

BOLETIN

de la

Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración

INTERPRETACION GEOFISICA-GEOLOGICA EN EL AREA SAL SOMERA DE LA ZONA SUR

Por:

**ING. CESAR NAVARRO TAFOLLA,
ING. TOMAS LEMARROY ALARCON**

DESCRIPCION Y APLICACION DEL ENFOQUE OPTIMO DE LA SEÑAL SISMICA

Por:

**SR. JESSE R. CORNETT,
ING. HECTOR PALAFOX RAYON,
ING. JESUS ALVAREZ.**

UN APORTE DE LA GEOTERMIA A LA PROSPECCION PETROLERA

Por:

DR. JOSE OSCAR CAMPOS ENRIQUEZ

Volumen XXIII

Oct.-Dic./83

No. 4

Volumen XXIV

Ene.-Mar./84

No. 1



EMPRESA 100% MEXICANA

AL SERVICIO DE LA INDUSTRIA

PETROLERA



BRUSELAS 10-3^{er} PISO
COL JUAREZ
MEXICO 6, D.F.

566 41 44
TELS. 566 43 90
566 42 37

Síntesis de Información Inegi Geográfica por Estados Inegi

A través de la Síntesis de Información Geográfica por Estados, se pretende ofrecer una visión integrada de la geografía física de cada entidad, señalando, además, en función del análisis de ella, cuáles son las posibilidades para el aprovechamiento de los recursos en las actividades agrícolas, ganaderas y forestales.

	Costo de envío	
	Nacional	Internacional
• Aguascalientes	\$ 1 600.00	USCY 7.00
• Coahuila	\$ 2 800.00	USCY 9.00
• Guanajuato	\$ 1 200.00	USCY 9.00
• Jalisco	\$ 2 200.00	USCY 12.00
• México	\$ 1 800.00	USCY 9.00
• Morelos	\$ 1 700.00	USCY 7.00
• Nayarit	\$ 1 800.00	USCY 9.00
• Nuevo León	\$ 2 500.00	USCY 9.00
• Tlaxcala	\$ 2 000.00	USCY 7.00
• Zacatecas	\$ 2 000.00	USCY 10.00

Informes, Consulta y Ventas en-Balderas No. 71-P.B.
y en Insurgentes Sur No. 795-P.B.

Tels.: 521-42-51, 687-46-91 y 510-47-75



SPP

programación y presupuesto
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA
GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA

Para el interior de la República anexas cheque certificado a favor de INEGI-SPP, Dirección General de Integración y Análisis de la Información, Camino No. 670, 3er. piso, Col. Granjas México, Delegación Iztacalco, 08400 México, D. F., Tel. 657-89-44, Ext. 214

La información estadística y geográfica es un servicio público y su difusión es comunicación social

**GEOFISICOS CONSULTORES PARA
PETROLEOS MEXICANOS**



Seiscor Corporation of Mexico

**RIO TIBER 50-101 MEXICO 5, D.F.
TELEFONOS : 514-47-94 514-47-96**

**SUBSIDIARIA DE
SEISMOGRAPH SERVICE CORPORATION
6200 East 41st. St. • Box 1590 • Tulsa, Oklahoma, U.S.A.**

ESPECIALIZADOS EN :

SERVICIO DE GEOFISICA

- Levantamientos :**
- Sismológicos
 - Gravimétricos
 - Magnetométricos
 - Procesado de Datos Magnéticos
 - LORAC-Levantamiento Electrónico

SERVICIO DE REGISTRO DE POZOS

- Registros para Evaluación de Formaciones
- Registros de Pozos de Producción
- Servicio de Terminación Permanente
- Registro Continuo de Velocidad



GEOEVALUACIONES, S.A.

AV. AMACUZAC 615

Méx. 13, D.F.

Tel. 6-32-39-19

6-72-09-62

- Servicios de Gravimetría Terrestre
- Geología Superficial
- Métodos Eléctricos para Geohidrología y Geotecnia
- Métodos Sísmicos para Geohidrología y Geotecnia
- Servicios de Registros Geofísicos para pozos de agua
- Servicios de Interpretación
- Análisis Químicos de agua para fines Geohidrológicos e Industriales.

MESA DIRECTIVA DE LA ASOCIACION MEXICANA
DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

BIENIO 1985 - 1986

PRESIDENTE	ING. ANTONIO CAMARGO ZANOGUERA
VICEPRESIDENTE	ING. HECTOR PALAFOX RAYON
SECRETARIO	ING. SALVADOR HERNANDEZ GONZALEZ
TESORERO	ING. CALOS LOPEZ RAMIREZ
PRO-TESORERO	ING. JORGE USCANGA USCANGA
EDITOR	ING. GUILLERMO A. PEREZ CRUZ
COORDINADOR DE EVENTOS TECNICOS	ING. FRANCISCO J. SANCHEZ DE TAGLE
COORDINADOR DE EVENTOS SOCIALES	ING. PATRICIA OCEGUERA DE ROMERO

PRESIDENTES DE DELEGACIONES

BENIOSA	ING. MIGUEL A. MARTINEZ DOMINGO
CHAMPICO	ING. JORGE STANFORD BESST
FOXA RICA	ING. SALVADOR MALDONADO CERVANTES
CORTZACOALCOS	ING. JUAN B. RIVERA JACOME
TALLAHERRIOSA	ING. QUINTIN CARDENAS JAMMET
CO. DEL CARMEN	ING. CARLOS PUERTO ZAPATA
SAN LUIS POTOSI	ING. JUAN LOPEZ MARTINEZ
CORDOBA	ING. SERGIO FIGUEROA ARIAS
GUAYMAS	ING. RAMON GARCIA GOMEZ
CHIHUAHUA	ING. JUSTO MEZA DIAZ
MORELIA	ING. JESUS ARREDONDO FRAGOSO

VOCALES

I.M.P.	ING. JOSE SALINAS ALTES
I.P.N.	ING. RAUL SANTIAGO VALENCIA
U.N.A.M.	ING. EDUARDO MURILLO OLAYO
MEXICO	ING. ANDRES RAMIREZ BARRERA

ESTE BOLETIN NO SE HACE RESPONSABLE DE LAS IDEAS EMITIDAS EN LOS ARTICULOS QUE SE PUBLIQUEN, SINO SUS RESPECTIVOS AUTORES.

ESTE BOLETIN SE PUBLICA CADA TRES MESES Y SE DISTRIBUYE GRATUITAMENTE A LOS SOCIOS.

	MEXICO	OTROS PAISES
CUOTA ANUAL PARA SOCIOS	\$ 1,200.00	\$ 20.00 U.S. DOLLARS
SUSCRIPCION ANUAL (NO SOCIOS)	2,500.00	25.00 U.S. DOLLARS
EJEMPLARES SUELTOS	600.00	5.00 U.S. DOLLARS

PARA TODO ASUNTO RELACIONADO CON EL BOLETIN COMO SON ENVIOS DE MANUSCRITOS, SUSCRIPCIONES, DESCUENTOS A BIBLIOTECAS, PUBLICACIONES, ANUNCIOS, ETC. DIRIGIRSE A :

GUILLERMO A. PEREZ CRUZ,
APARTADO POSTAL 57-275
MEXICO, D.F. C.P. 06501
MEXICO

INTERPRETACION GEOFISICA-GEOLOGICA EN EL AREA

SAL SOMERA DE LA ZONA SUR.

Ing. César Navarro Tafolla.
Ing. Tomás Lemarroy Alarcón.
Suptcia. de Exploración,
Zona Sur,
Petróleos Mexicanos.

INTERPRETACION GEOFISICA GEOLOGICA EN EL AREA SAL SOMERA DE LA ZONA SUR.

R E S U M E N

En la porción Occidental de la Zona Sur se encuentra el área Sal Somera la cual es de particular interés para Geólogos y Geofísicos de Exploración.

Petróleos Mexicanos ha incrementado la exploración en busca de hidrocarburos ligeros, en áreas potenciales del país. La denominada Sal Somera es una de ellas, porque reúne todas las características geológicas para ser considerada económicamente petrolera.

