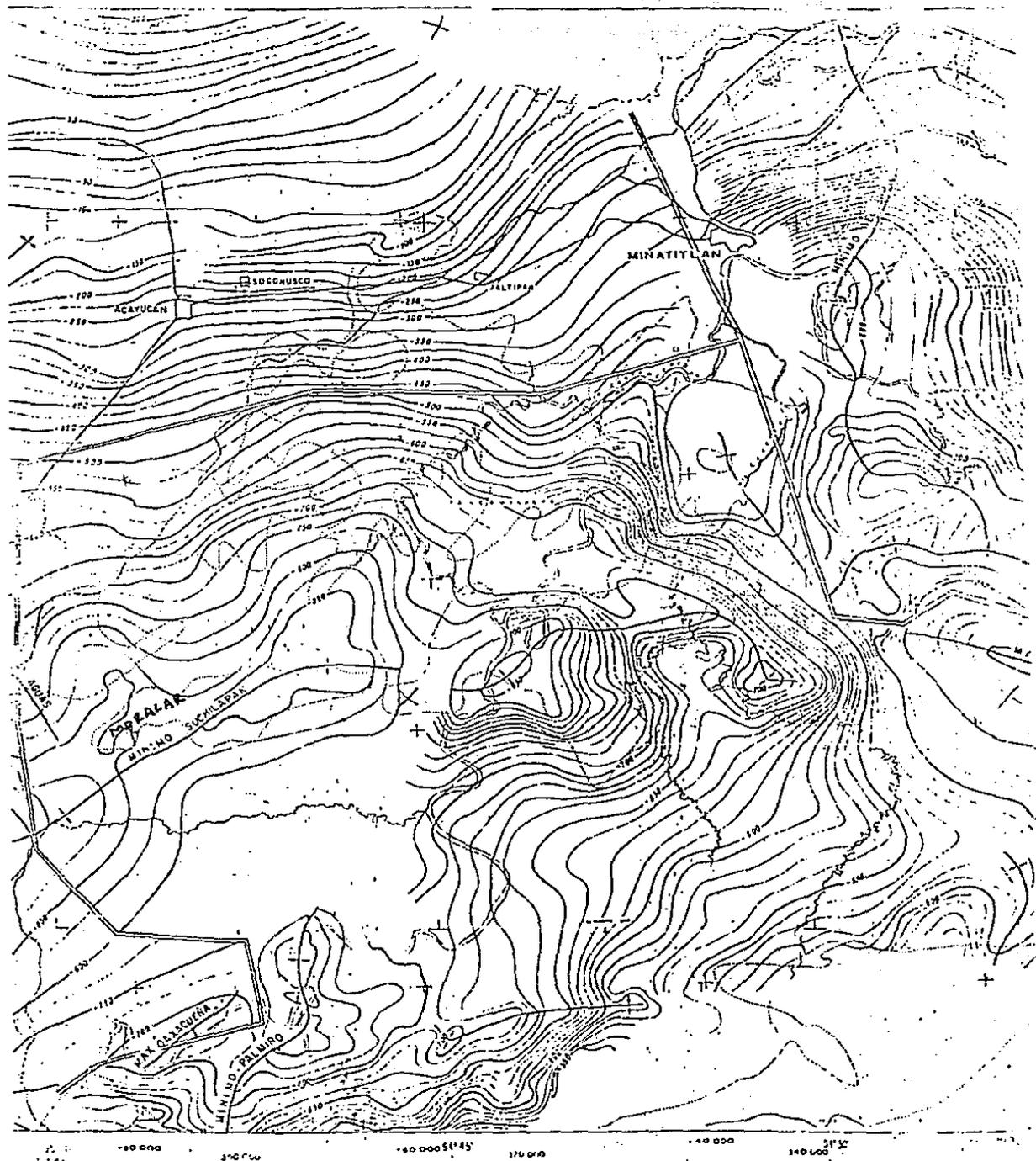
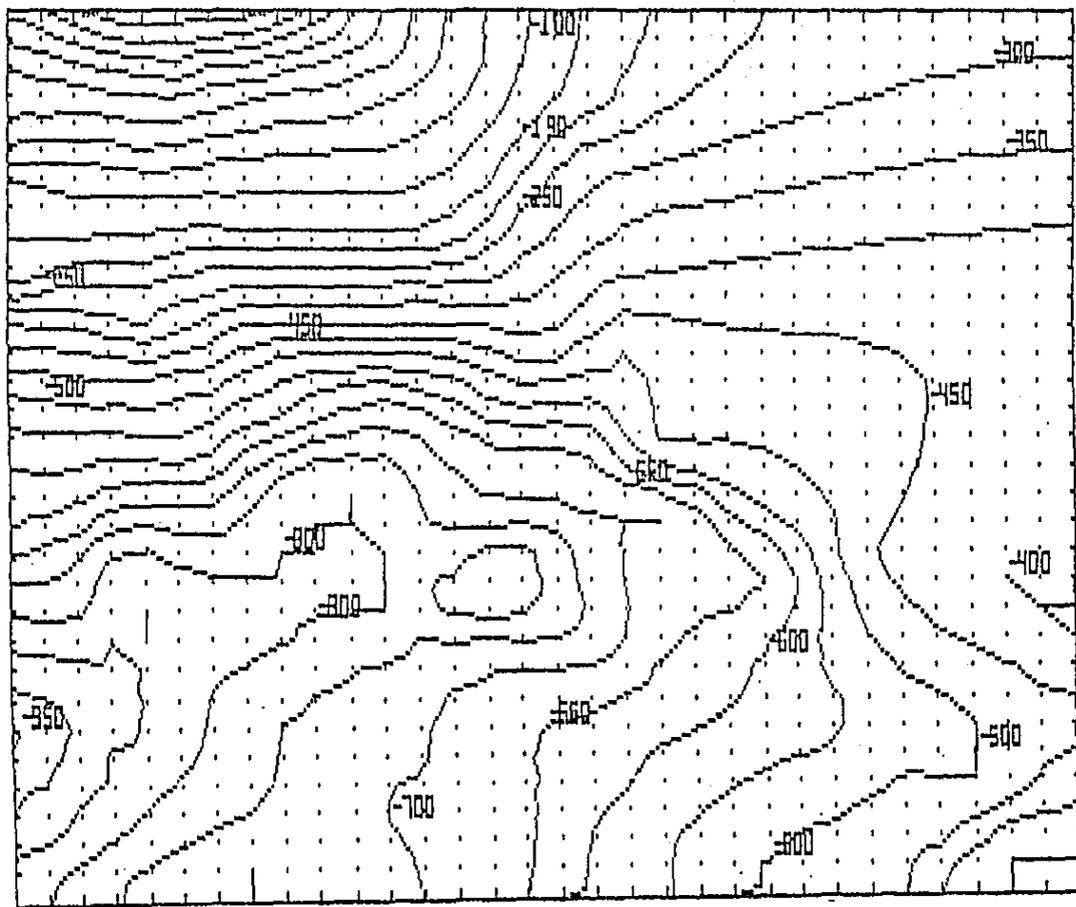


FIG. 39. CONFIGURACION DE LA ANOMALIA DE BOUGUER DE SAL SOMERA UTILIZADA COMO DATOS FUENTE. ESCALA ORIGINAL 1 : 200 000.



TE, TE

FIG. 40. ANOMALIA DE BOUGUER DE SAL SOMERA, VER. CURVAS A CADA 50 U. G.

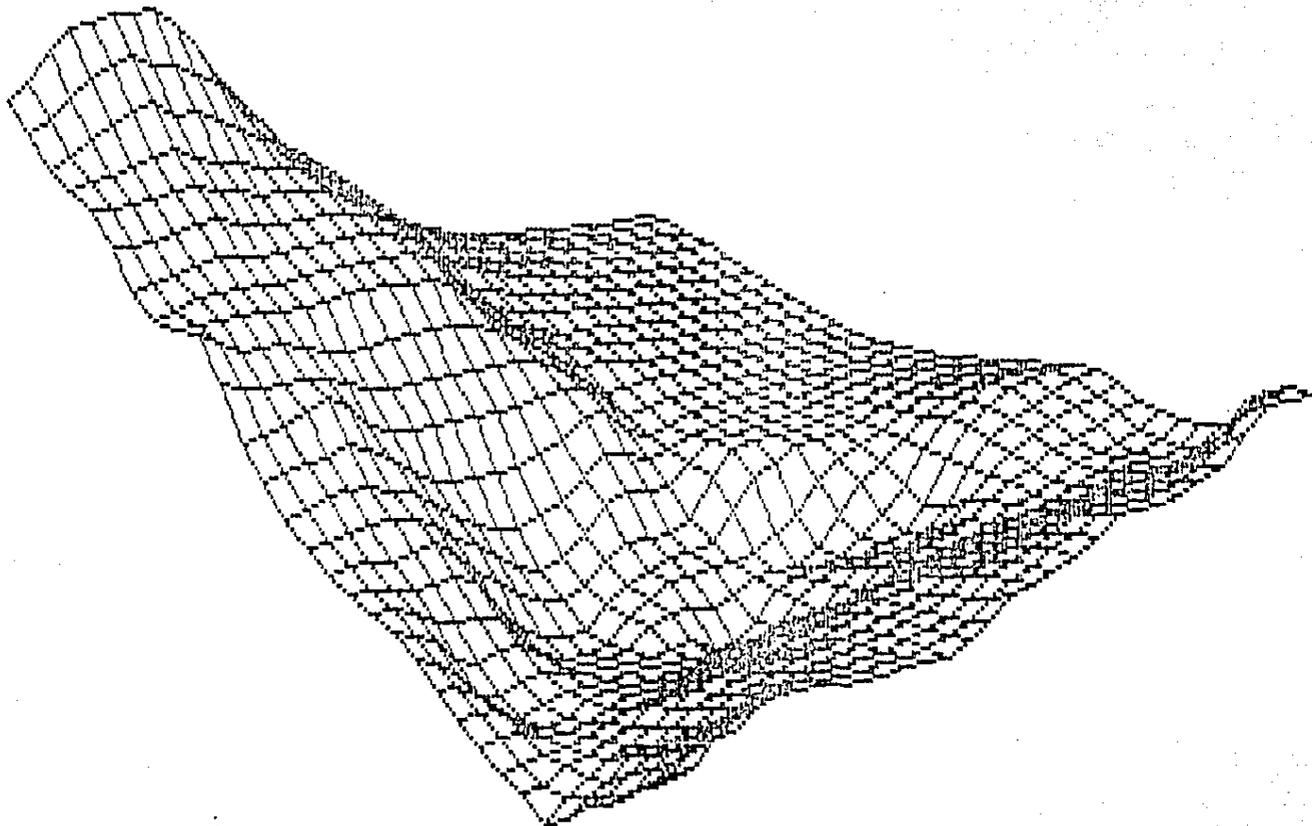
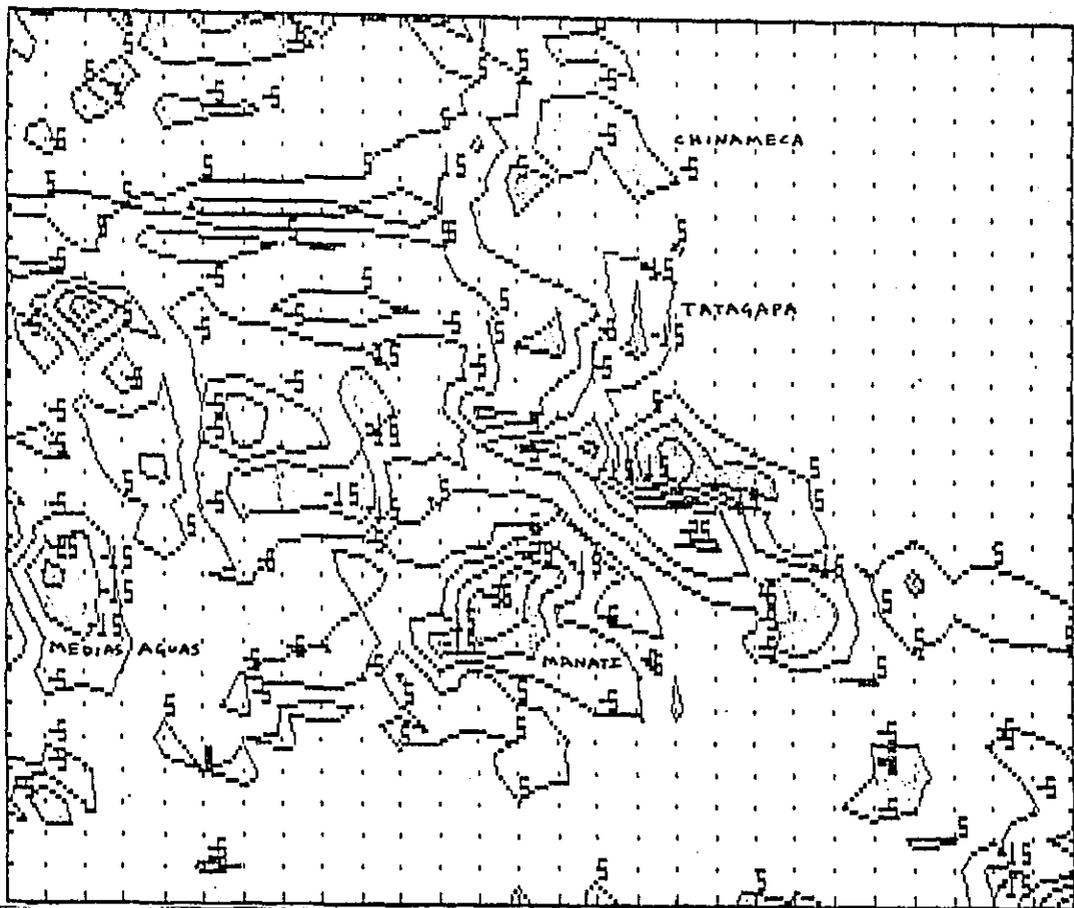
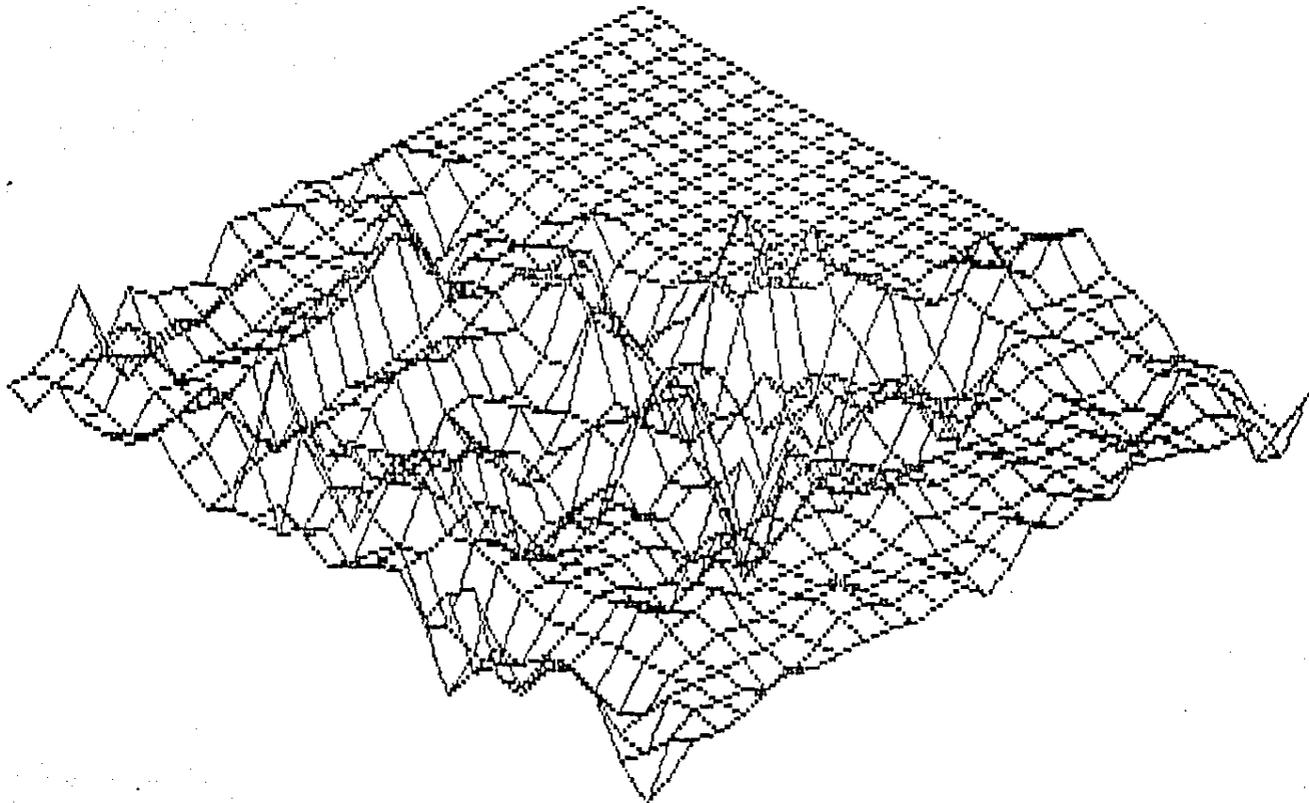


FIG. 41. ISOMETRICO DE LA ANOMALIA DE BOUGUER DE SAL SOMERA, VISTO DESDE LA ESQUINA SW HACIA LA ESQUINA NE, CON UN ANGULO DE OBSERVACION DE 40 GRADOS.



-FIG. 42. RESIDUAL DE SAL SOMERA, VER. CALCULADO CON 2 CIRCULOS DE PROMEDIACION DE REDIOS EN MULTIPLOS DE 2 500 M. CURVAS A CADA 10 U. G. DATOS A CADA 1250 M.



-FIG. 43. ISOMÉTRICO DEL RESIDUAL CALCULADO CON 2 CIRCULOS DE PROMEDIACION, VISTO DESDE LA ESQUINA SW HACIA LA ESQUINA NE, A UN ANGULO DE OBSERVACION DE 15 GRADOS.