Debido a condiciones especiales del terreno y a la homogeneidad de la sal, principalmente, la información sísmológica ha sido escasa y de pobre calidad por lo que se ha recurrido a otros métodos exploratorios, como gravimetría, para tratar de resolver el problema estructural del área.

En el presente trabajo se integraron todos los resultados obtenidos con los métodos geológicos y geofísicos tradicionales y se consideraron las aportaciones proporcionadas por nuevos métodos como magnetoteluria y Perfil Sísmico Vertical (VSP).

Los resultados más importantes que se obtienen en este trabajo son:

La solución tentativa al problema estructural del área, lo que representa un avance en su evaluación económico-petrolera.

Se logra bosquejar la morfología de la sal y estimar la potencia de los sedimentos subsalinos, en la porción Norte del área.

Se deduce que la base de la sal en el pozo Sal Somera #1, actualmente en perforación, se encontrará a una profundidad aproximada de 3,900 m. y la cima del paquete sedimentario mesozoico a 5,500 m.

Se definen otras localidades de interés sobre las que se propone efectuar nuevo trabajo sismológico de detalle para confirmar su condición estructural.

INTERPRETACION GEOFISICA-GEOLOGICA EN EL AREA SAL SOMERA DE LA ZONA SUR.

GENERALIDADES:

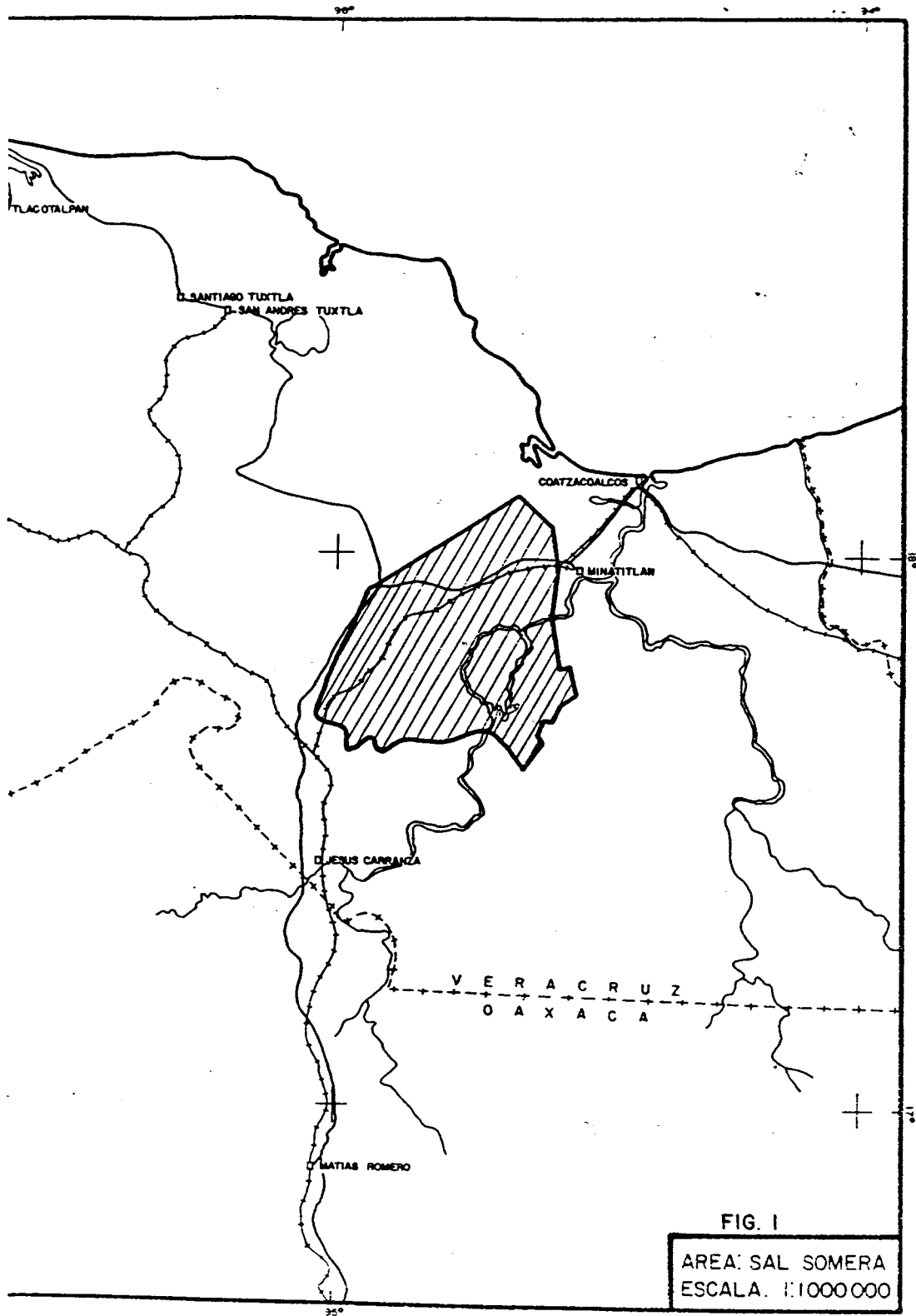
En la porción Occidental de la Zona Sur, dentro de la Provincia Geológica de las Cuencas Terciarias del Sureste, se encuentra el afea denominada "Sal Somera", (Fig. 1 y 2), obedeciendo este nombre a la presencia de afloramientos de sal en algunas localidades que en conjunto dan la apariencia de una gran masa salina muy somera.

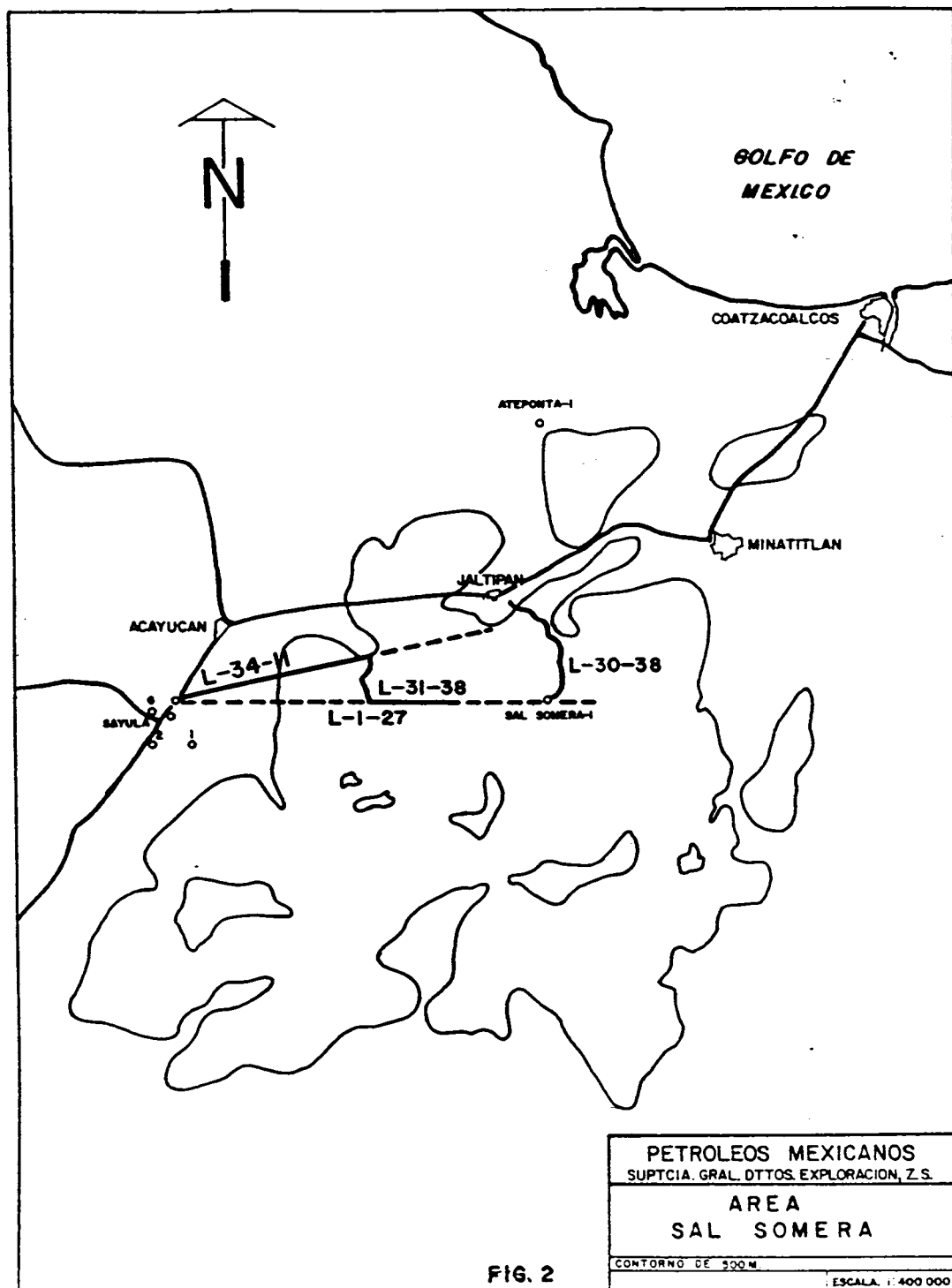
Los límites de esta área que tiene una extensión de 1,650 Km² lo forman los domos de Jáltipán y Chinameca, al Norte; las estructuras Moralar, Encantada y Manatí, al Sur; al Oriente, las estructuras Minatitlán, Soledad y San Cristóbal y al Occidente, las estructuras de Almagres y Medias Aguas y el límite Occidental de la provincia Geológica. (Fig. 3).