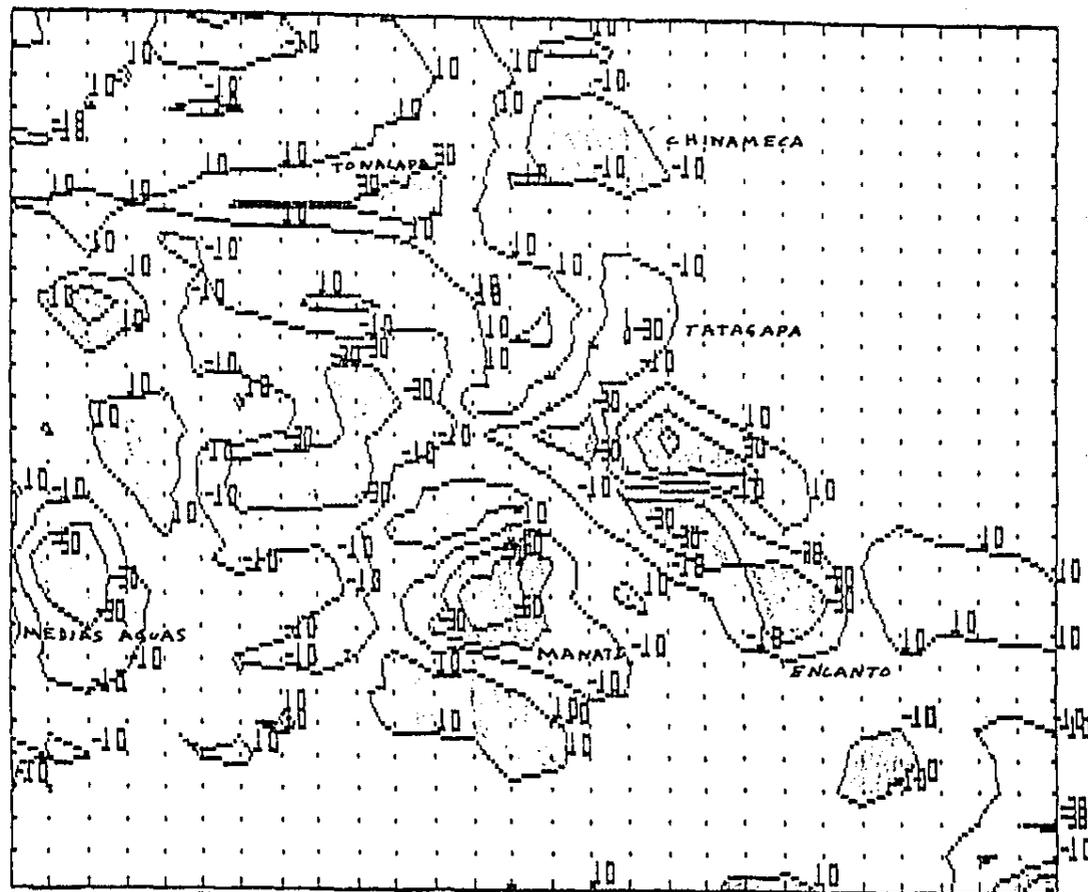
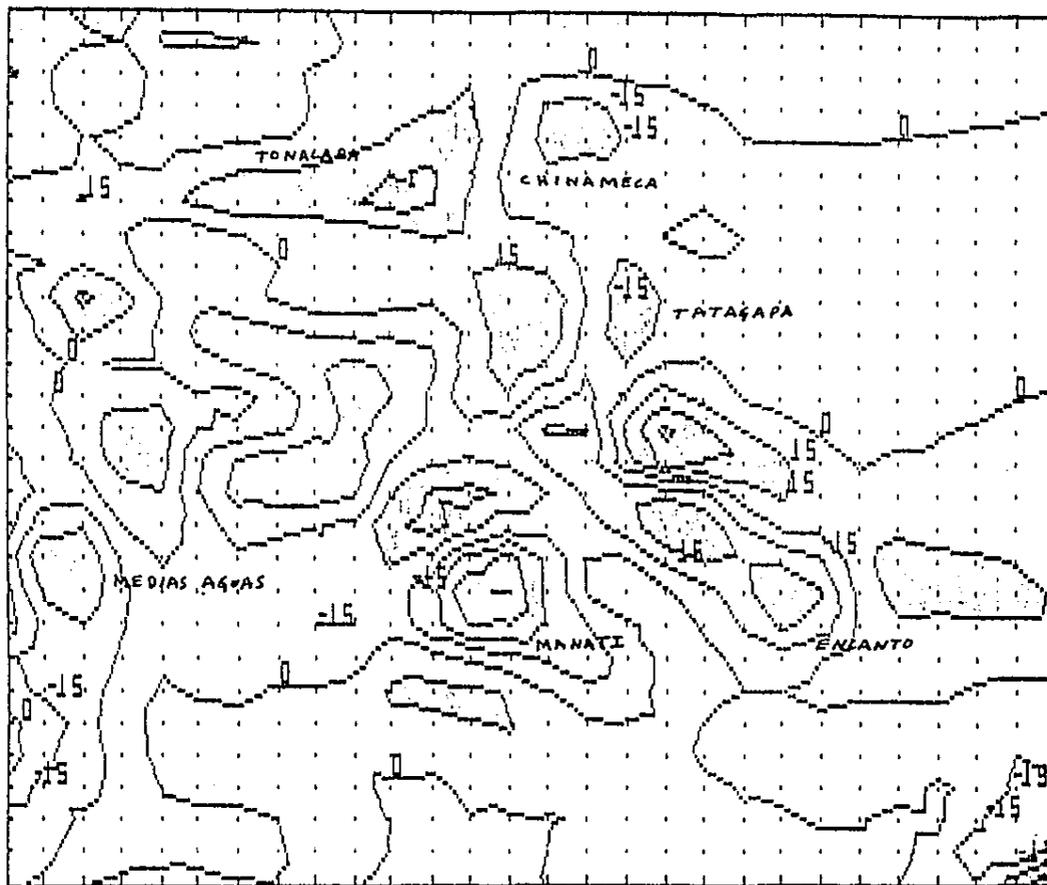


FIG. 44. SEGUNDA DERIVADA VERTICAL, CALCULADA CON EL OPERADOR DE ELKINS, 1951, ECUACION 13 CURVAS A CADA 20 ($T^{-2} L^{-1}$). AREA DE SAL SOMERA, VER..



• • •

FIG. 45. SEGUNDA DERIVADA VERTICAL CALCULADA CON EL OPERADOR DE ELKINS, 1951, ECUACION 14. CURVAS A CADA 15 ($T^{-2} L^{-1}$). DATOS A CADA 1 250 M.

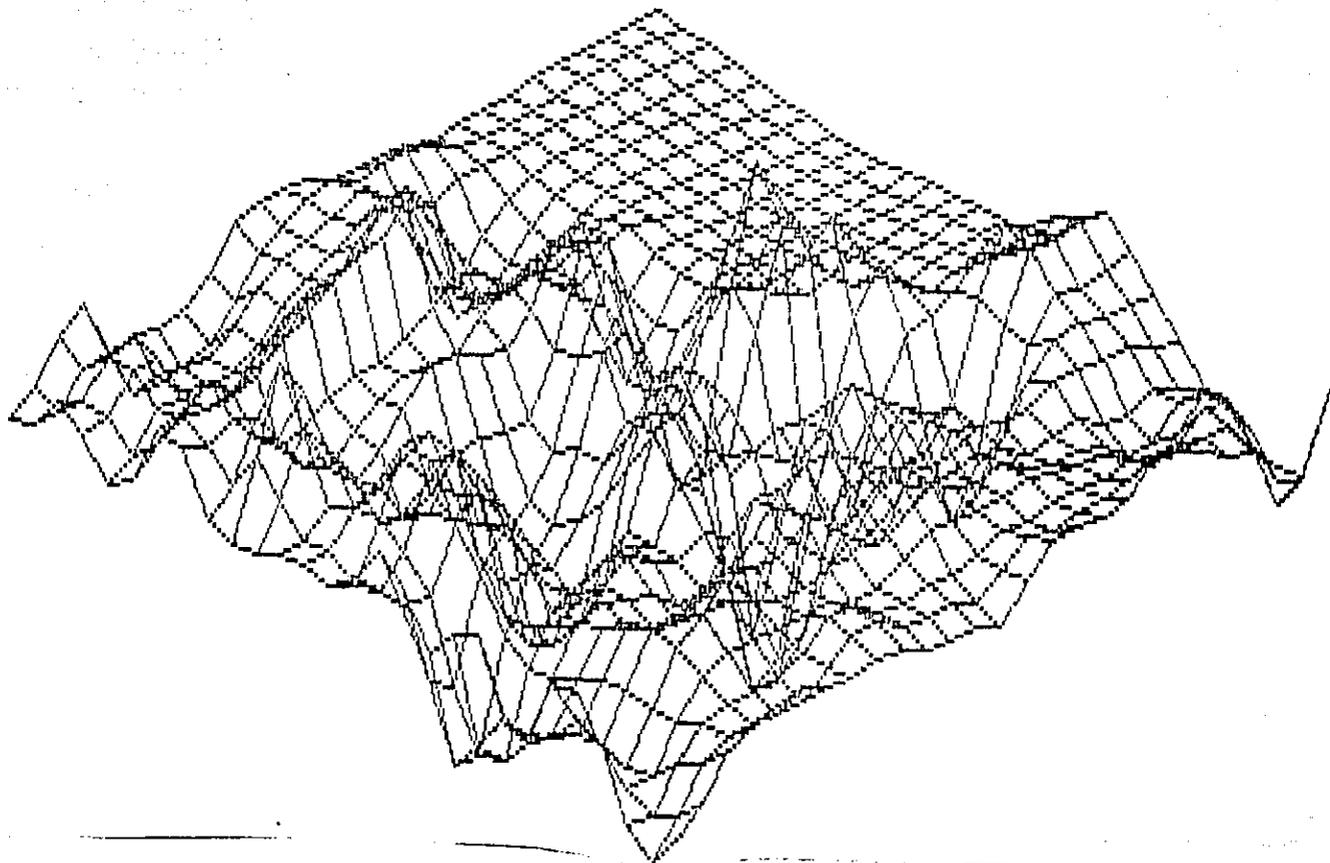


FIG 46. ISOMETRICO DE LA SEGUNDA DERIVADA VERTICAL DE ELKINS, 1951, ECUACION 14, VISTO DESDE LA ESQUINA SW HACIA LA NE, CON UN ANGULO DE OBSERVACION DE 15 GRADOS.

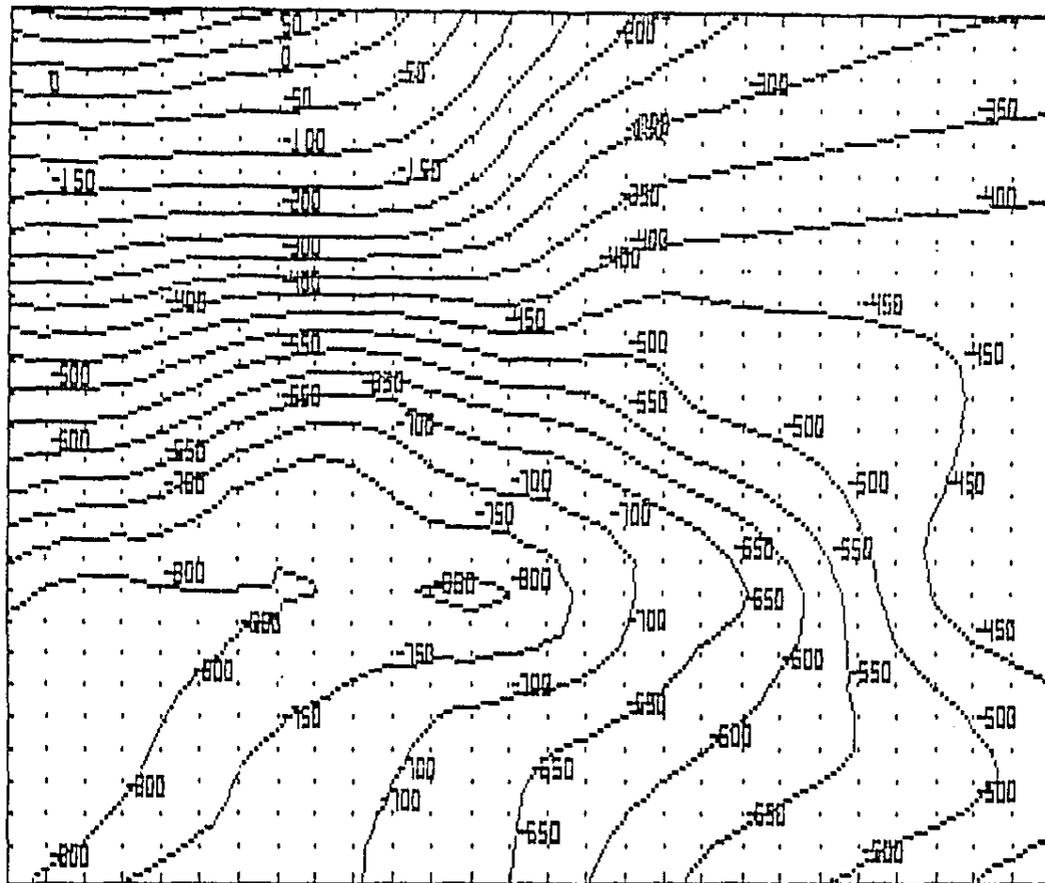


FIG. 47. REGIONAL DEL AREA DE SAL SOMERA, CALCULADO CON 2 CIRCULOS DE PROMEDIACION DE RADIO EN MULTIPLOS DE 2 500 M. CURVAS A CADA 50 U. G.

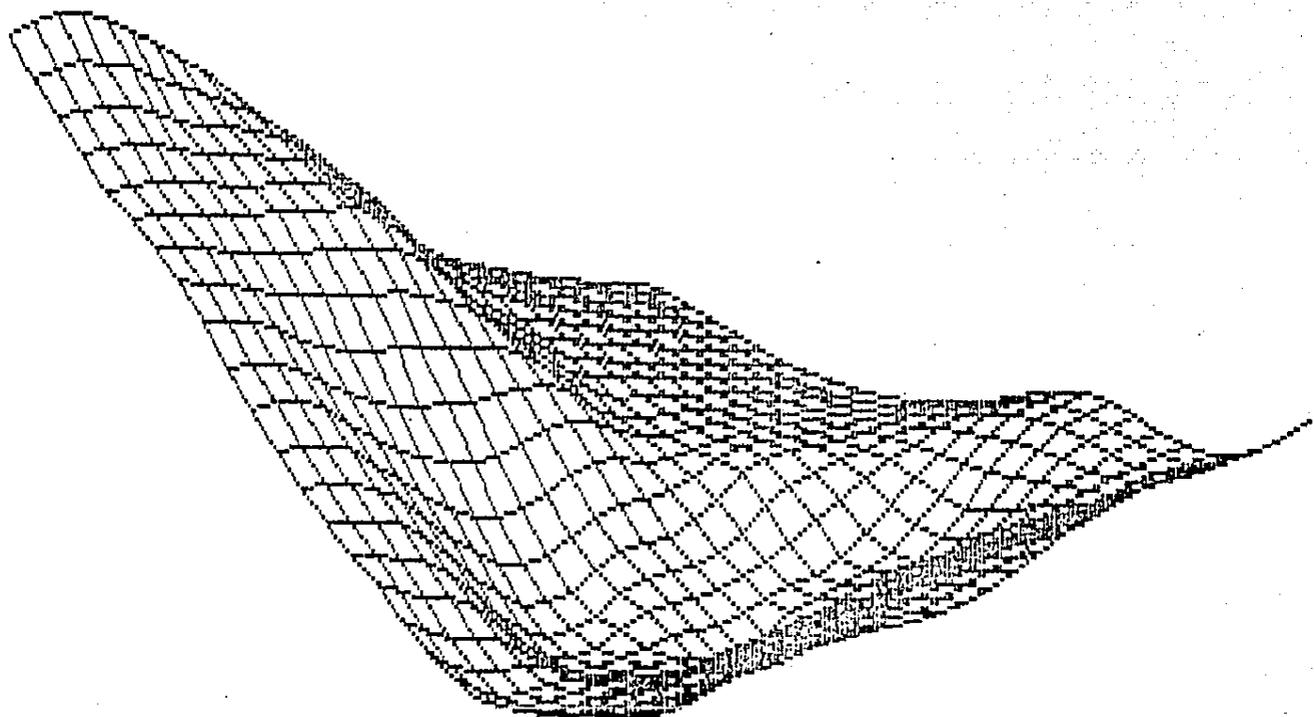


FIG. 48. ISOMETRICO DEL REGIONAL DE SAL SOMERA, VISTO DESDE LA ESQUINA SW HACIA LA NE CON UN ANGULO DE OBSERVACION DE 15 GRADOS.

CAPITULO IV. INTERPRETACION.

A) MODELADO GEOFISICO.

Tomando como base la información de las líneas sísmicas y de la gravimetría, se modelaron 3 secciones utilizando el programa MAGRA-1. La localización de los perfiles se escogió de tal manera que cortaran las anomalías gravimétricas determinadas al hacer la separación regional-residual; buscando que dentro de lo posible coincidieran con segmentos de los perfiles sísmicos; y procurando intersectar las estructuras geológicas mapeadas en superficie. La FIG. 49 muestra la localización de las tres secciones.

Las FIGS. 50 a 52 muestran los modelos gravimétricos 1, 2 y 3 respectivamente. En ellos se utilizó: una densidad promedio para la pila sedimentaria de 2.33; un contraste de densidad de -0.12 para los cuerpos salinos, con lo que se asignó a la sal y anhidrita una densidad media de 2.2; un contraste de densidad de +0.35 para el "cap-rock", dando una densidad media de 2.68; un contraste de densidad de +0.1 para el paquete sedimentario superior; y un contraste de densidad de +0.15 o mayor para el paquete sedimentario inferior, el cual no aparece configurado en toda la extensión de las secciones. Esto último es debido a que el programa MAGRA-1 maneja un máximo de 10 cuerpos por modelo.

En la parte superior de cada sección se presenta el ajuste logrado entre la anomalía de Bouguer y la respuesta teórica de cada modelo. El ajuste es bastante bueno y muestra de manera adecuada la presencia de los intrusivos salinos.

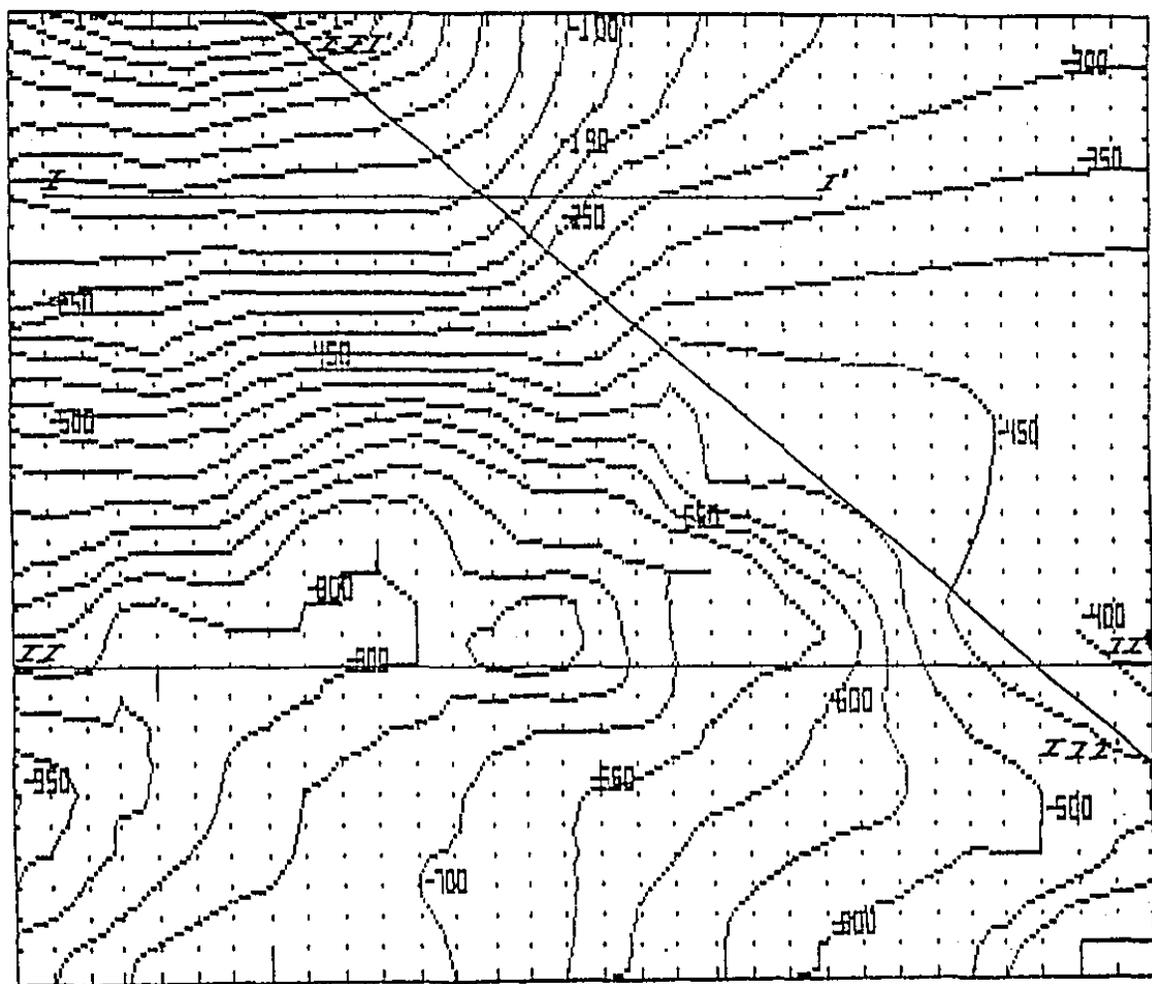


FIG. 49. PLANO DE LOCALIZACION DE MODELOS GRAVIMETRICOS.

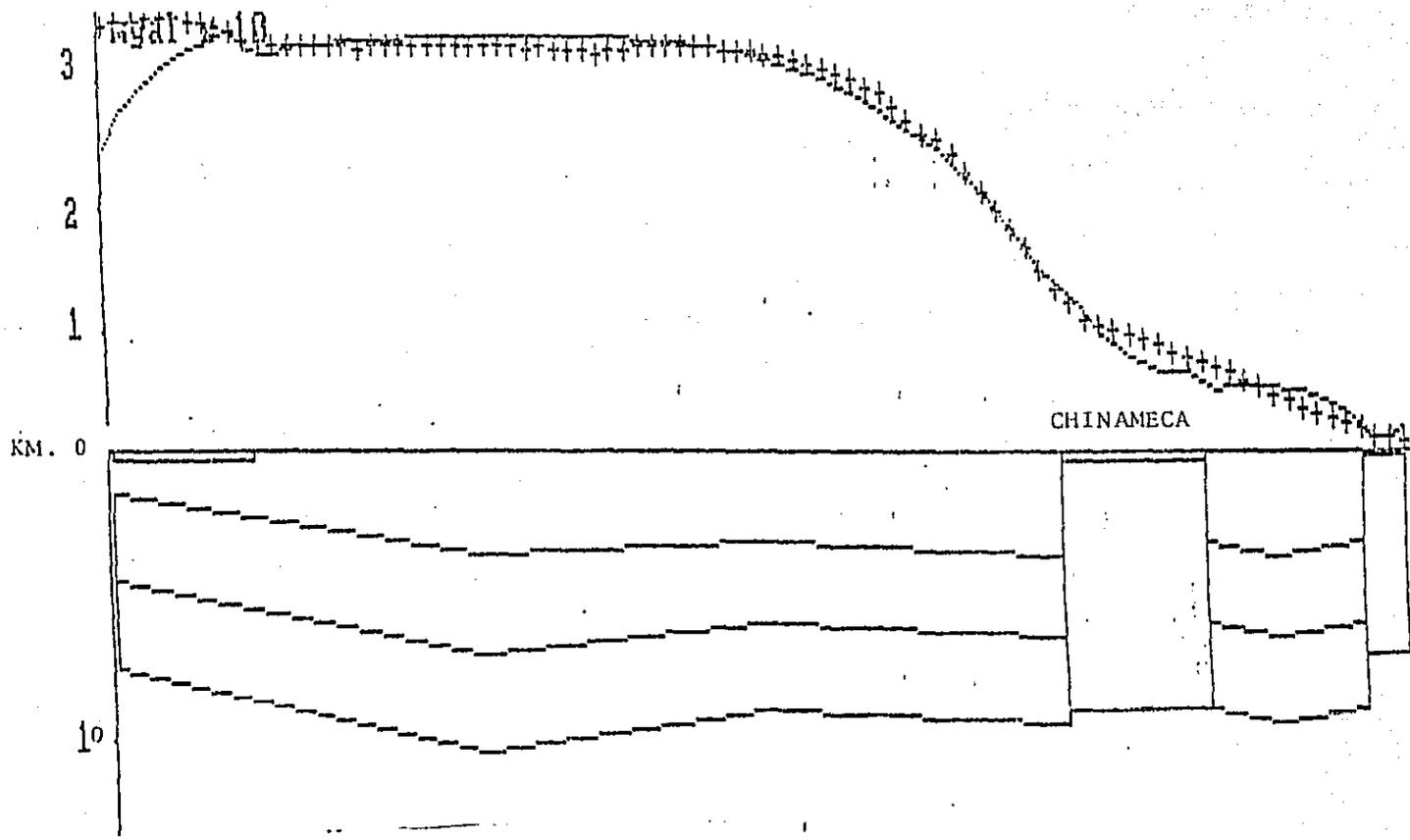


FIG. 50. MODELO GRAVINETRICO #1.

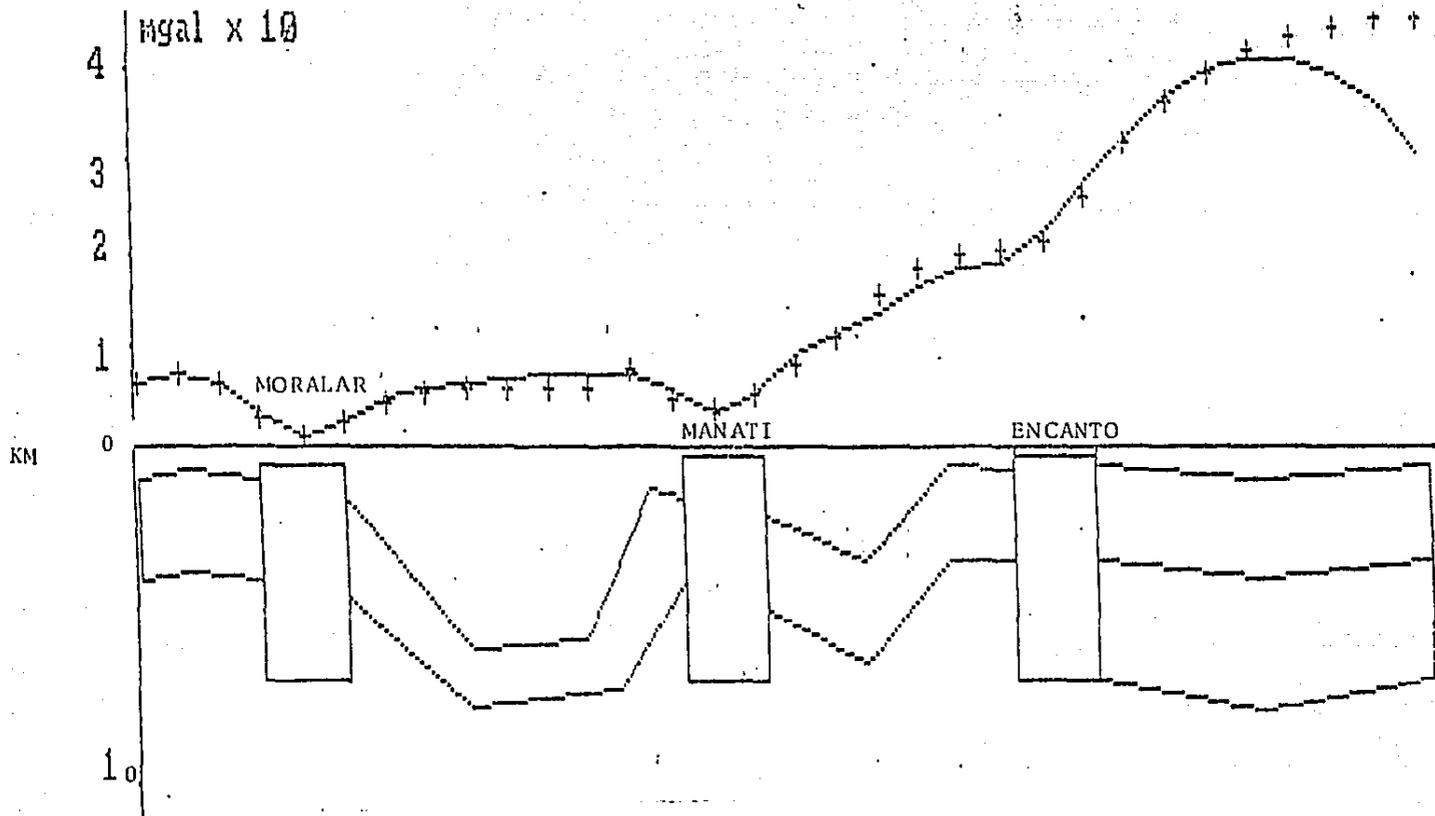


FIG. 51. MODELO GRAVIMETRICO # 2.

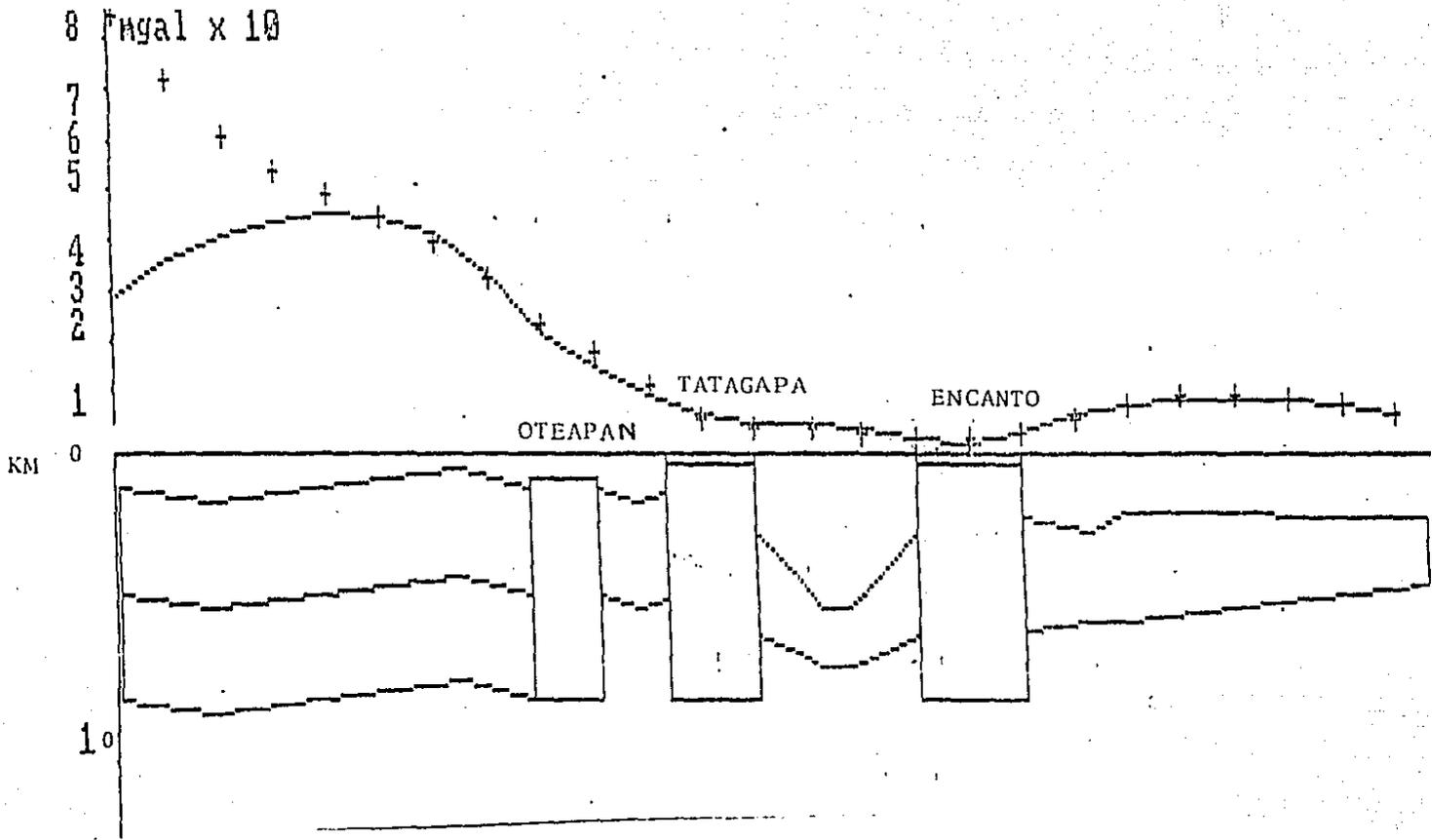


FIG. 52. MODELO GRAVIMETRICO # 3.

B) CONSIDERACIONES GEOLOGICAS.

De acuerdo al principal objetivo de esta tesis, a saber, enfocar aspectos de exploración con un interés económico para Petroleos Mexicanos, es pertinente señalar las consideraciones siguientes.

Las estructuras salinas de Sal Somera constituyen un buen objetivo económico. Algunas de ellas han sido perforadas en el pasado: Tonalapa, Chinameca, Manatí y Medias Aguas, sin haber tenido éxito.

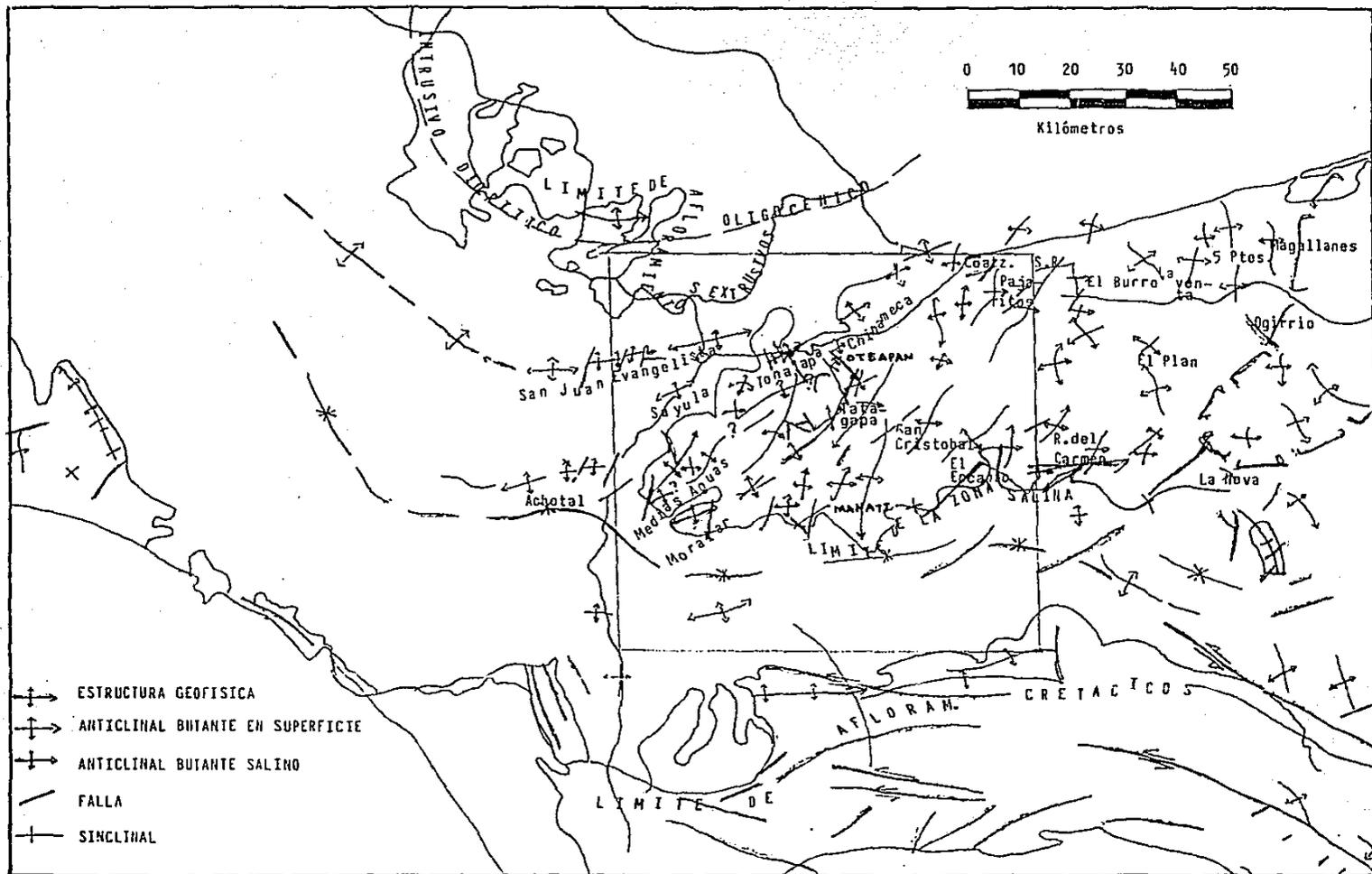
De las perforaciones más recientes en el área: Sal Somera - 1, Atepeña - 1 y 101, Solosuchil -1 y Michapan -1, únicamente la primera de ellas tuvo un objetivo asociado al cuerpo salino. Las demás perseguían alcanzar rocas mesozoicas, sin relación a la geometría de la sal.

Es nuestra opinión que las formaciones terciarias Depósito y Encanto, existen en todo Sal Somera y que análogamente a las áreas del Depósito, Filisola, Concepción, etc. tienen la potencialidad de almacenar hidrocarburos en escala comercial. De tal manera, las areniscas y tobos de Depósito y Encanto, así como las rocas brechadas del "cap-rock" constituyen los objetivos petroleros inmediatos en la zona.

Las rocas jurásicas de la fm. Chinameca tienen características de generadoras, tanto en los afloramientos del Domo del mismo nombre como en la Sierra de Chiapas.

Basándose en la historia geológica de esta porción del Golfo de México, la formación Chinameca debe existir bajo Sal Somera, cubierta por un gran espesor de rocas mesozoicas y terciarias. Su depósito fué posterior al de la sal, de manera que originalmente

FIG. 53. PLANO TECTONICO DE LA REGION DE SAL SOMERA VER.



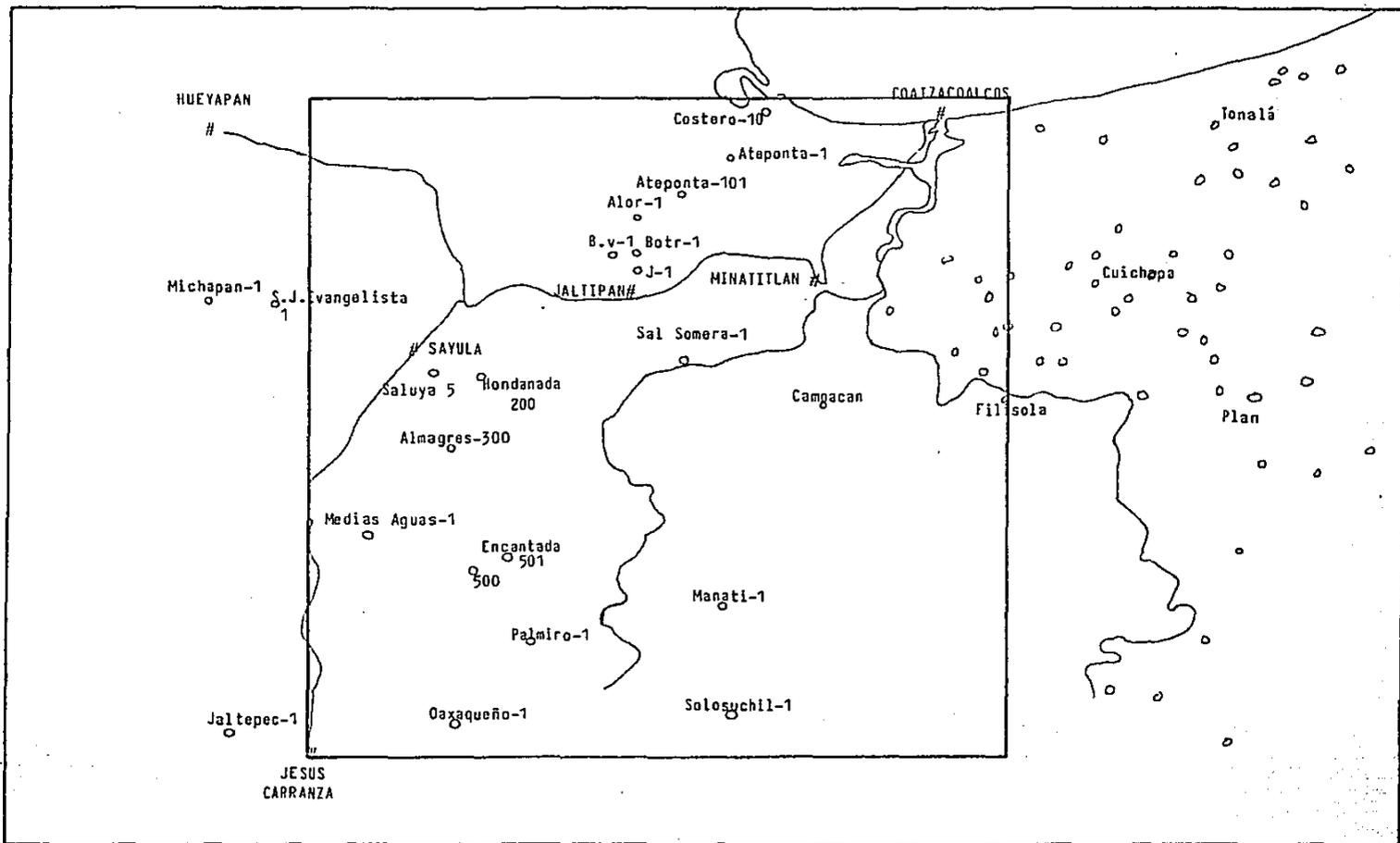


FIG. 53. PLANO DE LOCALIZACIÓN DE POZOS EXPLORATORIOS.

la sobreyacia. El movimiento halocinético salino, intrusiónd las capas jurásicas de la fm. Chinameca, creando los conductos para la migración de hidrocarburos provenientes de ella.