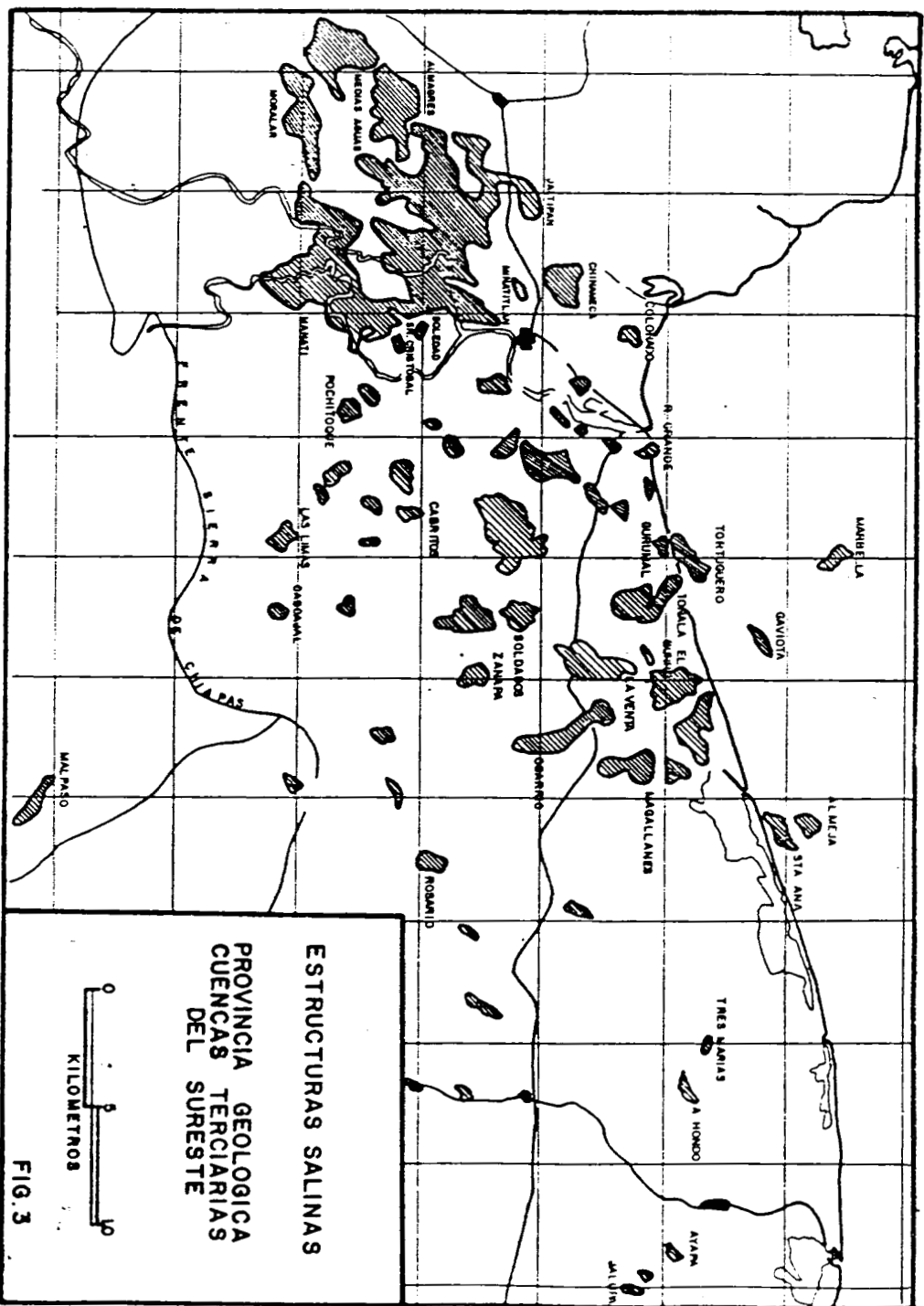
INTRODUCCION.

Desde principios de siglo, esta región adquirió importancia debido a las manifestaciones de hidrocarburos reportados en algunas localidades por lo que las compañías extranjeras que operaban en México efectuaron algunas exploraciones que condujeron a la perforación de varios pozos, algunos de los cuales tuvieron pequeña producción de hidrocarburos y otros más encontraron evidencias de azufre, todo esto dió por resultado el descubrimiento de campos petroleros como los de San Cristóbal, Soledad, Filosola y Concepción.

Los pozos que se han perforado para la exploración del azufre en esta región, se profundizan lo necesario para llegar al casquete de la sal y penetrar hasta encontrar dentro de las rocas del casquete, la mineralización, llegando algunas veces hasta la cima de la sal, los pozos de los campos azufreros tienen una profundidad que varió desde 50 hasta 400m.







Con el objeto de determinar si existen condiciones estructurales favorables en las rocas subsalinas, se han realizado algunos trabajos exploratorios que incluyen hasta el momento, la perforación de un pozo profundo (actualmente ha penetrado 3,000m. en la masa salina) y cuyos resultados quedan consignados e integrados en el presente estudio.

INTEGRACION DE LA INFORMACION.

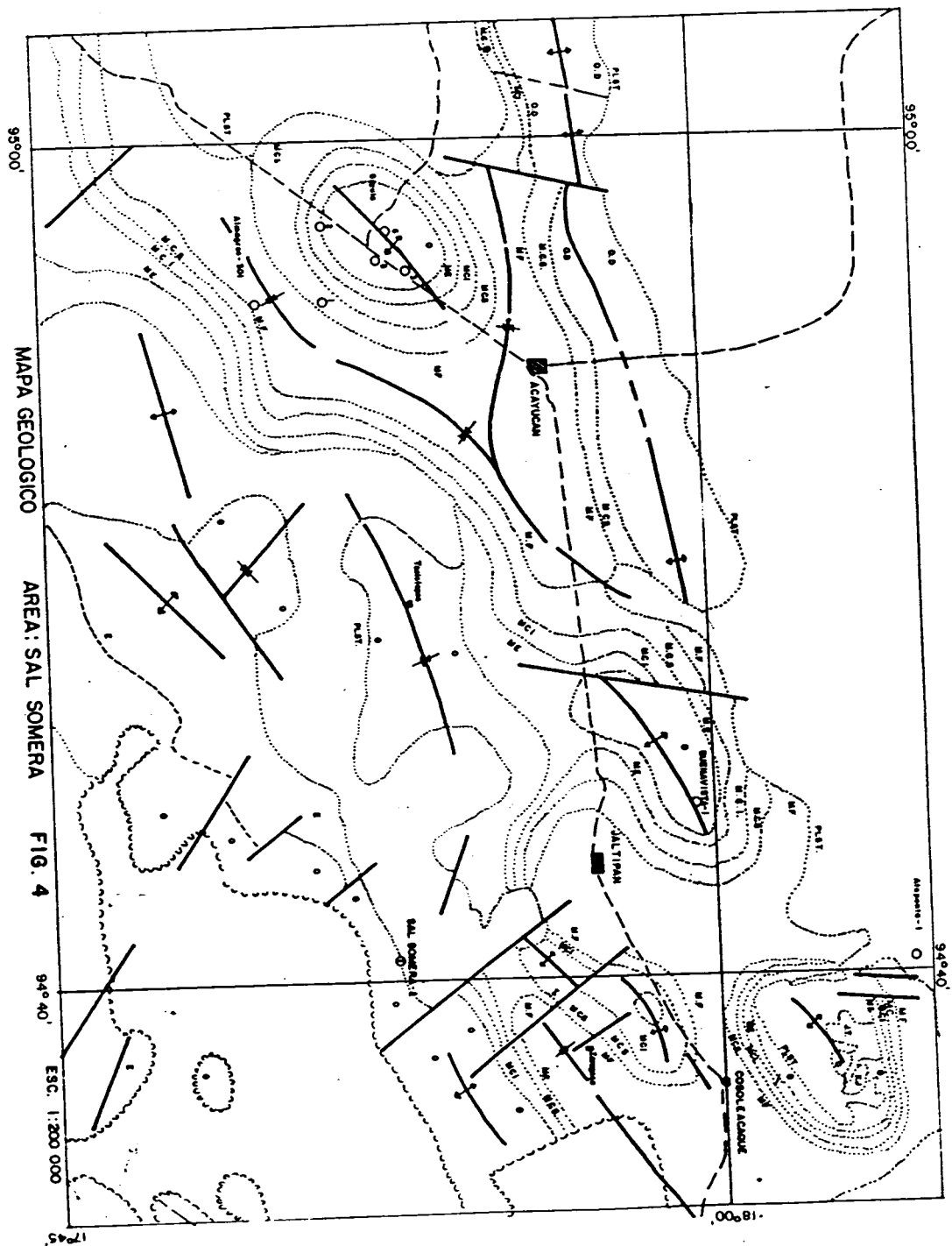
La integración de todas las disciplinas exploratorias disponibles, tanto geofísicas como geológicas se llevó a cabo analizando los resultados de cada método y sistema exploratorio en la secuencia lógica de su aplicación, como sigue: GEOLOGIA SUPERFICIAL, GEOLOGIA DEL SUBSUELO, MAGNETOMETRIA, GRAVIMETRIA, SISMOLOGIA y otros métodos auxiliares. Como resultado se tiene un bosquejo de la conformación de la masa salina y la potencia estimada de los sedimentos subsalinos.

G E O L O G I A .

GEOLOGIA SUPERFICIAL.

La estratigrafía reportada por geología superficial corresponde esencialmente a una secuencia arcillo-arenosa que forma fajas sensibles paralelas a la Costa para los distintos períodos geológicos dispuestos de tal manera que las formaciones más antiguas afloran en las estribaciones de la Sierra de Chiapas y las más jóvenes, progresivamente hacia el Norte hasta llegar a la Costa. (Fig.4).

Las afloramientos presentes en el área, van del Reciente al Eoceno distribuidos como sigue: El Plioceno en las partes topográficamente bajas; el Mioceno en gran parte de la llanura costera del Golfo; el Oligoceno en el frente de la Sierra Madre y al Sureste de Minatitlán y el Eoceno en áreas relativamente pequeñas al Oeste de Hidalgotitlán y en el Curso del Río Coatzacoalcos.



Por lo que corresponde al Mesozoico, la caliza Sierra Madre del Cretácico Medio sólo aflora en las estribaciones de la Sierra y el --- Cretácico Inferior-Jurásico Superior presenta sus principales afloramientos en el Cerro de Chinameca al Noreste de Minatitlán, Ver.

GEOLOGIA DEL SUBSUELO.

Mediante la perforación de los pozos azufreros y aquellos en busca de aceite, se ha establecido que la secuencia estratigráfica que sobreyace a la sal es arcilla-arenosa y el "Cap-rock" constituido esencialmente por calizas, anhidritas y en ocasiones yeso.

Existen algunas perforaciones en la parte austral de la masa salina, que han alcanzado profundidades del orden de 500m. y algunos hasta 700m. con dominio de sedimentos arcillosos, aunque no se dispone de registros eléctricos para confirmar la litología. Por otra parte, los pozos perforados alrededor de la masa salina Somera, como Manatí, Oaxaqueña, Jaltepec, Palmiro, Sayula y Ateponta, muestran algunos horizontes arenosos y en los de la porción Sur, algunos de conglomerados.

Las manifestaciones de hidrocarburos más importantes se reportan en los pozos Encantada 11 y 30 con flujo de gas y condensado hasta su taponamiento; el pozo Medias Aguas No.50, tuvo flujo de gas y aceite durante su perforación; en el campo azufrero de Texistepec, uno de los pozos tuvo también flujo de gas y aceite; y el más reciente de todos ellos, el denominado Lajillas 1, en la localidad donde actualmente se perfora el pozo Sal Somera 1, tuvo flujo de aceite y gas, se observó aceite en las calizas del "Cap-rock" y como caso insólito, en los núcleos cortados desde la profundidad de 74 m. hasta los 445.9 m., la sal tuvo impregnación de aceite en algunos núcleos y gas en todos ellos.

A continuación se anotan las columnas geológicas de algunos de los

pozos perforados en las cercanías del área:

OAXAQUEÑA - 1

Mioc - Enc.	Aflora
Oligoceno	215 m
Eoceno	555 m
P.T.	2504 m

Resultado: IMPRODUCTIVO

PALMIRO - 1

Mioceno Enc.	Aflora
Oligoceno	310 m.
P.T.	2504 m
Resultado:	IMPRODUCTIVO

MANATI - 1

M. Encanto	Aflora
Olig. Sup. Dep.	230 m.
P.T.	2500 m

Resultado: IMPRODUCTIVO

JALTEPEC - 1

Encanto	Aflora
Oligoceno	555 m
Eoceno	1341 m.
Paleoceno	1665 m.
Zona Indet.	1692 m
P. Total	2938 m.

Resultado: IMPRODUCTIVO

SAYULA - 5

Oligoceno Dep.	Aflora
Oligoceno la laja	690 m
Eoceno	2240 m
P. Total	3815 m.

Resultado: IMPRODUCTIVO Seco.

ATEPONTA - 1

Formación	Mts.
Reciente	Aflora
Conc. Sup.	305 m
Conc. Inf.	770 m
Encanto	940 m
Deposito	1155 m
Olig. Med.	2290 m.
Olig. Int.	2570 m
Eoceno Sup.	2965 m.
Eoceno Med.	3440 m.
Eoceno Inf.	4495 m
Paleoceno	4790 m
Cretácico Sup.	5415 m
Prof. Total	5633 m

SAL SOMERA - 1

Formación	Mts.
Reciente Olig. Inf.	Aflora
Eoceno Sup.	75 m.
Eoceno Med.	115 m.
Eoceno Inf.	185 m
Cretácico Sup.	215 m
Sal	227 m
Prof. Total Oper.	- 3417 m

Resultado: IMPRODUCTIVO

El Pozo Sal Somera 1, inició operaciones el 15 de abril de 1982 y - actualmente reporta una profundidad de 3417 m. (Oct. 5 de 1983), - en agujero desviado, que equivale a 3,008 m. vertical. La desviación se inició a 2,962 m.

En los 215 m. de sedimentos del Oligoceno, que aflora y del Eoceno, predomina una secuencia de lutitas ligeramente calcáreas, mientras que los 12 m. del Cretático Superior que suprayacen a la sal son - lutitas plásticas con trazas de lutita bentonítica.

Dentro de todo el cuerpo salino que se inicia a 227 m. y hasta su - profundidad actual se reportan intercalaciones de lutitas y esporádicos cuerpos de unos 10 a 20 m. de espesor en los que predomina la lutita o almagre rojo.