Con lo anterior se está recalcando la existencia regional, tanto de las rocas generadoras como de las almacenadoras, hecho además probado en los campos petroleros geográficamente inmediatos.

Las lutitas del Mioceno Tardío, formación Concepción Inferior, junto con la masa salina, constituyen la combinación que funciona como sello.

Resta determinar las estructuras que hayan sido susceptibles de entrapar hidrocarburos.

La siguiente lista jerarquiza las estructuras salinas, en orden de mayor a menor importancia, (ver planos y secciones anexas) :

i) OTEAPAN.

La semejanza entre la geología mapeada en el Campo Filisola, localizado a unos 30 Km hacia el SE, y la del área al sur de Oteapan y Cosoleacaque, Ver., ubican a esta estructura como prioritaria.

En superficie se presenta como un anticlinal de rumbo SW-NE, fallado en su porción media, FIG. 55. Está bordeado al SE por un sinclinal periférico secundario, en cuyo eje aflora la fm. Filisola y al NW por los sinclinales periféricos de las estructuras de TONALAPA y CHINAMECA.

En la sección III-III aparece la configuración de esta estructura, FIGS. 52 y 58.

Aún cuando no se dispuso del apoyo indirecto, gravimétrico o sísmológico, que hubiera definido sin ninguna duda la estructura

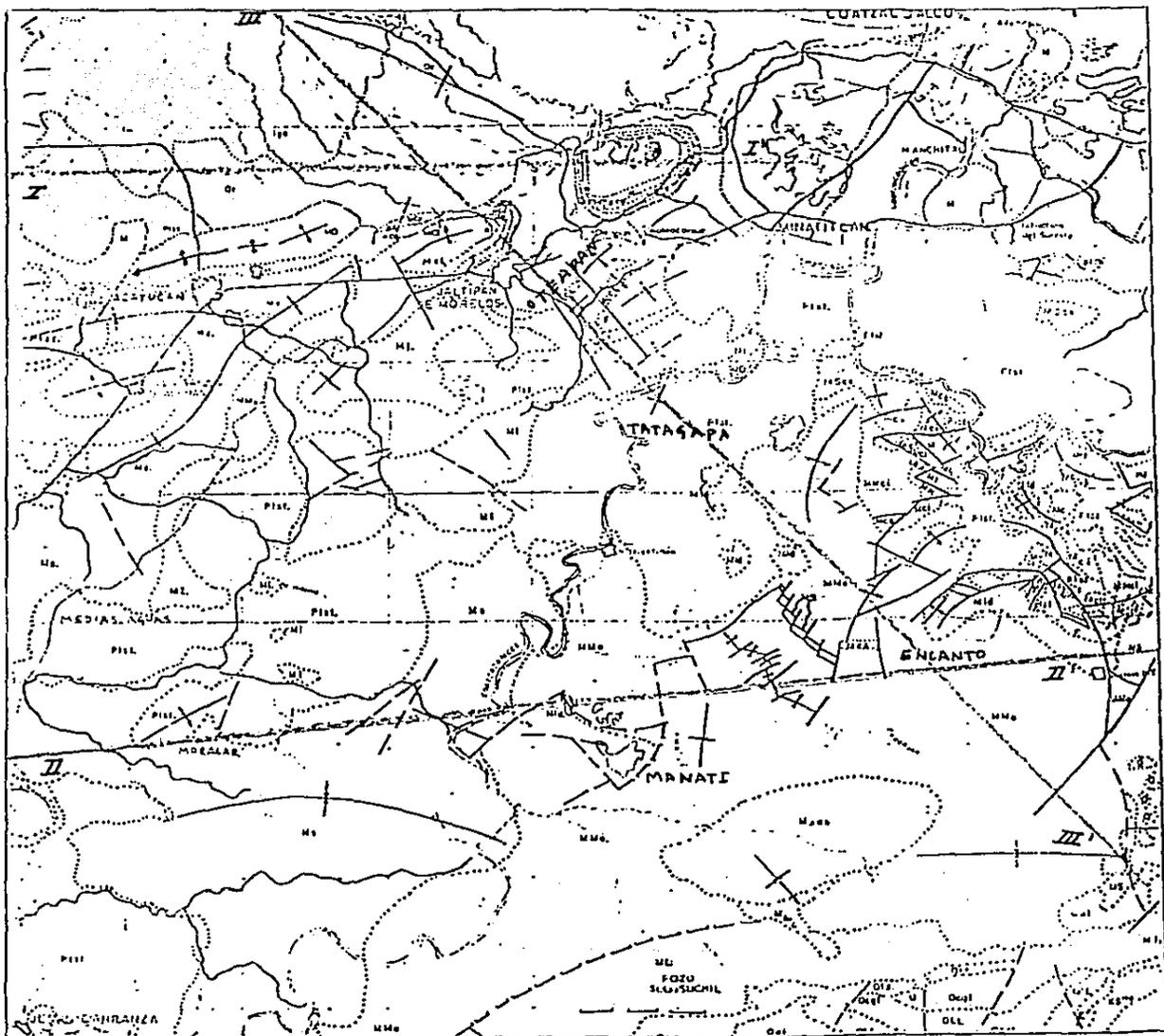
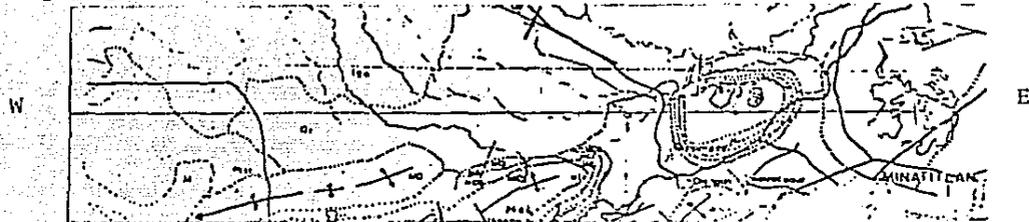
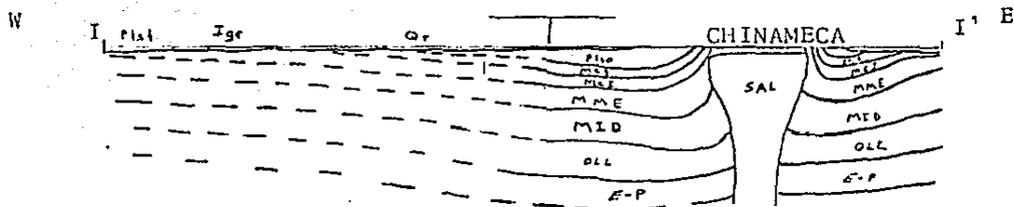


FIG. 55. PLANO DE LOCALIZACION DE SECCIONES GEOLOGICAS.

SECCION GEOLOGICA I - I'

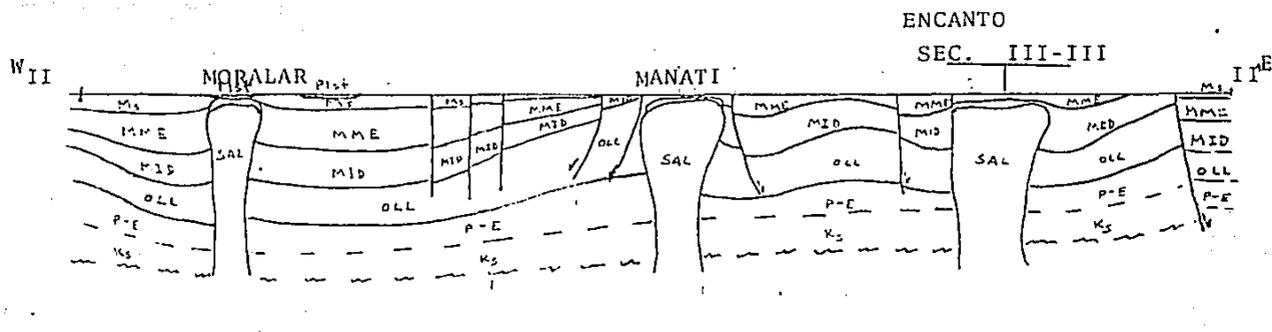
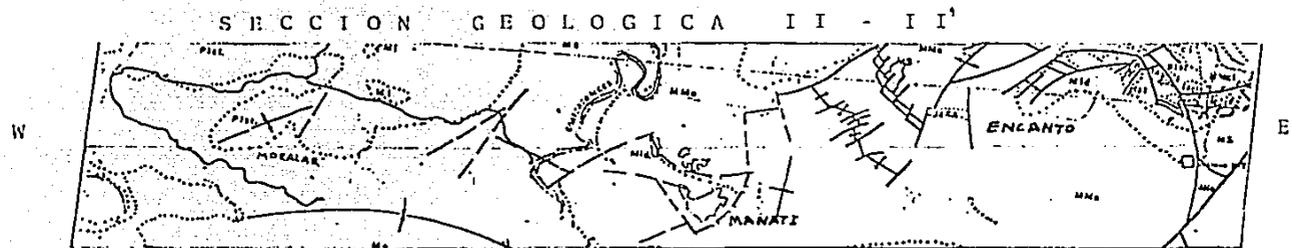


SEC. III-III



Plst	Pleistoceno Indiferenciado
Ige	Igneo Extrusivo
Qr	Cuaternario Residual
Plio	Plioceno Indiferenciado
MCS	Fm. CONCEPCION SUPERIOR
MCI	Fm. CONCEPCION INFERIOR
MME	Fm. ENCANTO
MID.	Fm. DEPOSITO
OLL	Fm. LA LAJA
E-P	Eoceno - Paleoceno Indiferenciado

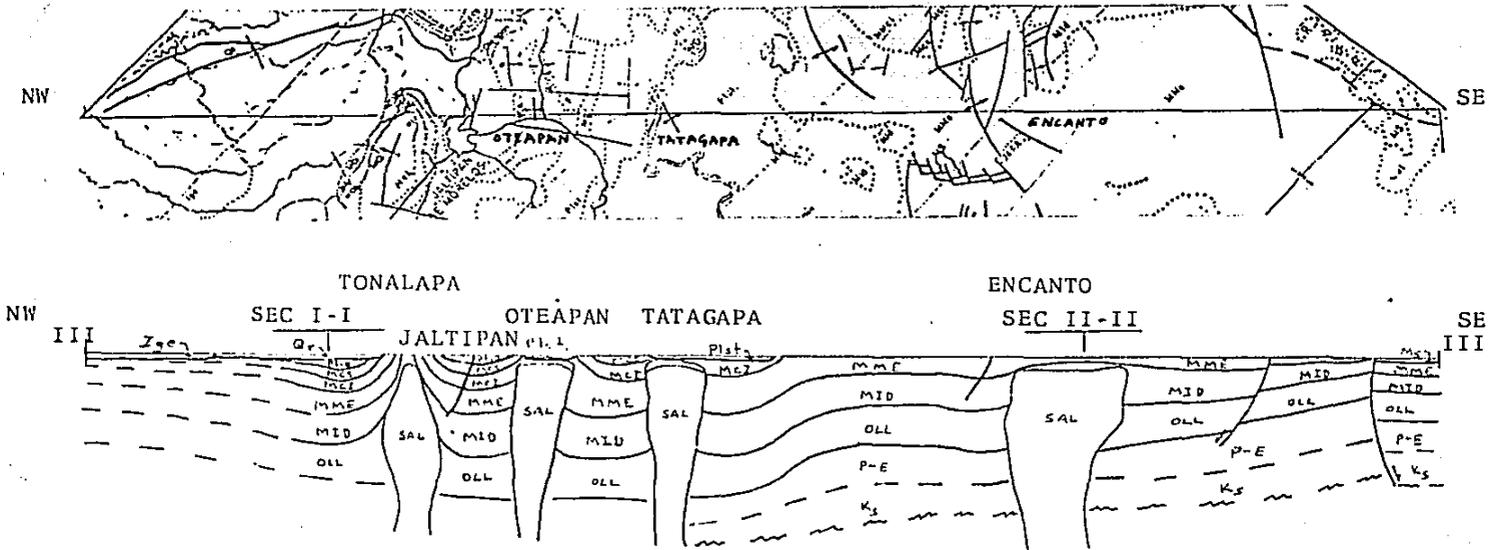
FIG. 56. SECCION GEOLOGICA I-I'.



- | | |
|------|---------------------------------|
| Plst | Pleistoceno Indiferenciado |
| NS | Mioceno Superior Indiferenciado |
| MME | Fm. Encanto |
| MID | Fm. Deposito |
| OLL | Fm. La Laja |
| P-E | Paleoceno Eoceno Indiferenciado |
| Ks | Fm. Mendez |

FIG. 57. SECCION GEOLOGICA II - II'.

SECCION GEOLOGICA III - III



Igce	Igneo Extrusivo
Qr	Cuaternario Residual
Plst	Pleistoceno Indiferenciado
Plio	Plioceno Indiferenciado
MCS	Fm. Concepcion Superior
MCI	Fm. Concepcion Inferior
MME	Fm. Encanto
MID	Fm Deposito
OLL	Fm. La Laja
P-E	Paleoceno Eoceno Indiferenciado

Ks Fm. Mendez

FIG. 58. SECCION GEOLOGICA III- III.

salina de OTEAPAN, se considera que un pozo exploratorio, de 2500 m de profundidad, cortaría tanto a la fm. Encanto como a Depósito y al "cap-rock".

Para reducir el riesgo estructural, único existente en este caso, basta con correr 2 líneas sísmicas de dirección NW-SE, con una longitud de 8 km cada una y localizadas según se muestra en la FIG. 55.

Es importante que al procesar ambas líneas, se resalten los reflectores a menos de 2 seg. y no los profundos.

ii) TATAGAPA.

La única diferencia entre esta estructura y las de OTEAPAN y FILISOLA, consiste en que ocurre en una zona mapeada como Pleistoceno Indiferenciado, lo cual enmascara la geología superficial, FIG. 55. Sin embargo, a diferencia de la anterior, esta estructura da una respuesta gravimétrica muy clara, (ver FIGS. 42, 44 y 45).

En superficie aparece como un pequeño domo, ligeramente alargado en dirección SW-NE; FIG. 55.

La interpretación de TATAGAPA puede verse en las FIGS. 52 y 58.

Una línea sísmica de 8 km, recorrida según se muestra en la FIG. 55, aumentaría las probabilidades de éxito al perforar un pozo exploratorio de 2 500 m de profundidad. El objetivo es alcanzar a las formaciones Encanto y Depósito, así como al "cap-rock".

iii) ENCANTO.

La presencia de esta estructura se hace sentir tanto geológica

como geofísicamente : ver perfiles sísmicos # 87 y #106, en FIGS. 12 y 14; planos gravimétricos de las FIGS. 42 y 45 y plano geológico en la FIG. 55.

En el perfil sísmico de la FIG. 12, se observan reflectores sobre el cuerpo salino, que resultan económicamente importantes.

En las FIGS. 51, 52, 57 y 58 se muestra la interpretación de ENCANTO.

El factor de riesgo en este caso es la posible inexistencia de la roca sello, ya que en esta área aflora la fm. Encanto y la fm. Depósito lo hace inmediatamente al NE, en el núcleo de la estructura.

Resulta práctico, antes de decidir entre realizar un sondeo exploratorio directamente sobre o bien flanqueando el diapíro salino, el efectuar un caminamiento geológico en el área.

En cualquier caso, la perforación no necesita ser mayor a los 2 500 m.

iv) MORALAR.

En MORALAR se tienen todas las condiciones geológicas y geofísicas que hacen sumamente atractivo el explorarla directamente.

En superficie corresponde a un anticlinal buzante, o domo alargado en dirección SW-NE, con una falla en su porción NE. FIG. 55.

Sobre su eje aflora Pleistoceno Indiferenciado, pero aparece rodeado por Mioceno Superior, lo cual permite suponer que Concepción Inferior sella la estructura, al menos lateralmente.

Un poco hacia el NE aflora Mioceno Inferior, hecho que introduce

un factor de riesgo.

Las FIGS. 7 y 8, perfiles sísmicos # 25 y # 101, y la FIG. 25, dan respectivamente la respuesta sísmica y gravimétrica de MORALAR.

La interpretación estructural se puede observar en las FIGS. 51 y 57.

El flanco SE de MORALAR ya ha sido explorado directamente por los pozos Encantada - 500 y -501, con resultados negativos. Sin embargo, es bien sabido que los campos petroleros en los flancos de intrusiones salinas, casi siempre han sido encontrados como resultado del desarrollo de los yacimientos en o sobre el "cap-rock".

Una perforación sobre la estructura de MORALAR tendría como riesgo principal el no encontrar roca sello; pero en el flanco NW, de acuerdo a la línea sísmica # 108, FIG. 9, se perseguiría un doble objetivo: entrapamientos en el sinclinal periférico secundario, en las formaciones Encanto y Depósito, selladas por la sal y por el Mioceno Tardío; y entrapamientos en el sinclinal periférico primario, o estructura en tortuga, a unos 3 seg. de profundidad, en rocas quizá del Eoceno.

La profundidad del pozo exploratorio en este caso sería mayor, de unos 6 000 m, y habría que probar tanto las formaciones superiores como las inferiores.

v) MANATI.

Se desconocen las razones que indujeron las perforaciones de los pozos Manati -1, y Manati Sur -1 y -2, bastante al sur de la

estructura salina; pero es casi seguro que su perforación no estuvo relacionada a la existencia del diapíro salino.

En esta área aparece mapeado un bloque delimitado por fallas normales, FIG. 55, aflorando dentro de él, el Mioceno Inferior Depósito y fuera de él, Mioceno Medio Encanto. Además dentro del bloque se ubica la Laguna de Manatí, que puede señalar el colapso de una cúpula salina.

Aquí no se cuenta con sismología de buena calidad.

La respuesta gravimétrica de MANATI es clara, FIGS. 42, 44 y 45, aún cuando es de una amplitud desproporcionadamente grande, señal de que está mezclada a otras causas diferentes de la sola presencia de sal.

Sobre MANATI se carece de sello; pero en sus flancos W y E, especialmente el E, la formación Depósito ha de encontrarse sellada lateralmente por la sal.

La interpretación estructural se muestra en las FIGS. 51 y 57.

Un pozo exploratorio, localizado inmediatamente al E de la cúpula salina de MANATI tendría una profundidad máxima de 2 500 m, para alcanzar el objetivo, fm. Depósito.

El principal factor de riesgo es el sello.

Resulta claro que la mayoría de las estructuras analizadas, se ubican hacia los bordes de Sal Somera, lo cual coincide con la existencia de perfiles sísmicos con resolución.

La gravimetría señala la existencia de mínimos, que se deben a cuerpos salinos hacia el centro de Sal Somera; pero las extensas zonas cubiertas por Pleistoceno, enmascaran la geología.

Por ahora se considera suficiente el analisis estructural efectuado. El buen resultado de los sondeos exploratorios propuestos, y esperamos que aprobado(s), motivara realizar trabajos posteriores, cuyo objetivo sea la porcion central de Sal Somera y la determinacion de estructuras profundas, asociadas a los sinclinales perifericos primarios.