Un cuerpo potente, con dominio de lutita, es el que se reporta en el intervalo 3222-3408 y que se manifiesta claramente en el registro del perfil sísmico vertical como un evento de impedancia acústica - notable.

G E O F I S I C A .

MAGNETOMETRIA.

La principal contribución del estudio aeromagnético realizado, -- consistió en determinar la profundidad del basamento magnético con lo cual puede deducirse el espesor probable de sedimentos subsalinos en esta área de estudio.

Las profundidades del basamento magnético tienen un rango de 8,000 a 10,000 m. en esta área, con buzamiento hacia el Norte. (Fig.5).

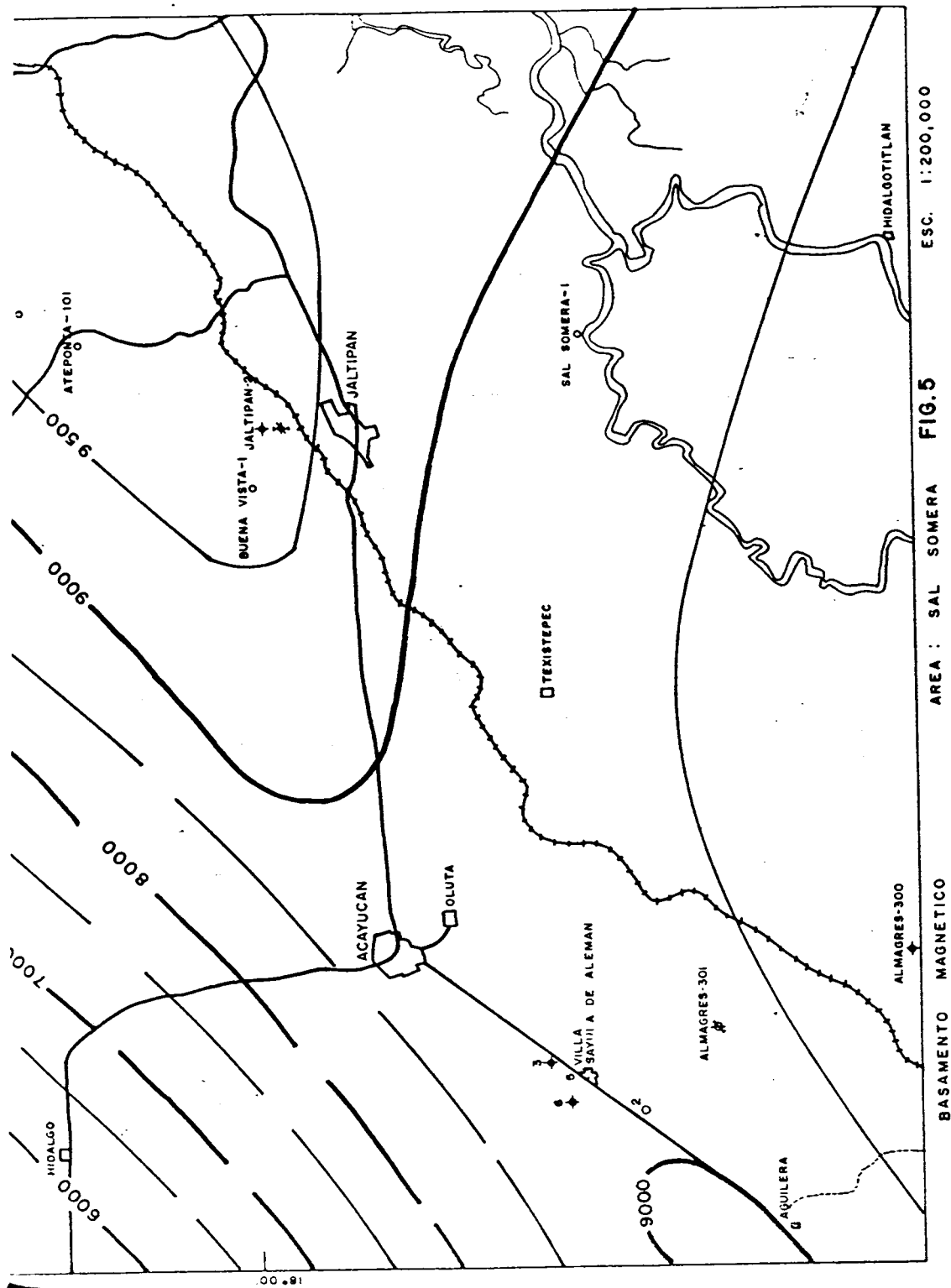
En general las anomalías magnéticas presentes tienen su origen -- dentro de la columna sedimentaria, sin embargo, algunas de ellas -- corresponden con el basamento magnético, lo cual significa que -- este se relaciona tectónicamente con la deformación estructural. (Fig. 6).

Las anomalías magnéticas residuales de segunda derivada vertical muestran un cierre positivo en la localidad del pozo Sal Somera 1, indicando que el cuerpo causante se ubica dentro de la columna -- sedimentaria o bien es resultante de un levantamiento suave del -- basamento (Fig. 7).

GRAVIMETRIA.

Se han desarrollado diferentes trabajos gravimétricos a partir de 1925 en que se efectuó un levantamiento con balanza de torsión.

El mapa de anomalías de Bouguer disponible (Fig.8), define una serie de alineamientos negativos que representan el fenómeno salino

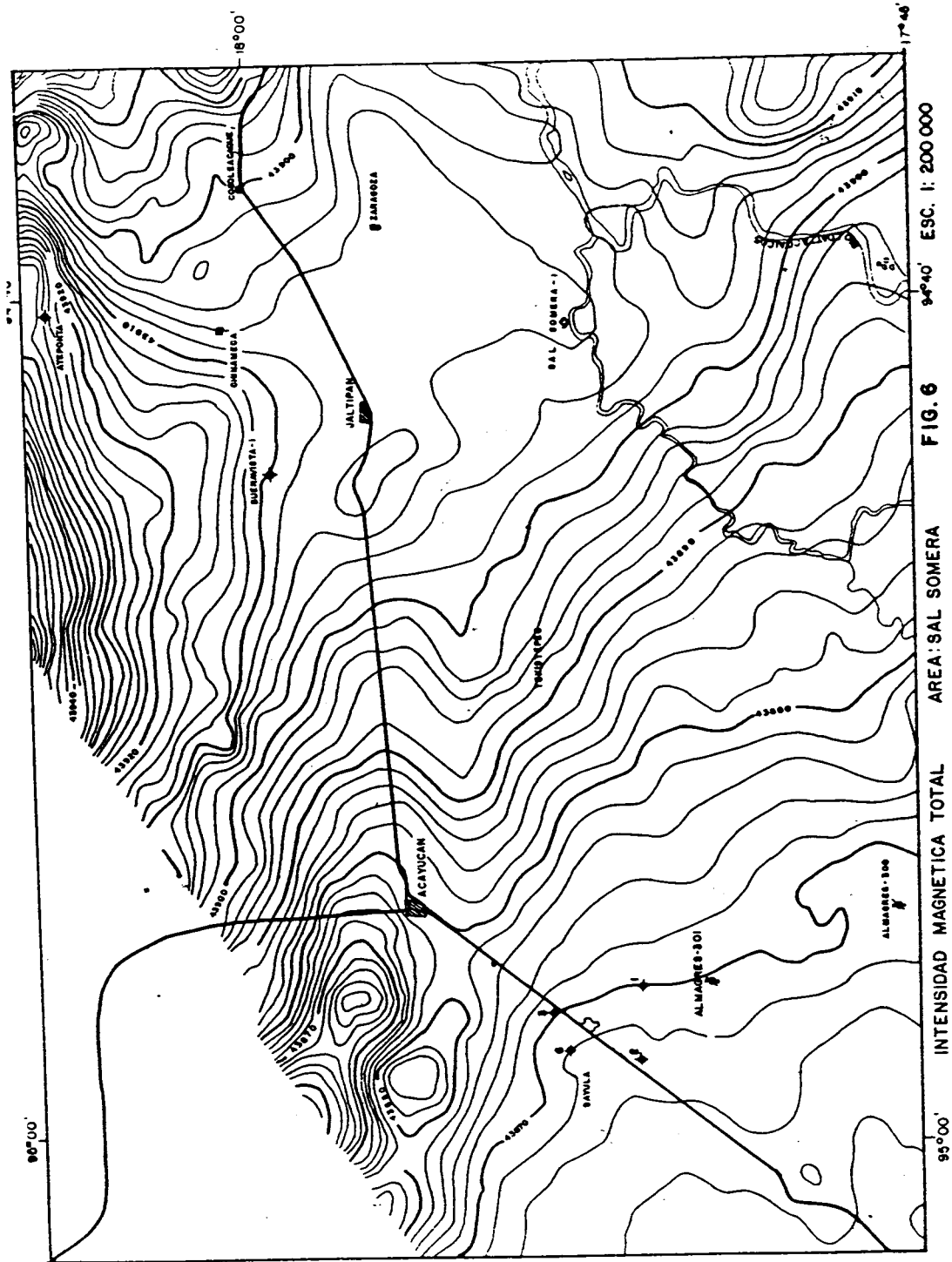


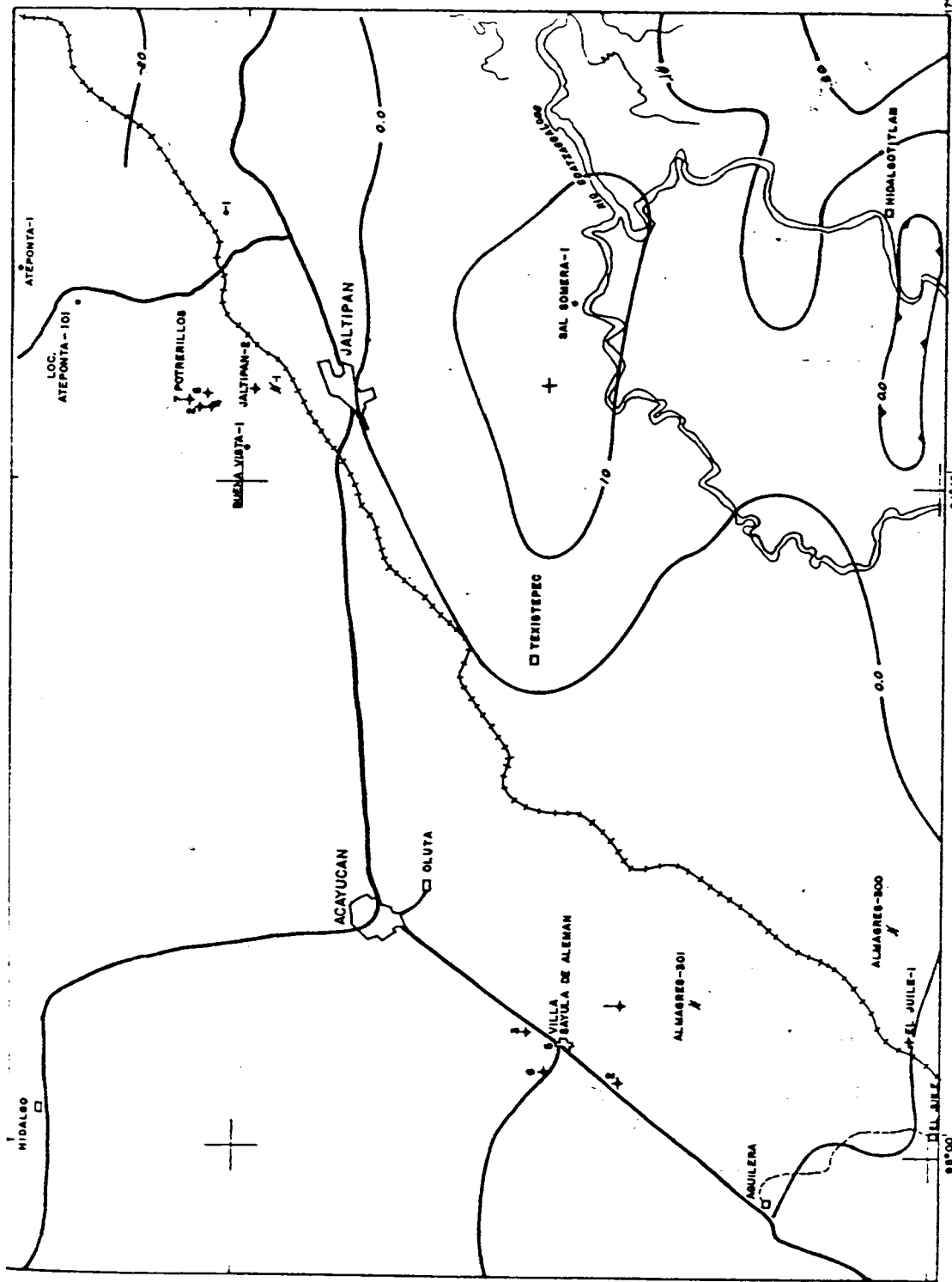
ESC. 1:200,000

FIG.5

AREA : SAL SOMERA

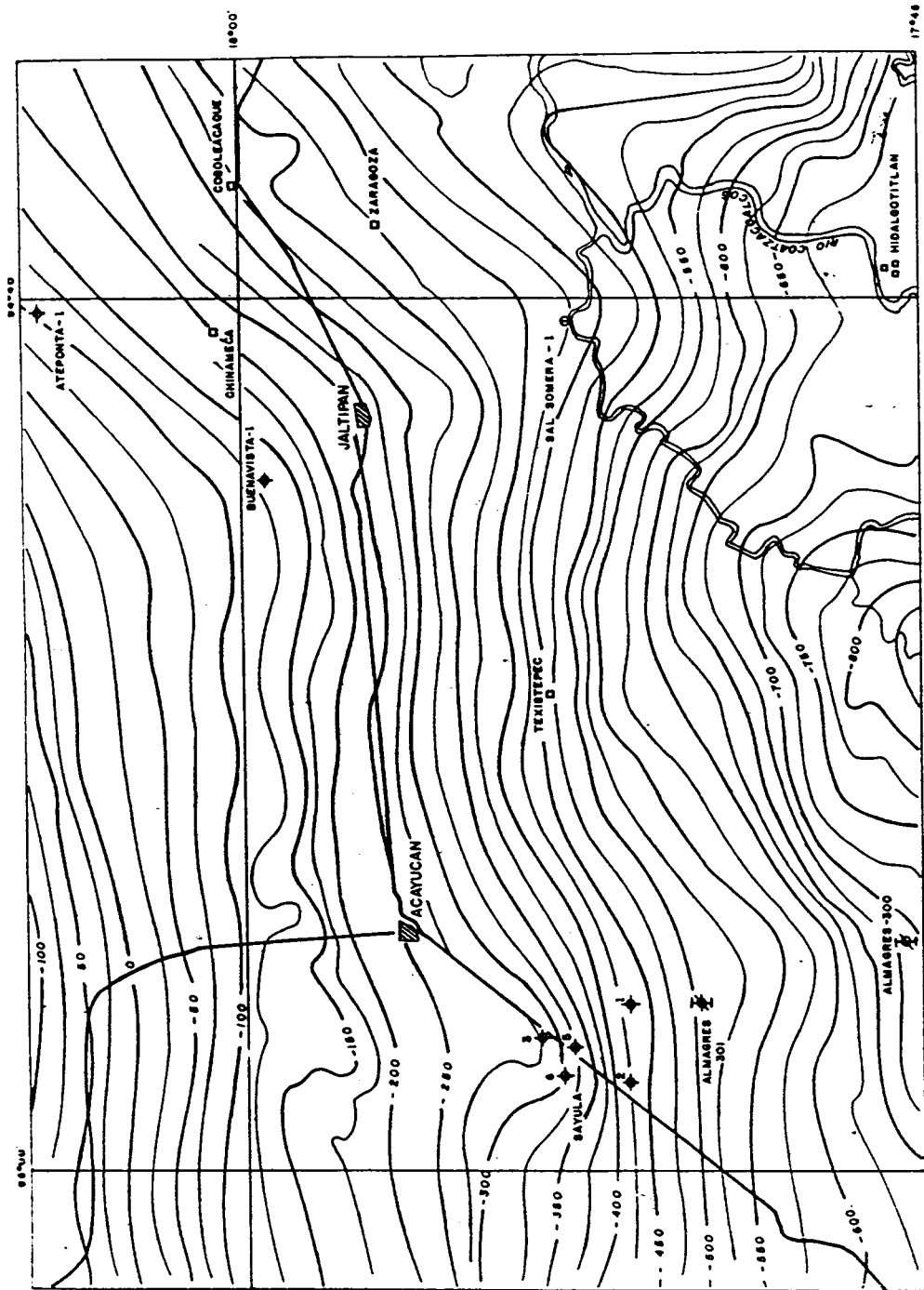
BASAMENTO MAGNETICO





ANOMALIAS MAGNETICAS SEGUNDA DERIVADA VERTICAL

AREA: SAL SOMERA FIG. 7 ESC. 1:200 000



ANOMALIA DE BOGUER AREA: SAL SOMERA FIG. 8 ESC. 1:200 000

del área, mientras que en los diversos mapas de residuales de primer y segundo orden obtenidos (Fig. 9), se manifiestan algunos cierres positivos que forman un alineamiento orientado NW-SE.