CAPITULO IV. METODOLOGIA PARA FUTUROS TRABAJOS A DETALLE.

Son varias las causas principales debido a las cuales un pozo exploratorio puede resultar seco :

- i) Por una mala interpretación de la estructura geológica.
- ii) Por la inexistencia de rocas almacenadoras comerciales.
- iii) Porque nunca existió carga de hidrocarburos.
- iv) Porque los hidrocarburos se fugaron.

En México no se dispone de las estadísticas que señalen la causa principal del fracaso de un pozo. Sin embargo y a manera de ejemplo, se puede mencionar que la mala interpretación estructural fué la principal causa de que el pozo Michapan-1 resultara seco y la inexistencia de rocas almacenadoras lo fué en el caso del pozo Sal Somera -1.

Para reducir el riesgo en las perforaciones exploratorias es indispensable que exista una mayor comunicación entre los departamentos de interpretación geológica y geofísica así como, en ciertos casos, correr líneas sísmicas adicionales antes de perforar. Asimismo debe hacerse más flexible el criterio de exploración, adecuándose a las características y necesidades de cada región.

Dado que dentro de la Cuenca Salina del Istmo, las estructuras actualmente alcanzables por la barrena, están asociadas a los cuerpos intrusivos salinos y puesto que las dimensiones en planta de los diapíros y muros puede variar entre 1 y 30 km o más,

resulta claro que para poder determinar con certeza las formas salinas presentes en el subsuelo, es necesario que el espaciamiento entre líneas gravimétricas sea determinado en base a la frecuencia de Nyquist. Esto quiere decir que si se desea determinar gravimétricamente todas las estructuras salinas con un diámetro mayor o igual a 1.5 km, el espaciamiento entre líneas debe ser a lo más de 0.75 km y las lecturas en cada línea deben efectuarse a cada 0.75 km también.

En el área bajo consideración, se sabe que la mayoría de las estructuras de interés ya han sido ubicadas, aún cuando los datos gravimétricos disponibles permiten localizar únicamente las estructuras con diámetro de 10 km o mayores. Sin embargo resulta notable el que la gran mayoría de las anomalías gravimétricas quedan localizadas precisamente entre las líneas, siendo muy raro que una caminamiento corte una anomalía. Esto implica que al efectuar trabajos cuantitativos en base a la anomalía de Bouguer se está trabajando principalmente con anomalías creadas en el proceso de interpolación. Resulta obvio que es necesario recorrer las zonas anómalas con caminamientos adecuados.

Para conocer la forma y dimensiones detalladas de cada estructura geológica dentro de Sal Somera, es imprescindible correr líneas radiales a partir del centro de cada estructura, abarcando en cada línea una longitud bastante mayor al diámetro sospechado, ya que al efectuar el análisis posterior los datos de los extremos son eliminados o no pueden ser incluidos como puntos en los cuales calcular los "residuales".

Una metodología de trabajo confiable en un alto porcentaje debe incluir :

- i) Obtención de los datos gravimétricos con un espaciamiento adecuado a las dimensiones de las estructuras que se desee determinar.
- ii) La obtención de la configuración de la "Anomalía de Bouguer" no como resultado de aplicar una serie de correcciones gravimétricas simultáneas, sino aplicando cada corrección separadamente y configurando los valores de gravedad obtenidos cada vez.

En relación al punto ii), la obtención del plano gravimétrico más representativo de la geología de una zona dada, debe hacerse por pasos:

Primero deben configurarse los datos de gravedad medidos en el campo y comparar este plano con la geología. A los datos de gravedad medida, se les hace una única corrección, aire libre por ejemplo, y se vuelve a configurar esta gravedad corregida por aire libre, #1. Se observa si la corrección produce una mejoría al hacer la correlación entre la geología conocida y la configuración de la gravedad. En caso afirmativo, se aplica otra corrección, por ejemplo placa de Bouguer, a la gravedad corregida #1, con lo cual se obtiene un plano de gravedad corregida, de Bouguer, #2. En caso negativo, se desecha esta corrección.

La gravedad "de Bouguer" se corrige por topografía, con lo cual se obtiene una gravedad "de Bouguer total", que se vuelve a comparar con las anteriores, desechándola o considerándola como una mejoría real. La gravedad de "Bouguer Total" puede ser corregida por isostacia, obteniendo otra configuración de gravedad. La última corrección que se puede aplicar o no,

dependiendo de su efecto sobre los datos de gravedad, es la de reducir a un mismo nivel todas las medidas gravimétricas, puesto que según las dos tendencias actuales las gravedades medidas ya están o no lo están, reducidas a un nivel de referencia dado, al aplicar la corrección por altura.

Al efectuar cada corrección de manera separada se obtiene una serie de planos gravimétricos, #1, #2, #3, etc. y se está en posibilidad, de trabajar con todos ellos o de seleccionar entre ellos el que refleje mejor las características geológicas. En su caso, el mejor de estos planos es tomado como "configuración gravimétrica base" y a partir de él se efectúan todos los análisis cuantitativos pertinentes.

iii) El análisis detallado de la "anomalía base" o de todos los planos obtenidos en el paso ii), utilizando varios espaciamientos de malla y varios operadores.

En relación a la sismología se debe considerar :

- i) Que las estructuras ya definidas, deben ser detalladas sísmicamente de manera radial en cada estructura, con 2 líneas cuando menos.
- ii) Que los equipos utilizados en cada caso, no necesitan ser grandes, puesto que en en Sal Somera el interés se centra en los reflectores a menos de 3 seg.
- iii) Que el procesado de las líneas, debe hacerse de acuerdo a la profundidad de los reflectores que se desee resaltar.

Con respecto a la geología, la única observación pertinente, es que al efectuar salidas de campo, no necesariamente de un año,

sino de un tiempo adecuado a los fines específicos a resolver, es conveniente que los geólogos de mayor experiencia, sin impartir su puesto, acompañen a el geólogo de campo, por lo menos en una o dos salidas clave.

Esto quiere decir que si se desea verificar la presencia de una estructura de interés económico, se debe hacer como un fin en si mismo y por lo tanto programar trabajos de campo consecuentemente.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES.

Las principales conclusiones que se obtienen de este trabajo son:

Un análisis detallado de las estructuras salinas, utilizando tanto la gravimetría y la sismología como la geología, permiten señalar a las estructuras de OTEAFAN, TATABAPA, ENCANTO, MORALAR Y MANATI como de interés económico.

La metodología seguida en el estudio de respuestas gravimétricas, aunada a una correcta interpretación estructural basada en perfiles sísmicos de buena calidad, reducen el riesgo al considerar un sondeo exploratorio.

El estilo estructural del área de Sal Somera, corresponde al que produce el movimiento vertical de la sal. Este afecta tanto a los sedimentos que la sobreyacen, como a los sedimentos que se depositan penecontemporaneamente. Los cambios drásticos de espesor dificultan el obtener una columna representativa de esta área, y el tratar de obtener una ley de velocidades representativa de una zona grande, resulta ocioso.

Con base en la información estratigráfica disponible no se pueden hacer consideraciones de la historia de las estructuras salinas.

A P E N D I C E A

F O R M A S S A L I N A S E N G E N E R A L

El interés económico que revisten las estructuras salinas se fundamenta en tres aspectos básicos :

- i) Constituyen excelentes trampas para hidrocarburos.
- ii) En el "cap-rock" asociado puede haber azufre explotable.
- iii) Pueden ser utilizadas para almacenar hidrocarburos o desperdicios problemáticos.

La sal de roca posee propiedades físicas nada usuales :

- i) Es sumamente soluble e incompetente.
- ii) Facilmente es desplazada en un flujo en estado sólido.
- iii) Su densidad es muy baja.
- iv) Desde su acumulación, desarrolla una estructura microscópica policristalina con muy poca porosidad y baja permeabilidad.
- v) Permanece casi incompresible durante su soterramiento.

Después de su depósito por evaporación, un cuerpo salino tiene forma aproximadamente tabular horizontal. El flujo salino puede transformar esta geometría en (ver FIG. 1) :

- i) Formas no-diapíricas (no intrusionan a los sedimentos encajonantes) : domos, anticlinales, o estructuras enrolladas.
- ii) Formas diapíricas (Intrusionan a los sedimentos superiores) : troncos, muros, gotas, macisos y napas.

Los esfuerzos promedio que originan la deformación varían de $10(-8)$ s(-1) y $10(-16)$ s(-1), con un rango dominante de longitudes de onda de las formas resultantes, entre 7 y 26 km. (Talbot J., 1986).

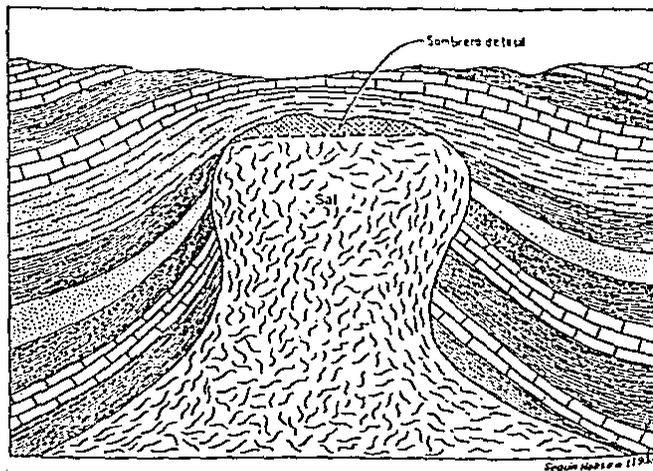
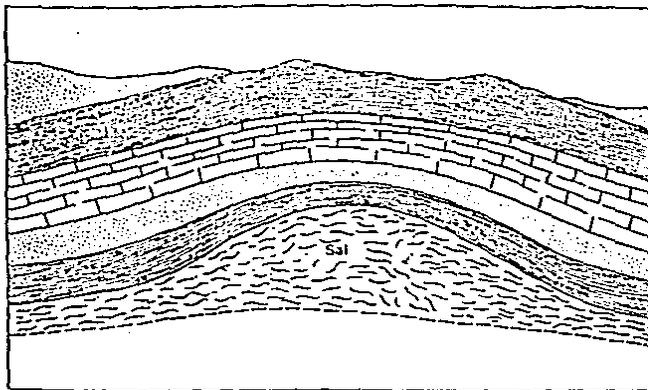


FIG. 1. Formas salinas: de-diplomas, arbores y diapíricas. abajo.

Se considera que a partir de los 500 m de profundidad las rocas terrígenas disminuyen su porosidad a valores entre el 25-30 %. De manera que generalmente no se establece una relación inversa de las densidades entre la sal y su cobertura a una profundidad menor a los 500 m (Jackson M. P., 1992).

La distribución desigual de la carga sedimentaria que se deposita sobre la sal, es el factor principal que induce el movimiento vertical inicial. Posteriormente este factor es relegado por el

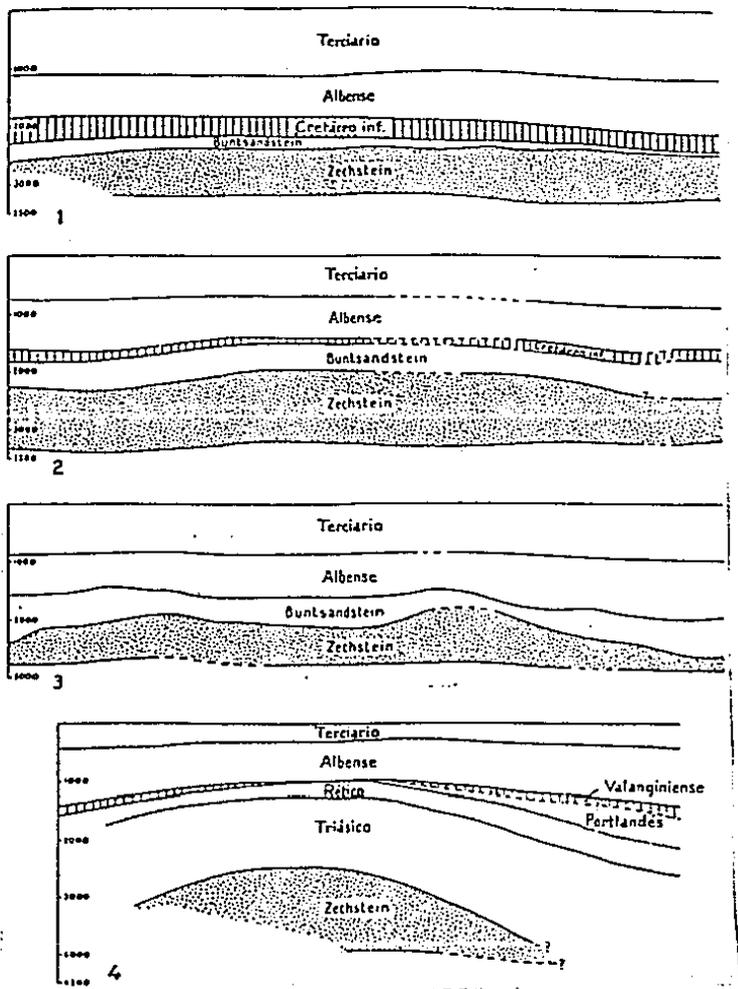


FIG. 1. Dóculas salinas incipientes en el NE de Holanda. (Nederl S., 1977).

Estas dos causas, aunadas a los incrementos térmicos diferenciales a profundidad, constituyen la base del fenómeno conocido como Heloquinesis. (Arrenhius, 1912).

Los perfiles mostrados en la FIG. 7, están basados en estratología y ejemplifican las formas maduras, desarrolladas en la etapa inicial del movimiento descendente de masas salinas.

Las formas salinas inmaduras, no-diapíricas, son estratigráficamente concordantes y no influyen mayormente la

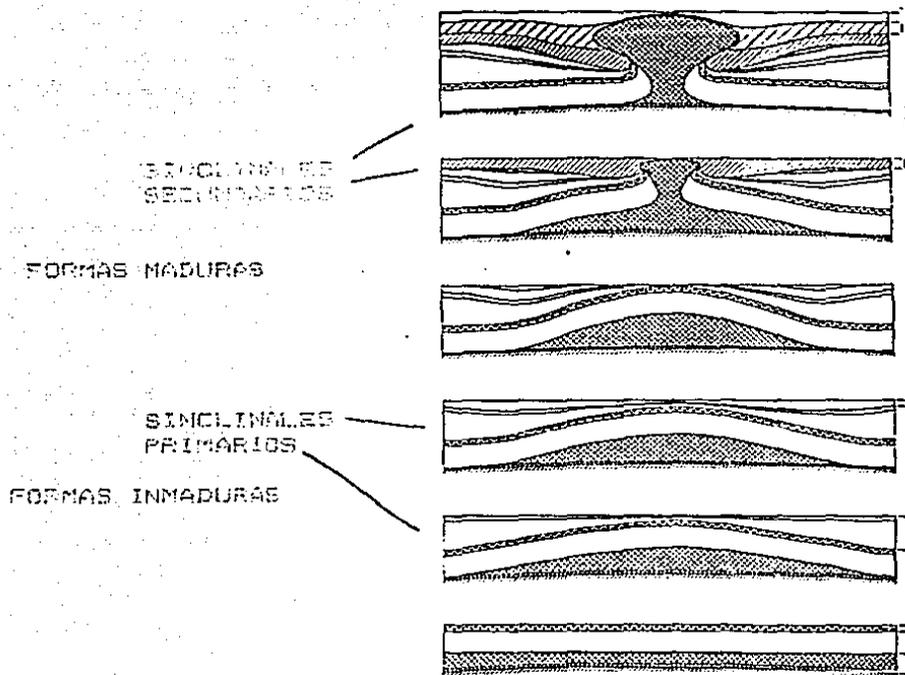


FIG. 3. Evolución hipotética de un tronso salino en Alameda. (Sanneman, 1960).

sedimentación sobre o alrededor de ellas. Cuando la sal corta los estratos que la cubren e influye en el tipo y geometría de los sedimentos pendocorrelacionados, se habla de formas maduras o diapíricas. (FIG. 3).

El tamaño promedio de los diámetros de formas no-diapíricas en Iran es de 40 km., mientras que el diámetro medio de los diapíros de la costa del Golfo de México en U.S.A. es de 11 km. (Martin, 1980).

Tales dimensiones se relacionan directamente a que los flancos de las formas no-diapíricas buzan suavemente, mientras que los flancos de formas diapíricas son verticales o buzan de manera convergente.

Sobre las formas intrusivas se desarrollan sistemas de fallamiento de tipo normal, que vistos en planta presentan una geometría radial, concéntrica, o una combinación de ambas.

En la FIG. 4 se muestra el desarrollo hipotético del fallamiento normal sobre diapíros salinos, visto en sección.

El ascenso vertical de la sal permite una sedimentación relativamente escasa sobre su cúpula y comparativamente abundante en su periferia. Esto produce los sinclinales periféricos primarios.

Un efecto sumamente importante, reconocido en Alemania por Trusheim en 1960, es la formación de hundimientos periféricos secundarios, o sinclinales de borde, resultantes de la subsidencia sobre las zonas exprimidas de la capa salina "madre" y la consecuente sedimentación compensatoria. La característica más importante de estos sinclinales, es el aumento del espesor de los estratos hacia la zona central de extrusión, en contraste con el aumento de grosor alejándose de la intrusión en los hundimientos periféricos primarios. (FIG. 3).

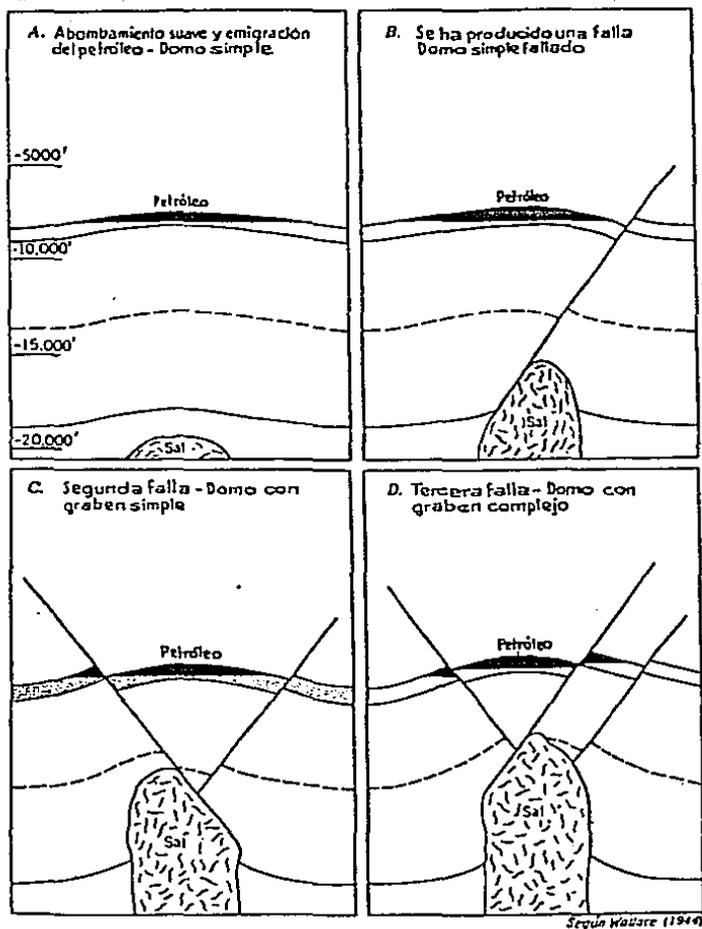


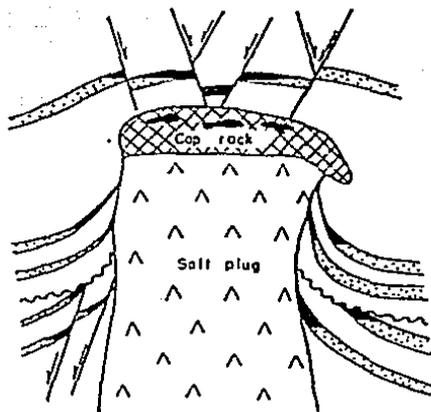
FIG. 4. Desarrollo de fallamiento normal sobre diapiros salinos.