La interpretación de toda la información disponible, permitió en 1978 proponer la perforación de la localización exploratoria Sal Somera 1 con el objetivo de atravesar la capa de sal e investigar las posibilidades petrolíferas de los sedimentos subsalinos. Actualmente el pozo se encuentra en perforación.

En el presente trabajo, la interpretación gravimétrica del área se inició analizando cualitativamente los mapas de anomalías y observando los gradientes, para obtener un criterio en la determinación de estructuras por definir.

Posteriormente, la interpretación cuantitativa permitió la elaboración de los modelos geológicos bidimensionales en los cuales se integraron los datos geológicos y geofísicos y que a continuación se describen.

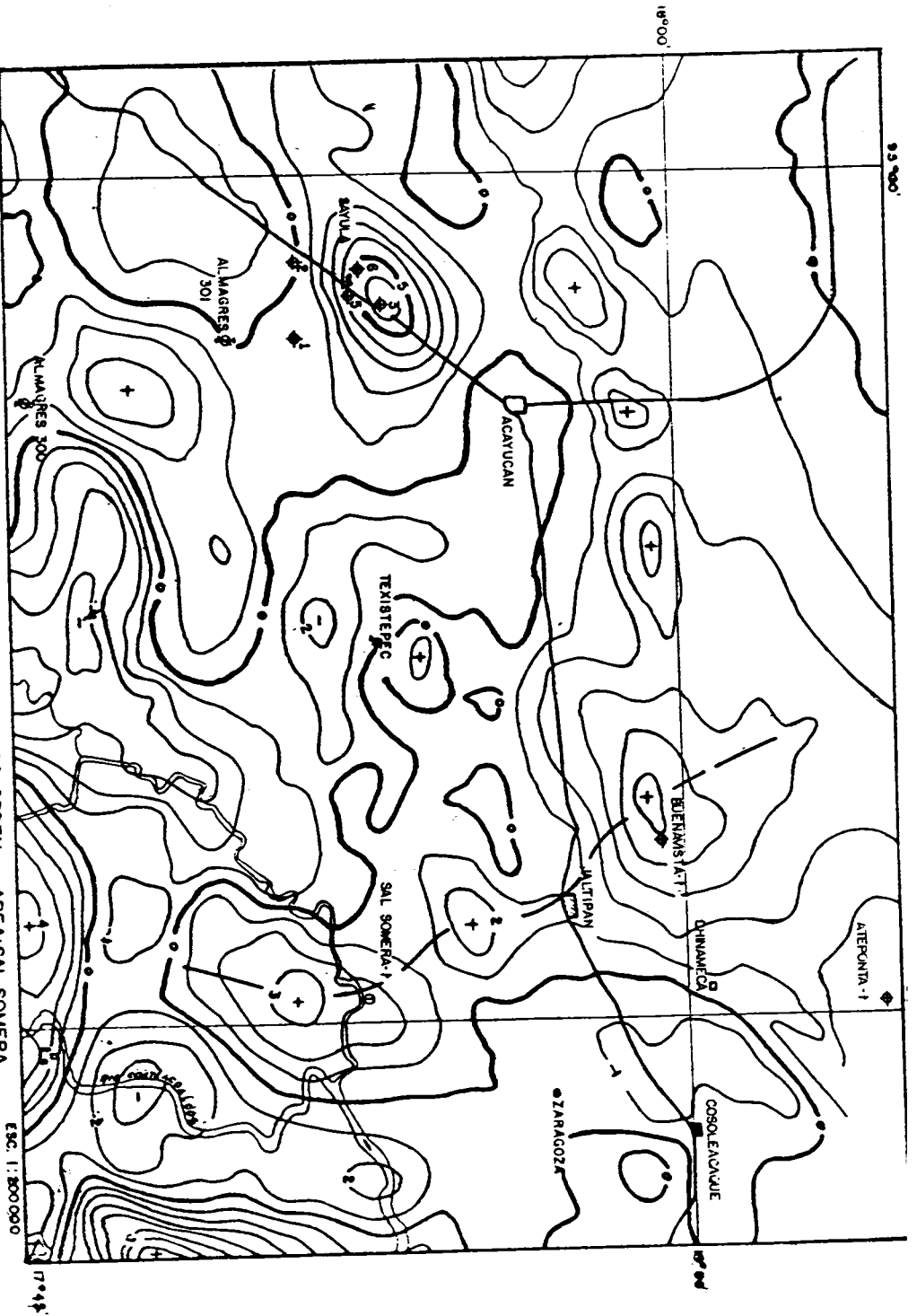
INTERPRETACION GRAVIMETRICA ESTRUCTURAL.

Con el objeto de poder evaluar cuantitativamente el espesor de la sal o bien disponer de otro argumento que apoye la postulación de un paquete sedimentario subsalino muy pobremente representado en las secciones sismológicas, se efectuó el modelado gravimétrico bidimensional, habiéndose seleccionado los 2 perfiles mostrados en las figuras 10 y 11, que coinciden con las líneas sismológicas disponibles, de tal manera que se pueden combinar e integrar los resultados de ambos métodos.

Para el modelado de cada uno de los perfiles se postuló un modelo geológico a partir de la información sismológica y éste se fue modificando a través de numerosas iteraciones hasta llegar a obtener un ajuste considerado satisfactorio, entre la anomalía de Bouguer observada y la calculada.

ANOMALIAS GRAVIMETRICAS RESIDUALES DE SEGUNDO ORDEN AREA: SAL SOMERA

FIG. 9



En el cálculo de los modelos se empleó el programa de computadora del Departamento de Nuevas Técnicas de la Superintendencia, el cual se basa en el algoritmo matemático de Talwan. Los valores de densidades en los modelos se asumieron como promedio por paquete sedimentario como sigue: Sal - 2.18 gr/cm^3 ; sedimentos Terciarios - 2.30 gr/cm^3 ; sedimentos Mesozoicos - 2.65 gr/cm^3 ; Basamento - 2.80 gr/cm^3 .

PERFIL GRAVIMETRICO 1 (LINEA 34 A/11).

Este perfil (Fig. 10) coincidente con la línea sismológica 34 A/11, tiene una orientación SW-NE y esta representado gravimétricamente por una anomalía de Bouguer predominante negativa asociada con dos expresiones positivas de menor amplitud, en sus extremos.

Durante el modelado de este perfil gravimétrico el modelo geológico original fué modificado sucesivamente hasta lograr una aproximación satisfactoria desde el punto de vista geológico. La solución finalmente aceptada, muestra un alto estructural de los sedimentos mesozoicos en la localidad de la estructura Sayula, estimándose de acuerdo al modelo, que la cima del Cretácico se encuentra aproximadamente a 5,000 m. de profundidad.

El ajuste gravimétrico del mínimo predominante presentó mucha dificultad debido a que el espesor del cuerpo de sal con intercalaciones de lutitas se había supuesto mucho menor que el resultante después del modelado.

El ajuste finalmente logrado, permite considerar que la solución representada por el modelo geológico es confiable desde el punto de vista gravimétrico. El cuerpo salino modelado tiene un espesor máximo aproximadamente de 5,100 m. en la porción donde la anomalía negativa está más acentuada.