En el caso de los intrusivos de Soledad y El Depósito, Veracruz, la sedimentación sobre la sal fue menor en un 65-70% al depósito en los márgenes de los diapiros.

Si se presenta un aporte continuo de sal, el cambio de la etapa no-diapírica a la diapírica se refleja también en las facies de los sedimentos que cubren al cuerpo salino. Se tendrá entonces una transición de facies someras de levantamiento en la etapa no-

diapiricas, a veces de aguas tranquilas o de "buenca" en el estrato diapirico. Esto es lo registrado en los sinclinales peribóicos. El acúmulo de sedimento contra las paredes diapiricas, cubado a los cambios de facies mencionados, constituyen excelentes lugares para el entrapamiento de hidrocarburos. (FIG. 5).

FIG. 5. Sección idealizada mostrando las típicas de trampa de aceite del estrato diapirico.



El efecto combinado de la presión en la cúpula salina durante el proceso de intrusión y la disolución por los aguas del subsuelo debajo del nivel freático, dan lugar a la formación del "cap-rock".

En la FIG. 6 se muestra una sección diagramática del "cap-rock" y de las paredes de un diapirio típico en la costa del Golfo de México.

Diagrama de un tipo de
de un tipo de
de un tipo de
de un tipo de
de un tipo de

SAL CON 5 - 10 %
DE CRISTALES
DE ANHIDRITA
DISEMINADA.

- Fig. 7. El tipo de diagrama de un tipo de salino
de un tipo de salino. Mostrando las partes componentes
de un tipo de salino. (Hanna, 1955 y Murray, 1951.)
- Hay que resaltar:
- i) Las superficies de falla, naturales, entre el material del
diapiro y los sedimentos adyacentes.
 - ii) Una fina película de anhidrita.
 - iii) un "caprock" compuesto que incluye a una porción superior
de anhidrita, una porción media de yeso y una porción
inferior de salina bruta.
 - iv) Una zona de lutitas naturales alrededor del diapiro.

Las figuras 7 a 10 muestran unos cuantos ejemplos de las
geometrías típicas y de las actitudes que están actualmente mejor
representadas en Alemania y en U.S.A.

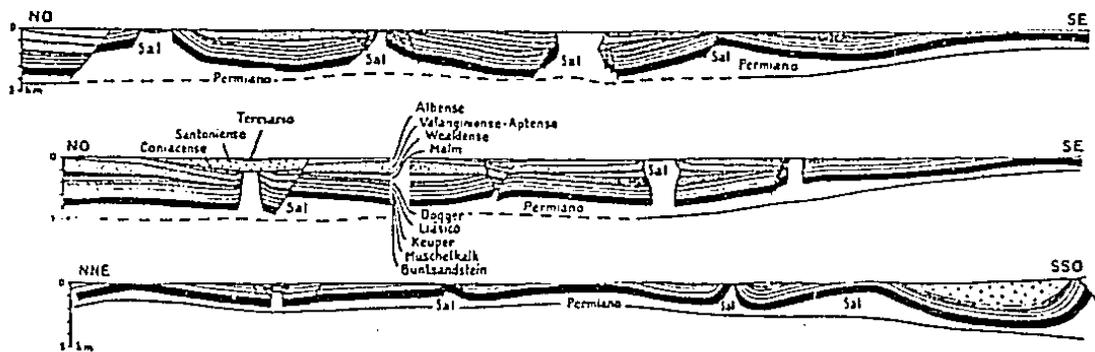


FIG. 7. Secciones regionales en Hannover, Alemania, mostrando las formas salinas típicas. (Trush-eim, 1960).

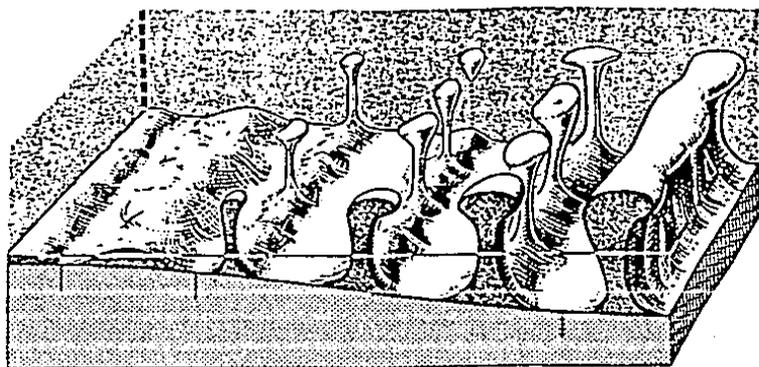


FIG. 8. Tipos de estructuras salinas en la Cuenca Zechstein, Alemania. (Murray, 1960).

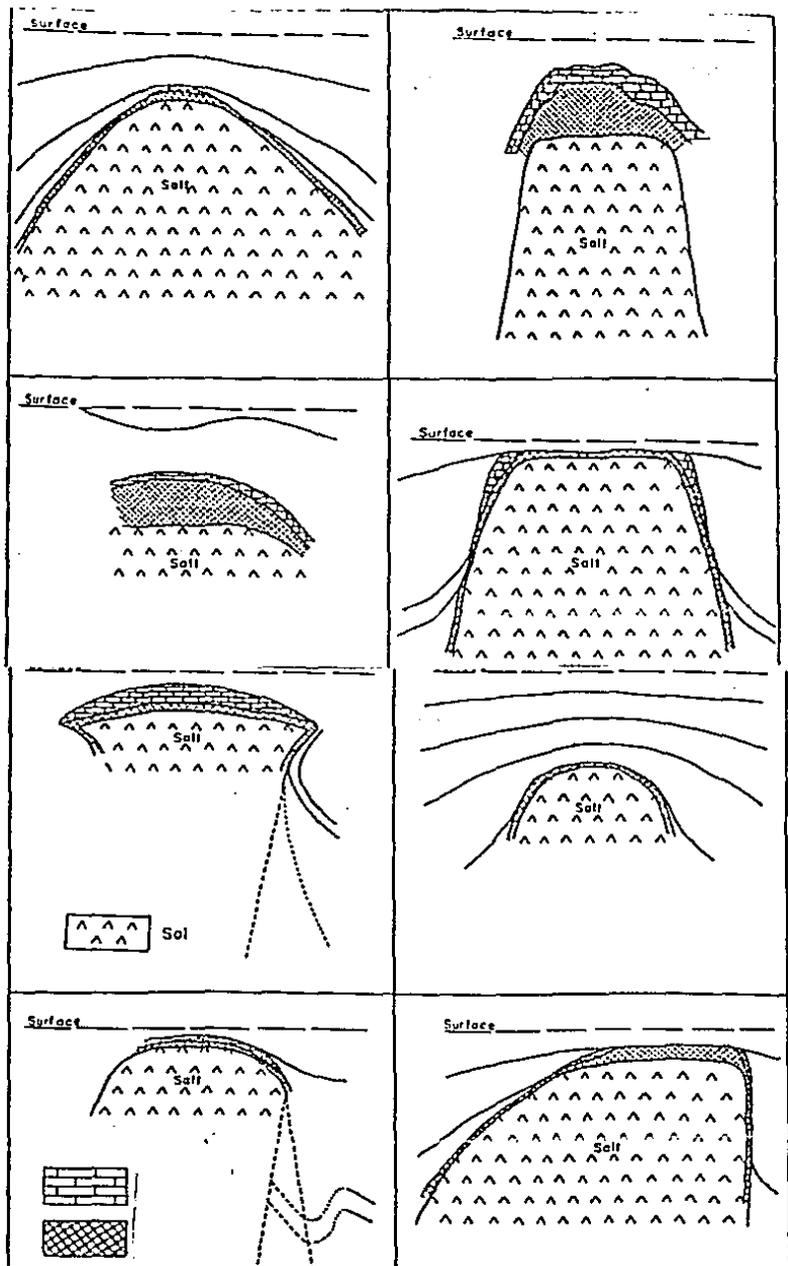
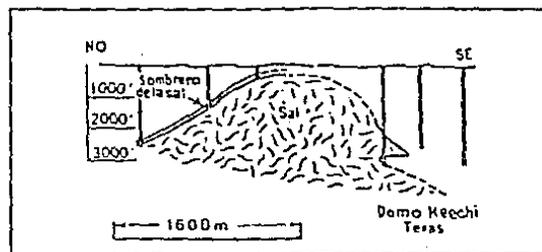
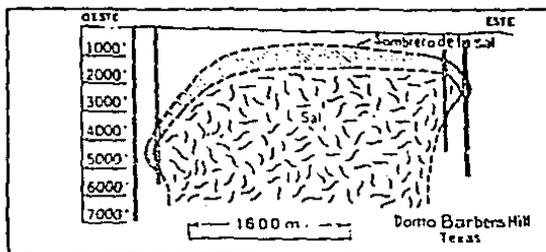
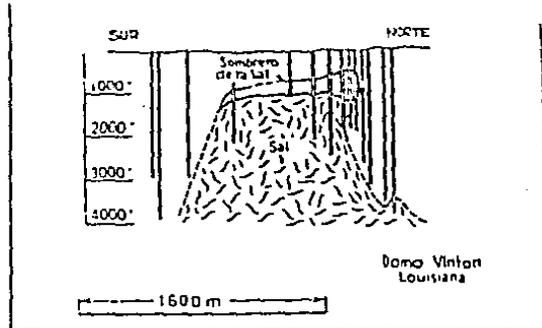
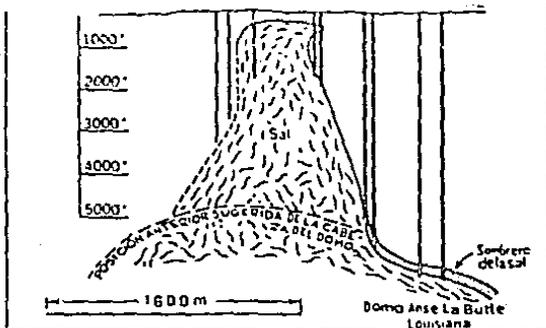


FIG. 9. 8 secciones mostrando formas típicas de diapiros en la costa del Golfo. (Hanna, 1945).



Según Watson y Stamey (1927)

Secciones geológicas de los "dome de sal" en Louisiana y Texas.
(Billings, 1957)

Una forma única desarrollada durante la etapa madura e importantes desde el punto de vista económico, son las estructuras en "tortuga".

Cuando originalmente la geometría de la sal es como una capa horizontal, el movimiento lateral salino hacia los conos incipientes produce una mayor sedimentación en los sinclinales primarios. Cuando la sal pasa a la etapa diapírica, la mayor sedimentación ocurre en los sinclinales periféricos secundarios. De tal manera que la base de las capas sobre la sal en las zonas expuestas, entre domos, es cóncava hacia arriba o siniformes; pero las capas que se depositan durante el paso del estado inmaduro al maduro, son cóncavas hacia abajo o antiformes.

La FIG. 2 muestra el "Keechi Dome" en la cuenca salina del este de Texas, con dos estructuras en tortuga a los lados.

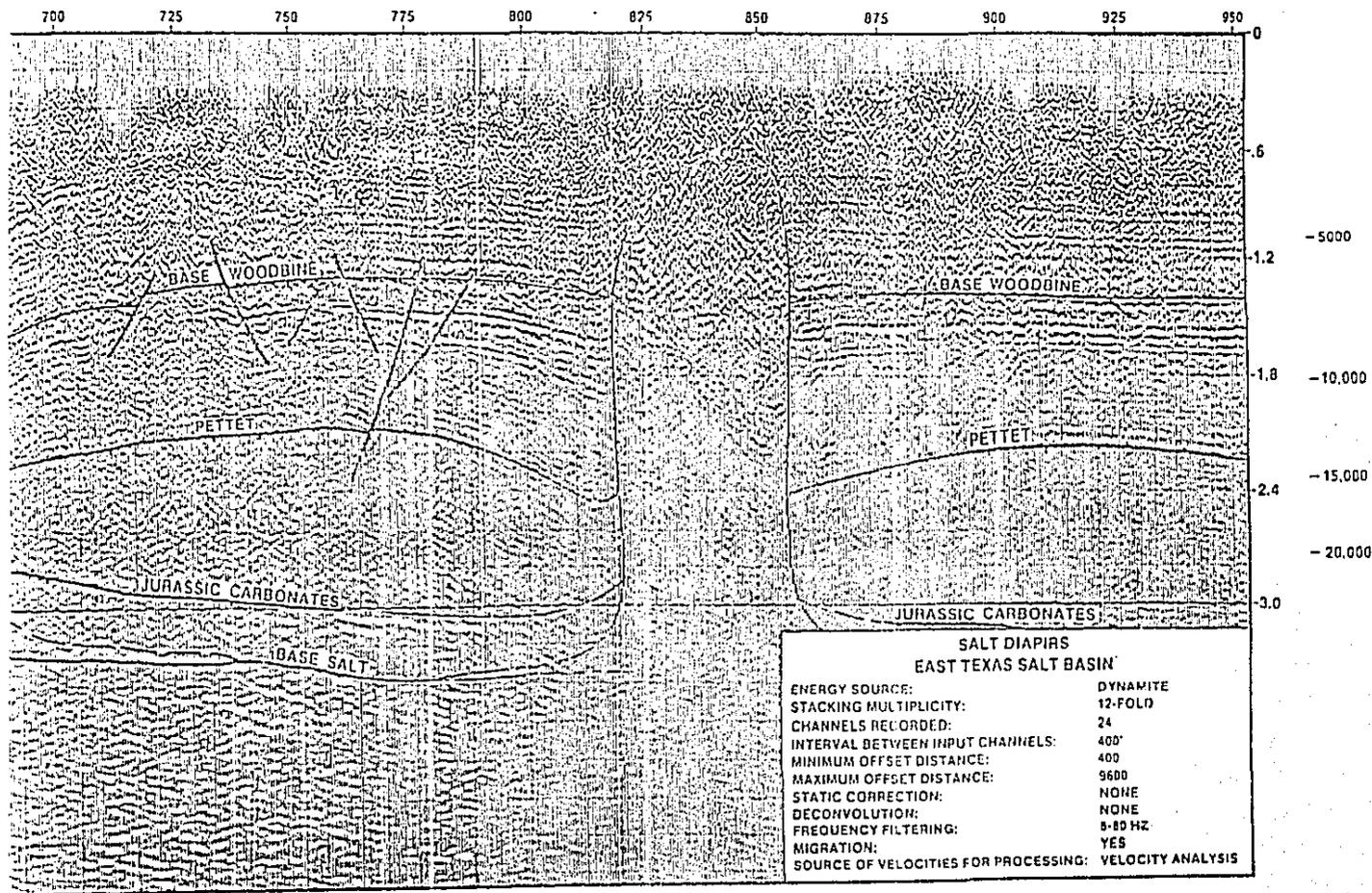


FIG. 11. ESTRUCTURAS EN TORTUGA ASOCIADAS AL DOMO KIECHI.

Quando cesa el movimiento vertical de la sal y porqué ?

Jackson, 1936, menciona que el ascenso de la sal puede ser detenido por cuatro causas :

- i) Encontrar una barrera litológica resistente.
- ii) Al alcanzar el nivel neutral del efecto boyante.
- iii) Por el estrangulamiento de la raíz del diapiro con la consecuente separación de una gota salina.
- iv) Debido al agotamiento del estrato "madre".

El eventual encuentro de la sal con las aguas del subsuelo o con las aguas marinas, producen su solución debajo o sobre la superficie, así como su transporte y presipitación en la misma cuenca o en el oceano, completándose de esta manera el ciclo geoquímico de la sal.

Como una medida de comparación, las figuras 11 y 12 muestran ejemplos de formas salinas desarrolladas en regiones tectonicamente activas.

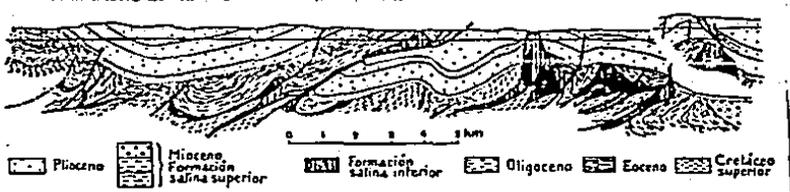


FIG. 12. Sección regional a través de los campos petrolíferos del sur de Rumania. (De Raaf, 1953).

La complejidad estructural que se observa en estos dos ejemplos

contrasta notablemente con el estilo desarrollado en regiones tectónicamente pasivas.

El fallamiento de tipo inverso, las cabalgaduras, el bolcamiento de las estructuras, la disarmonia regional, etc., son características de las regiones salinas afectadas por esfuerzos compresivos. Las propiedades físicas de la sal producen reacciones muy complicadas y lubrican la deformación de los estratos relativamente competentes.

La región de Sal Sonera, Veracruz, se puede ubicar como perteneciente a un estilo de deformación estructural Holoquinético.

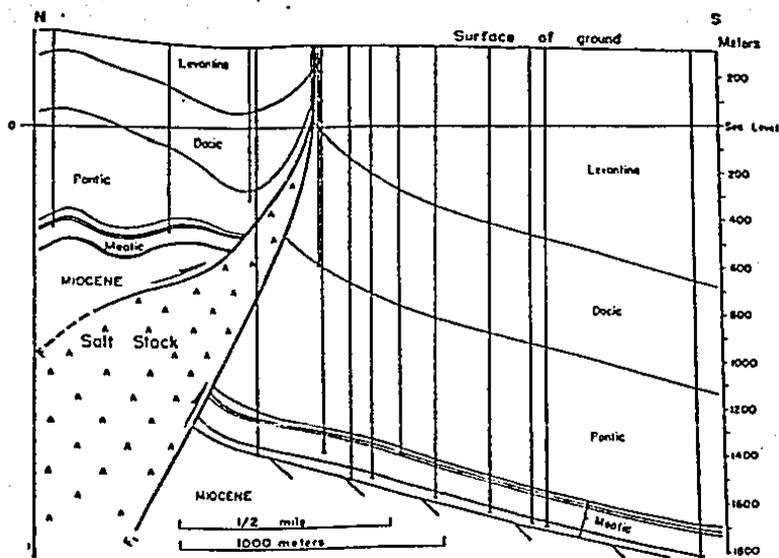


FIG. 13. Sección del campo Moment-Bana, del surtore de Rumana. (Walters, 1946).

APENDICE B

ANALISIS DE LOS OPERADORES UTILIZADOS EN GRAVIMETRIA

De acuerdo con Griffin R. W., 1949, la gravedad residual en un punto "o" de una malla equidimensionada es:

$$g_0 = g(o) - g(r) \text{ con:}$$

$g(o)$ valor de gravedad en "o"
 $g(r)$ promedio aritmético de n
 puntos a un radio r alrededor del punto "o".

Al estar en una estructura geológica, un diapirio salino en este caso, se observa que el valor de la gravedad residual en su centro varía grandemente conforme se varía el radio del círculo de promediación, mientras que el número de puntos promediados sobre cada círculo casi no afecta el valor del residual.

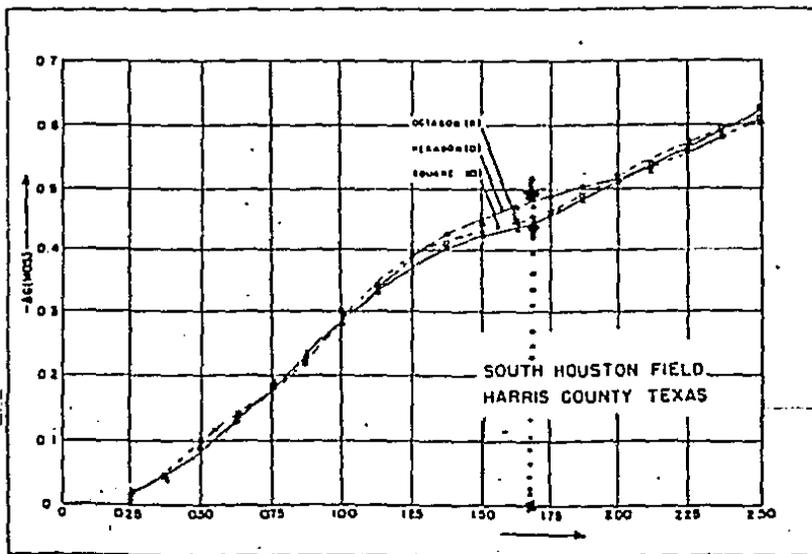


Fig. 1. Valor gravedad residual vs. radio del círculo de promediación. Promedio de 6, 9 y 3 puntos por radio. (Griffin, 1949).

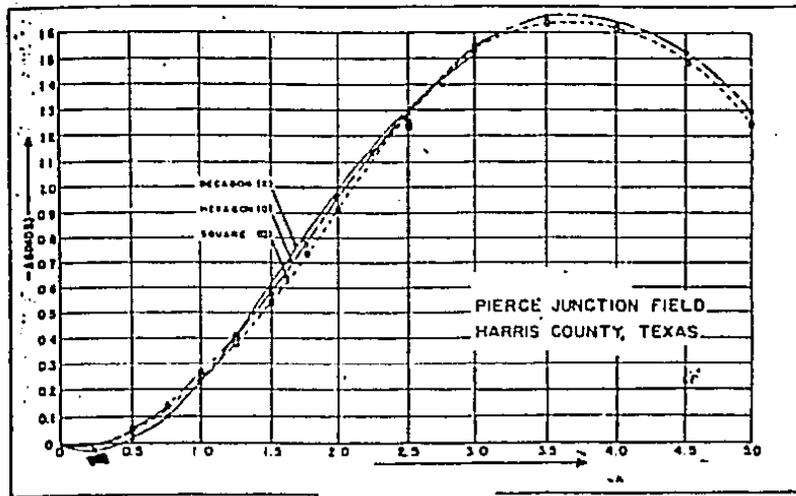


FIG. 2. Gráfica de la variación del valor residual vs. radio círculo de promediación. Se promediaron 4, 6 y 10 puntos sobre cada círculo. (Griffin, 1949).

Las figuras 1 y 2 muestran como varía el valor de la gravedad residual en un mismo punto, conforme se varía el radio del círculo de promediación. Además para un radio dado se promediaron 4, 6 u 8 datos. Esto último casi no afecta el valor del residual, ya que en la FIG 1 la diferencia máxima al utilizar 4 u 8 datos es de 0.05 milidinas (≈ 0.05 miligales en este caso).

Hay que notar en estas gráficas que el valor del residual es negativo; pero se ha graficado en el primer cuadrante.

En la FIG. 2 cerca del origen se observan valores positivos del residual, entre radios de 0.0 y 0.5. Esto se interpreta como el efecto producido por el "cap-rock" que existe en Price Junction Field. En la FIG. 1 no se presenta este efecto y, hasta donde se

sabe, no existe "cap-rock" en la estructura de South Houston Field.

La FIG. 3 muestra que hay un radio finito, de 14 millas en este caso, para el cual se alcanza un valor máximo del residual en el centro de una estructura. Para radios mayores ya no aumenta el residual, sino que disminuye.

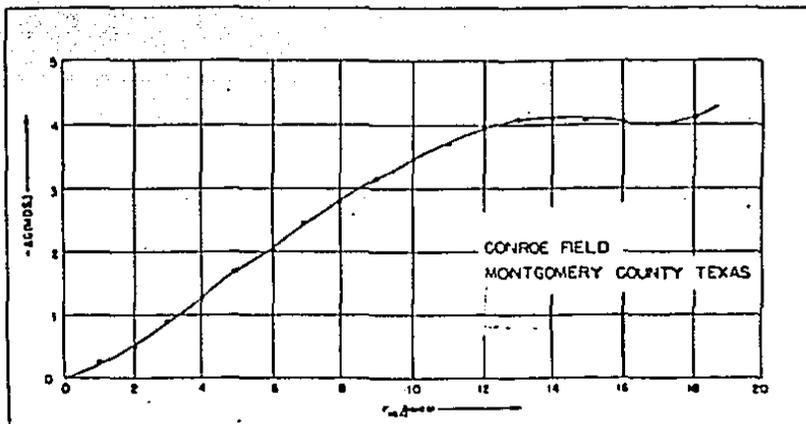


FIG. 3. Gráfica de la variación de la gravedad residual con 6 puntos de promediación sobre radios variables. Conroe Field, Texas, U.S.A..(Griffin, 1949).

En todos los casos, la relación valor del residual vs. radio de promediación no es lineal, aunque es monótona creciente desde el origen cuando no existe "cap-rock", o desde un determinado radio distinto de cero cuando existe "cap-rock".

De acuerdo con Fuller E. D., 1957, los operadores que calculan segundas derivadas verticales pueden considerarse como filtros numéricos aplicados a una malla equiespaciada en el plano X Y, y compararse entre si en términos de sus efectos sobre las distintas frecuencias presentes en los datos de un campo potencial dado.

Los operadores estudiados por Fuller y utilizados en esta Tesis son:

Peters, 1949, ecuación 27 :

$$d^2h/dz^2 = 1.156H(0) + 0.256H(1) + 0.445H(2) - 1.359H(5) - 0.392H(9.2)$$

Elkins, 1951, ecuación 13 :

$$d^2g/dz^2 = 1/60 \cdot r^2 (64 H(0) - 2 H(5) - 4 H(5) - 5 H(5) - 5 H(5))$$

Elkins, 1951, ecuación 14 :

$$d^2g/dz^2 = 1/28 \cdot r^2 (16 H(0) + 2 H(5) - 3 H(5) - 5 H(5))$$

Henderson & Lietz, 1949, ecuación 15 :

$$d^2g/dz^2 = 21 g(0) - 32 g(1) + 12 g(2) - g(3)$$

Rosenbach, 1953, ecuación 16 :

$$d^2g/dz^2 = 1/24 \cdot r^2 (96 G(p) - 16 G(s) - 2 G(s) + G(s) - 5 G(s))$$

Operador de un círculo de promediación unitario S :

$$g(p) = g(s) - g(s)$$

Operador de 2 círculos de promediación, s y (s) :

$$g(p) = g(s) - 0.5 g(s) - 0.5 g(s)$$

En las siguientes figuras se muestra los efectos de los distintos operadores, graficando :

fx en ciclos/intervalo de malla desde 0 hasta la frecuencia de Nyquist o 0.5.

fy en ciclos/intervalo de malla, también de 0 a 0.5.

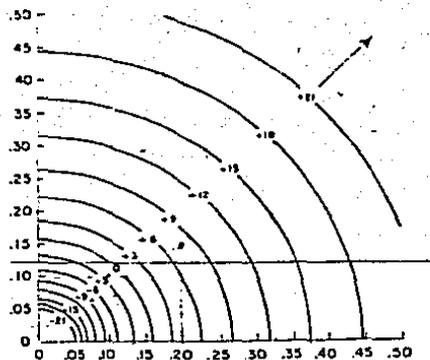
Un valor máximo de +21 decibeles y mínimo de -21 decibeles.

Intervalo entre curvas de 3 decibales.

El graficado entre +21 y -21 decibales no implica que la respuesta sea plana mas alla de estos valores.

La FIG. 4 muestra la respuesta de frecuencia analitica para un operador ideal de segunda derivada vertical.

Figura 4. Datos



f: ciclos/intervalo de datos

FIG. 4. Respuesta de frecuencia para un operador ideal de segunda derivada vertical, en decibales.

(Feller, 1967).

El efecto máximo mostrado en la FIG. 4 es monótonamente decreciente. Amplifica las altas frecuencias y disminuye las bajas a partir de la frecuencia de 0.10 ciclos por intervalo de datos.

La distorsión en estas frecuencias es mínima, lo permite efectuar mediciones de amplitud y fase. Sin embargo, las segundas derivadas de campos potenciales han demostrado su utilidad a través de los tiempos.

La FIG. 5 es la respuesta de frecuencia de la segunda derivada vertical de un campo potencial. Fue publicada por Feller en 1967. Esta respuesta es idéntica a la de la FIG. 4 y se puede observar mejor

como un pasa-banda imperfecto. Sin embargo carece de la amplificación tan grande de las altas frecuencias que muestran

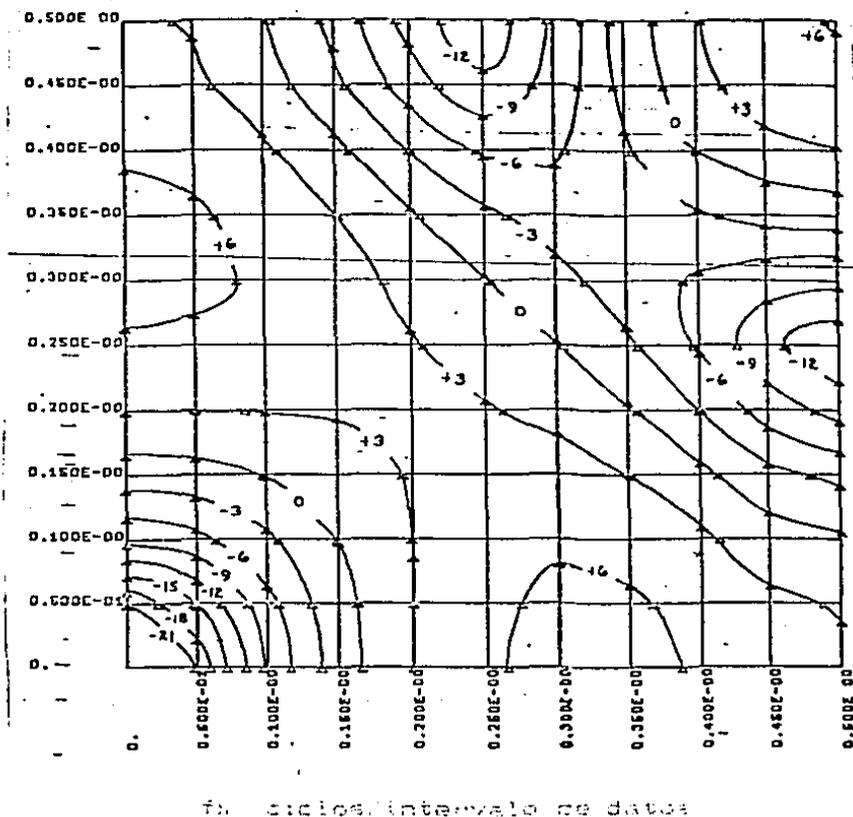


FIG. 5. Respuesta de frecuencia para Peters, 1949, ecuación 27. Fuller, 1967.

otros operadores, razón por la cual el intervalo de malla al aplicar este operador, debe tomarse de tal manera que las formas de onda anómalas queden comprendidas en la región de máxima amplificación. Esto puede no ser fácil, puesto que las anomalías consisten de una amplia banda de frecuencias especiales; pero algún espaciamiento óptimo puede lograrse después de unos cuantos

ensayos.

La FIG. 6 muestra la respuesta del operador propuesto por Elkins en 1951, ecuación 13.

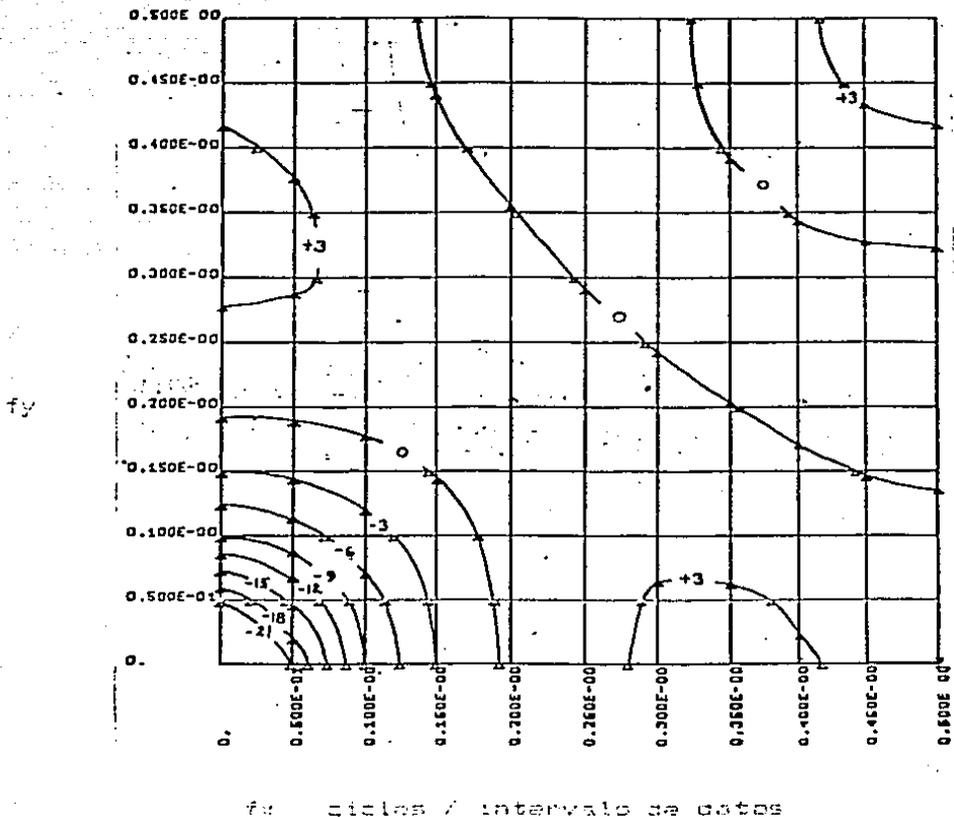
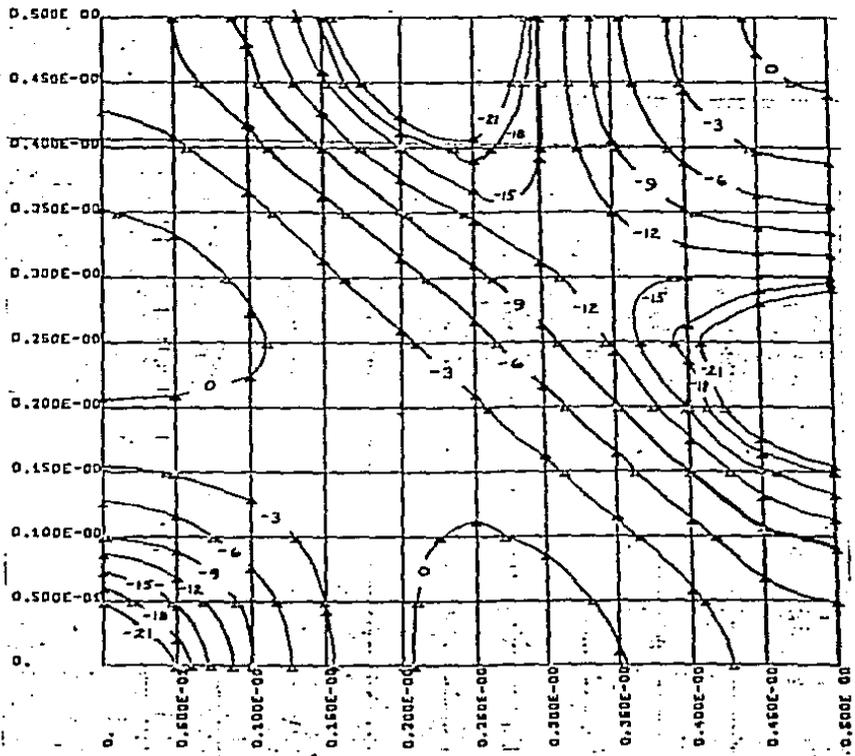


FIG. 6. Respuesta de frecuencia para Elkins, 1951 ecuación 13, en decibeles. Fuller, 1967.

Se observa que constituye un excelente filtro tipo pasa-altas, con una amplia banda de respuesta plana (cero decibeles) y puede ser clasificado como un operador residual. Además la amplia banda de respuesta plana permite efectuar determinaciones cuantitativas posteriores, tomando como base los datos de la salida filtrada.

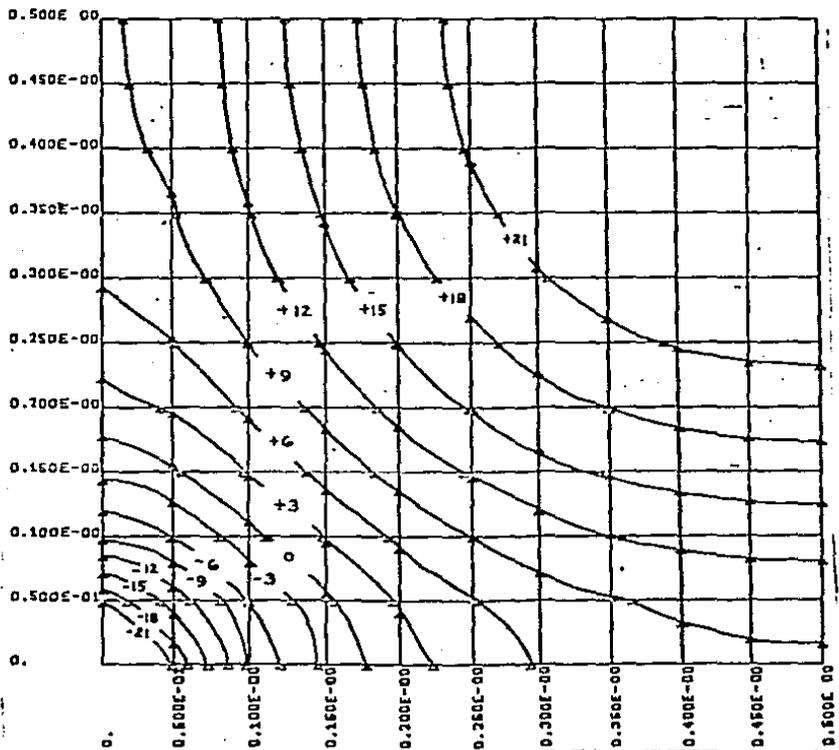


fu: ciclos / intervalo de datos

FIG. 7. Respuesta de frecuencia para el operador de Elkins 1951, ecuación 14, en decibeles. Fuller, 1957.

La FIG. 7 muestra la respuesta para el operador de Elkins, 1951, ecuación 14. En este caso se observa un pasa-banda de cero decibeles en el rango de las frecuencias medias, que decrece lentamente con frecuencias crecientes y aumenta otra vez a cero decibeles en la frecuencia de Nyquist.

Constituye un filtro de pasa-banda.



f_x : ciclos / intervalo de datos

FIG. 8. Respuesta de frecuencia para el operador de segunda derivada vertical propuesto por Henderson & Zietz, 1949, ecuación 15, en decibelios. Fuller, 1967.

La FIG. 8 muestra la respuesta del operador de Henderson & Zietz de 1949, ecuación 15. Al comparar esta respuesta con la de una segunda derivada ideal se observa un comportamiento similar, excepto por una inversión en la curvatura para los contornos de las altas frecuencias. Esto es el resultado de la pérdida de simetría radial alrededor del punto "0", al discretizar los

dadas que intervienen en el cálculo de la segunda derivada vertical.

La respuesta de Henderson & Zietz aumenta monótonamente, aunque a un promedio más lento que la respuesta teórica (FIG. 4). Las frecuencias altas son amplificadas a expensas de las bajas frecuencias.

Si el espaciamiento de la malla es tan cerrado que produce el que las anomalías altas se superpongan, junto con las altas frecuencias, entonces serán amplificadas al igual que estas, si bien, resultando poco visibles, como se configuraron alrededor de cada punto de la malla. Por otra parte, al tomar un espaciamiento de malla muy amplio, se eliminan los errores al pasar y las formas de onda anómalas se ubican al extremo alto de las curvas de frecuencia, disminuyéndose.

En el caso de que los errores sean pequeños en comparación con la amplitud de las anomalías, esto último es preferible al utilizar una malla fina.

La FIG. 5 muestra la respuesta de la malla del operador de segunda derivada vertical calculada con la fórmula propuesta por Henderson en 1957, ecuación 16.

En este caso se obtiene una respuesta monótonamente creciente y en este aspecto es semejante a la respuesta ideal. Sin embargo la amplificación de las altas frecuencias es muy grande.

Una característica común a las configuraciones de segundas derivadas verticales, es que las curvas de valor cero señalan los cambios de inflexión en las superficies potenciales y en general coinciden con los bordes de estructuras geológicas.

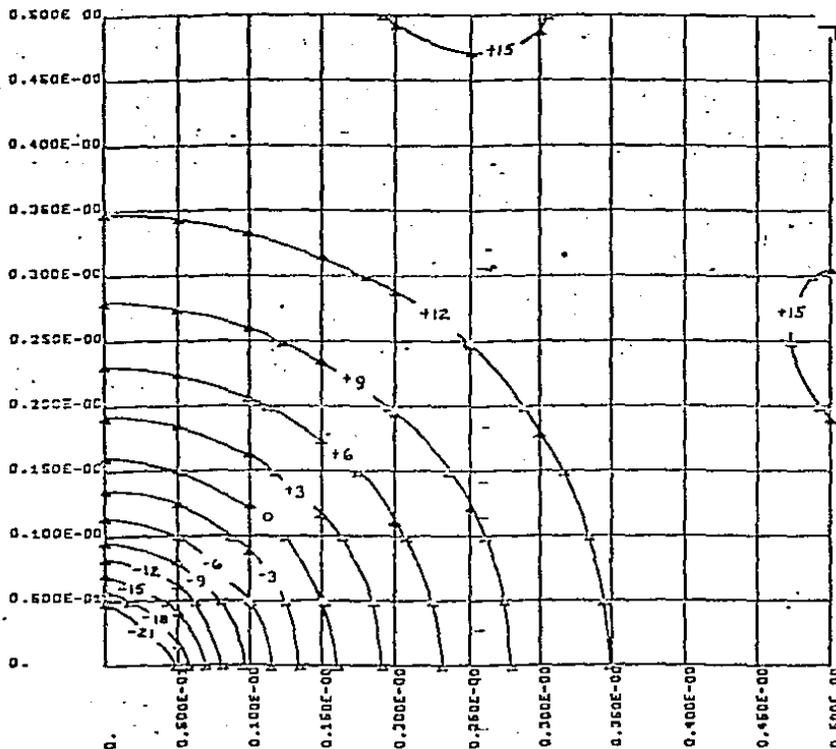
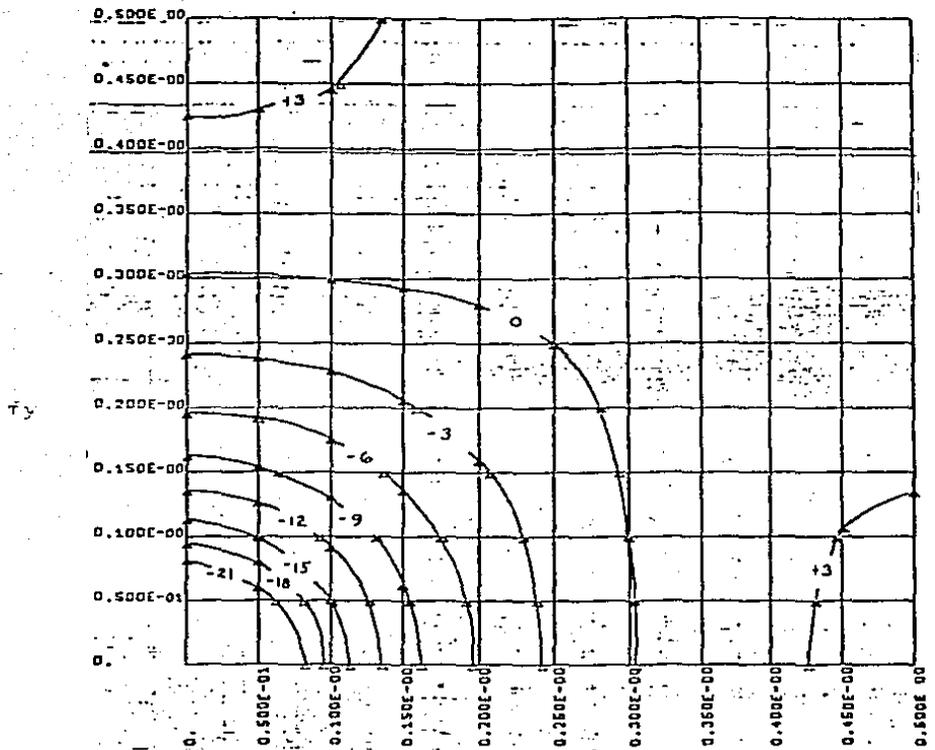


Fig. 1. Contorno de potencial en el campo.

Fig. 1. Respuesta de frecuencia para el caso con propagación en el campo. (Folios: 15, 7)

También al aplicar segundas derivadas a campos potenciales permite amplificar y/o adelantar los efectos debidos a la estructura de interés, permitiendo su localización geográfica de una manera adecuada. Sin embargo hay que tener en cuenta que las unidades de segunda derivada no son las unidades del campo potencial, razón por la cual no es posible hacer determinaciones cuantitativas a partir de la respuesta filtrada con la mayoría de los operadores.

que permite el trabajo cuantitativo posterior.

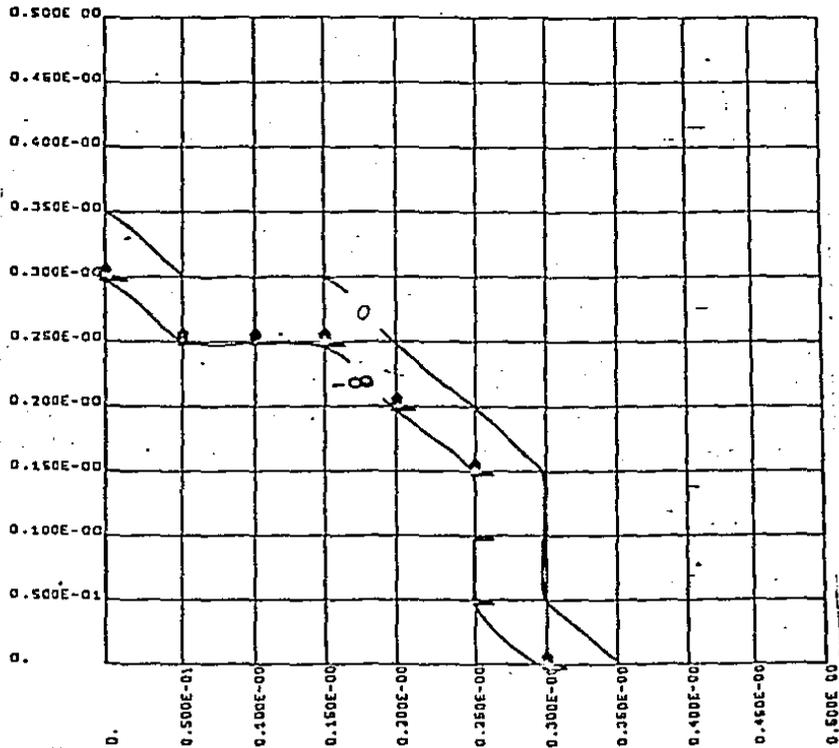


f: ciclo / intervalo de muestreo

FIG. 17. Respuesta de frecuencia para un operador residual con dos circuitos de promediación, en decibelios.

Fuller, 1967.

El objetivo de un operador residual es remover las bajas frecuencias o trenes regionales de un conjunto de datos, dejando con una distorsión mínima las variaciones de las altas frecuencias debidas a trenes geológicos locales. Así, un residual es equivalente un filtro pasa-altas.



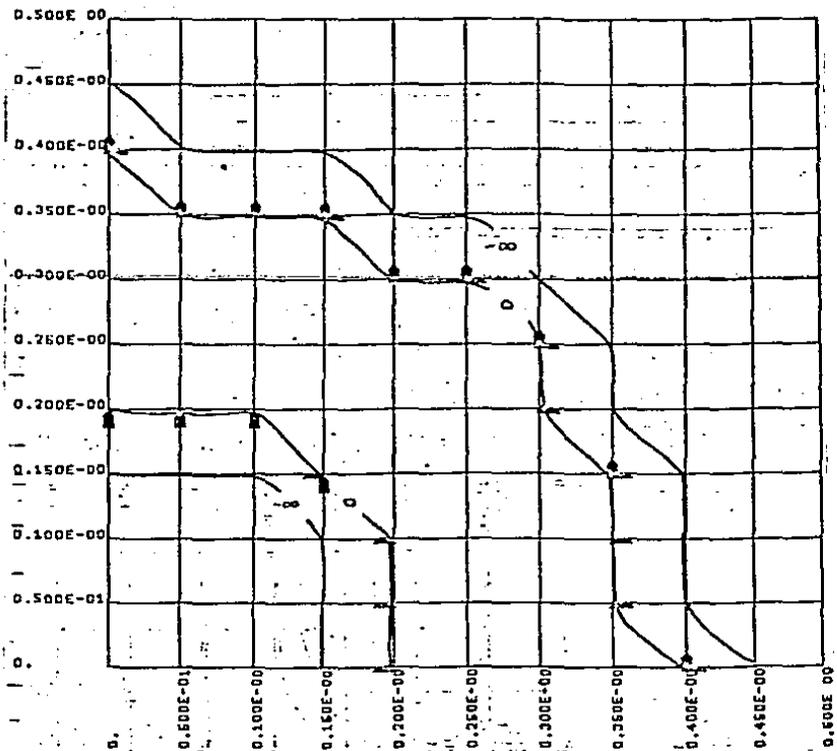
fy ciclos / intervalo de datos

FIG. 13. Respuesta de frecuencia de un operador ideal filtro paso-bajas, en decibales. Fuller, 1967.

La FIG. 13 muestra el efecto de un filtro ideal paso-bajas. La frecuencia de corte puede variar, pero el límite entre las frecuencias rechazadas y las pasadas debe ser abrupto. La respuesta filtrada debe ser lo más plana posible, es decir, sin ampliaciones.

La FIG. 17 es la respuesta típica al aplicar un filtro paso-banda ideal. Las frecuencias en la zona de pasabanda no muestran distorsiones y las curvas de corte a ambos extremos son abruptas.

La forma de las curvas se debe a que el filtro es aplicado a una
 malla.



En intervalos de gas

Fig. 13 Respuesta de frecuencia para un operador pasafanda
 ideal, en decibelios. Fuller 1967

B I B L I O G R A F I A

- ABADILLA Q. A., 1922. INFORME DE RECONOCIMIENTO GEOLOGICO DE LOS RIOS NANCHITAL, LA VENTA, GRIJALVA, PEDREGAL Y TONALA EN LOS ESTADOS DE VERACRUZ, CHIAPAS Y TABASCO. INEDITO.
- ABADILLA G. A., 1924. RECONOCIMIENTO GEOLOGICO AREA CASCAJAL NANCHITAL. INEDITO.
- ADKINS, 1923. EN TSCHOPP, 1924. REPORT ON THE TERTIARY STRATIGRAPHY OF THE ISTHMUS OF TEHUANTEPEC. INEDITO.
- ARRENIUS, 1912. EN JACKSON M. P., 1986. EXTERNAL SHAPES, STRAIN RATES AND DYNAMICS OF SALT STRUCTURES. G. S. A. BULL. V 97.
- BENAVIDES G. L., 1948. AREA LAS LIMAS CASCAJAL Y UZPANAPA SUPERIOR. INEDITO.
- " ", 1949. INFORME GEOLOGICO AREA CERRO PELON. INEDITO.
- BILLINGS P. M., 1972. STRUCTURAL GEOLOGY. PRENTICE HALL INC.
- BOSE E. 1899. GEOLOGIA DE LOS ALREDEDORES DE ORIZABA. YGM BOL. EXTRACTO POR H. CONTRERAS. INEDITO.
- BURCKHARDT C., 1930. ETUDE SYTHETIQUE SUR LE MESOZOIQUE MEXICAIN. PREMIERE PARTIE.
- BURNETT J. B., 1922. INFORME DE RECONOCIMIENTO GEOLOGICO EN LA PARTE SUPERIOR DE LOS RIOS UZPANAPA Y NANCHITAL. CANTON DE MINATITLAN, EDO. DE VERACRUZ. INEDITO.
- " ", 1923. INFORME GEOLOGICO DEL DOMO SALINO DE TONALAPA, DE LOS POZOS PERFORADOS EN JALTIPAN Y SOCONUSCO. INEDITO.
- CAMACHO V., 1983. PROSPECTO LA MIXTEQUITA. INEDITO.
- CONCIT, 1981. PROSPECTO CHICOMOSUELO. INEDITO.
- CHARLESTON S., 1976. PROSPECTO PUERTA DEL UZPANAPA. INEDITO.

DE RAAF, 1953. EN LEVORSEN, 1967. GEOLOGY OF PETROLEUM. W. H. FREEMAN & CO.

CHIRINO G., 1972. PROSPECTO MACUSPANA. INEDITO.

ELKINS A. T. 1951 THE SECOND DERIVATIVE METHOD OF GRAVITY INTERPRETATION. GEOPHYSICS, V 14 NO. 4.

FULLER B. D., 1967. TWO-DIMENSIONAL FREQUENCY ANALYSIS AND DESIGN OF GRID OPERATORS. MINING GEOPHYSICS.

GARCIA P., 1981. PROSPECTO NIZANDA. INEDITO.

GRIFFIN R. W., 1949. RESIDUAL GRAVITY IN THEORY AND PRACTICE. GEOPHYSICS, V. 14, NO. 1.

HALBOUTY M. T., 1979. SALT DOMES, GULF REGION. HOUSTON TEXAS GULF PUBLISHING CO.

HANNA M. A., 1934. GEOLOGY OF THE GULF COAST SALT DOMES. A.A.P.G. BULL. V. 37.

HEGWEIN H. W., 1928. DETALLE GEOLOGICO. REGION EL JUILE Y APENDICE PALEONTOLOGICO POR NUTALL.

HENDERSON R. A. & ZIETZ I., 1949. COMPUTATION OF SECOND VERTICAL DERIVATIVES OF GEOMAGNETIC FIELDS. GEOPHYSICS, V. 14, NO. 4.

HOBSON, 1938. EN LEVORSEN I. A. GEOLOGY OF PETROLEUM. W. H. FREEMAN & CO.

IMLAY, 1949. JURASIC FORMATIONS OF GULF REGION. A. P. G. BULL. VO. 27 NO. 1.

I. M. P., 1984. ESTUDIO BIOESTRATIGRAFICO DEL TERCIARIO EN EL PROSPECTO RIO JUANES. INEDITO.

JACKSON M. P., 1982. THE DOMES OF EAST TEXAS. M. W. ED.

JACKSON M. P. & TALBOT C. J., 1986. EXTERNAL SHAPES, STRAIN RATES, AND DYNAMICS OF SALT STRUCTURES. G. S. A. BULL., V. 27.

JEFFREYS, 1910. EN LOPEZ RAMOS, GEOLOGIA DE MEXICO. 1979.

JUDSON & STAMEY, 1936. EN BILLINGS, 1972. STRUCTURAL GEOLOGY. W. H. FREEMAN & CO.

LEVORSEN I. A., 1967. GEOLOGY OF PETROLEUM. W. H. FREEMAN & CO.

LEWIS J. V., 1922. REPORTE GEOLOGICO DEL AREA LA SOLEDAD. INEDITO.

LOPEZ TICHA C. D., 1976. PROSPECTO GEOLOGICO TONALAPA, SAN JUAN EVANGELISTA, VER. INEDITO.

MARTIN R. G., 1980. DISTRIBUTION OF SALT STRUCTURES IN THE GULF OF MEXICO. MAP AND TEXT. USGS.

MURRAY J. P., 1961. MUDLUMPS AND DIAPIRIC STRUCTURES. AAPG. M. 6

NEASBIT M. F., 1922. RECONOCIMIENTO GEOLOGICO DE ACHOTAL, MEDIAS AGUAS Y SANTA ROSA, VER. INEDITO.

NETTLETON L. L., 1954. REGIONALS, RESIDUALS AND STRUCTURES. GEOPHYSICS, V. 19, NO. 1.

NUTALL W. L., 1927. INFORME GEOLOGICO RECONOCIMIENTO DE LA REGION ENTRE CERRO JIMBAL Y RIO PEDREGAL. INEDITO.

"", 1927. INFORME PRELIMINAR SOBRE EL USO DE FORAMINIFEROS PARA DETERMINAR HORIZONTES EN EL CAMPO FILISOLA. INEDITO.

"", 1927. EL USO DE FORAMINIFEROS PARA DETERMINAR HORIZONTES EN EL TERCARIO DEL ESTE Y CENTRO DEL ISTMO. INEDITO.

"", 1928. INFORME PALEONTOLOGICO DE LOS FORAMINIFEROS DEL CENTRO Y ESTE DEL ISTMO. INEDITO.

NAPOLEON G. T., 1949. INFORME GEOLOGICO AREA JALTIPAN, ACAYUCAN, EL JUILE, VER. INEDITO.

PETERS J. L., 1949. THE DIRECT APPROACH TO MAGNETIC INTERPRETATION AND ITS PRACTICAL APPLICATION. GEOPHYSICS, V. 14, NO. 3.

ORTUNO S., 1985. ESTUDIO ESTRATIGRAFICO SEDIMENTOLOGICO DEL JURASICO SUPERIOR - CRETACICO INFERIOR EN EL PROSPECTO LA ZACATERA. INEDITO.

QUEZADA M. J., 1972. PROSPECTO JESUS CARRANZA, VER. INEDITO.

ROSENBACH O., 1953. A CONTRIBUTION TO THE COMPUTATION OF THE SECOND DERIVATIVE FROM GRAVITY DATA. GEOPHYSICS, V. 18, NO. 4.

SANNEMANN D., 1968. SALT-STOCK FAMILIES IN NORTHWESTERN GERMANY.

SAPPER, 1899. EN LOPEZ RAMOS. GEOLOGIA DE MEXICO, 2 ED. 1979. A.A.P.G. MEMOIR 8.

TRUMPY D., 1925. NOTES ON THE DEVELOPMENT OF FILISOLA AND CONCEPCION. INEDITO.

TRUSHEIM F., 1960. MECHANISM OF SALT MIGRATION IN NORTHERN GERMANY. A.A.P.G. BULL., V. 44.

TSCHOPP H. J., 1923. DESCRIPCION LIMITADA DE LAS CONDICIONES GENERALES DE LOS SEDIMENTOS TERCIARIOS DEL ISTMO. INEDITO

" ", 1924. REPORT ON THE TERTIARY STRATIGRAPHY OF THE ISTHMUS OF TEHUANTEPEC. INEDITO.

" ", 1926. INFORME GEOLOGICO DE LA PARTE ALTA DEL RIO UZPANAPA Y NANCHITAL. INEDITO.

" ", 1926. REGION CERRO PELON - CERRO JIMBAL - RIO PLAYAS. INEDITO.

" ", 1926. INFORME GEOLOGICO DE LA PLANICIE ENTRE VERACRUZ Y SUR DE SAN ANDRES TUXTLA. INEDITO.

" ", 1927. RECONOCIMIENTO GEOLOGICO DESDE LAS LIMAS Y A LO LARGO DEL RIO ALTO COACHAPA. INEDITO.

" ", 1931. INFORME GEOLOGICO CUENCA SALINA DEL ISTMO. INEDITO.

" ", 1932. REPORTE GEOLOGICO DE LA CUENCA DE VERACRUZ.

INEDITO.

VAN TYN T., 1924. PRELIMINARY REPORT ON THE POTASSIUM DEPOSITS IN THE ISTHMUS OF TEHUANTEPEC. INEDITO.

WALLACE, 1944. EN JACKSON & TALBOT, 1986, OP. CIT.

WALTERS, 1946. EN BILLINGS, 1972. STRUCTURAL GEOLOGY. PRENTICE HALL INC.

WEABER P., 1922. STUDY OF AGREAMENT IN ISTHMUS SALT DOME STRUCTURE OUTLINED BY EOTVOS TORSION BALANCE WITH STRUCTURE INFERED FROM WELLS AND GEOLOGY STUDY. INEDITO.