PERFIL GRAVIMETRICO 11 (LINEA 1/27)

Este perfil gravimétrico (Fig. 11), tiene una orientación W-E y coincide con la línea sismológica 1/27, que uno los pozos Sayula 5 en el

idente y Sal Somera en el Oriente. El aspecto del perfil gravimétrico es similar al anterior, es decir, la anomalía de Bouguer es predominantemente negativa con sus extremos positivos, en los puntos control..

El modelo geológico resultante muestra un espesor máximo de sal, de aproximadamente 5,500 m. en el centro de la anomalía negativa. La masa salina se adelgaza fuertemente hacia el Occidente acunándose contra los sedimentos terciarios. Los sedimentos mesozoicos muestran un levantamiento en las localidades de la estructura Sayula y Sal Somera, estimándose que su cima de acuerdo con el modelo, se encuentra a unos 5,000 m. en la primera y 6,000 m. en la segunda.

La porción Oriental del perfil, en la localidad del pozo Sal Somera el ajuste fue suficientemente satisfactorio como para considerar fiable el modelo en esta porción en la que la masa salina parece representar la menor contribución, estimándose que su base se encuentra aproximadamente a 3,900 m. de profundidad.

SISMOLOGIA.

La potencia y homogeneidad propia de la masa salina, la operación sísmológica no ha tenido la resolución suficiente para definir el patrón estructural del área. En las vecindades de la misma, se han efectuado trabajos sísmológicos, tanto analógicos como digitales, principalmente al Norte y al Este del área. Las líneas sísmológicas que parcialmente han logrado proporcionar alguna información del área muestran reflejo característico de la sal. De otros intentos por obtener información subsalina en el área, se cuenta con algunas líneas sísmológicas observadas con vibrosismo como fuente de energía, sobre caminos naturales únicamente, en las que se logran obtener eventos de reflexión regular calidad por debajo de la supuesta base de la sal y que han correlacionados hasta los puntos de control que son los pozos perforados alrededor del área.

ION SISMOLOGICA REGIONAL.

Al fin de comprender la situación estructural en la localidad estu-

MODELADO GRAVIMETRICO
 AREA: SAL SOMERA
 PERFIL LINEA 34A/II



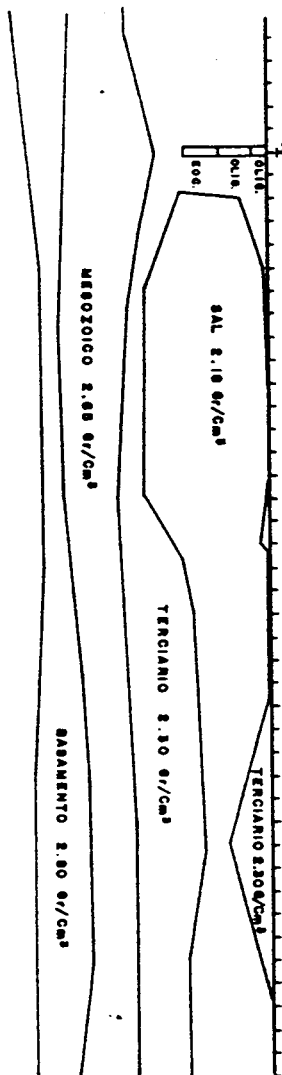
ANOMALIA DE BOUGUER (U.G)

-280
-300
-320
-340
-400

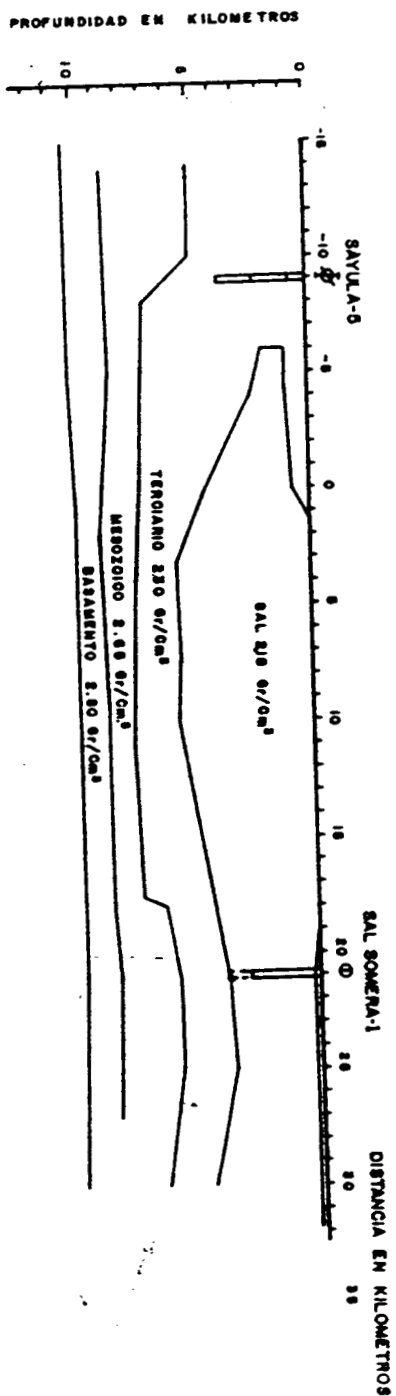
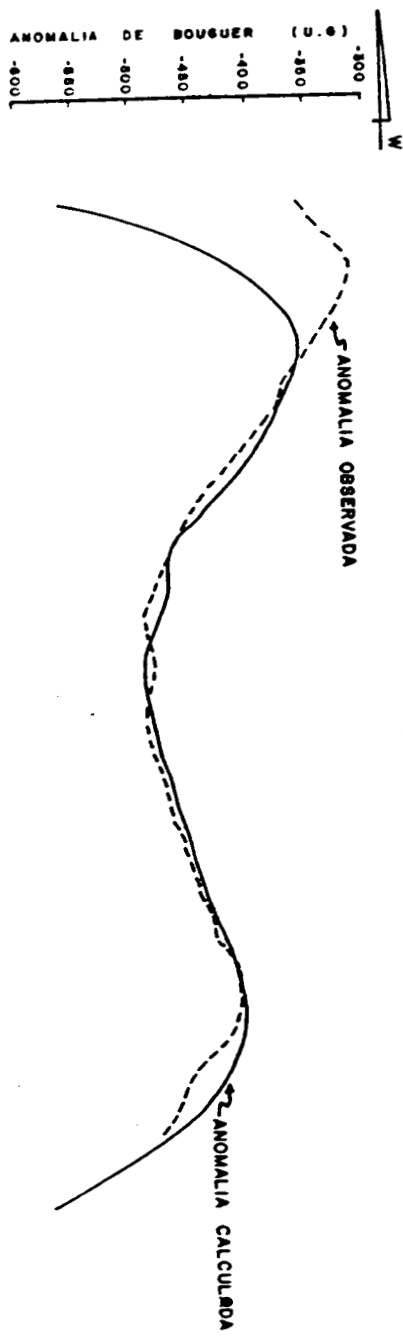


PROFUNDIDAD EN KILOMETROS

0
-2
-4
-6
-8
-10



MODELADO GRAVIMETRICO
AREA: SAL SOMERA
PERFIL LINEA 1/27



diada, dentro de un marco de deformación estructural regional, se construyó una Sección Sismológica Regional (Fig. 12), partiendo del pozo Sayula No. 5 en el Occidente hasta el Pozo Sal Somera No. 1 en el Oriente.

Se emplearon las líneas sismológicas siguientes:

34/11 y 34 A/11 del Area Mata Verde, PRC-Analógica; 30/38 y 31/38 del Area Mata Verde, PRC-Digital; 1/27 del Area Sal Somera, PRC-Digital.

En la correlación de horizontes dentro de esta sección sismológica regional, apoyada en la presencia de eventos de reflexión de regular a buena calidad, se consideró la información de los pozos Sayula 5 y Sal Somera 1 para control de contactos geológicos, tomando en consideración los espesores formacionales medidos en el pozo Atenponta 1, lográndose con esto, identificar y correlacionar horizontes subsalinos.

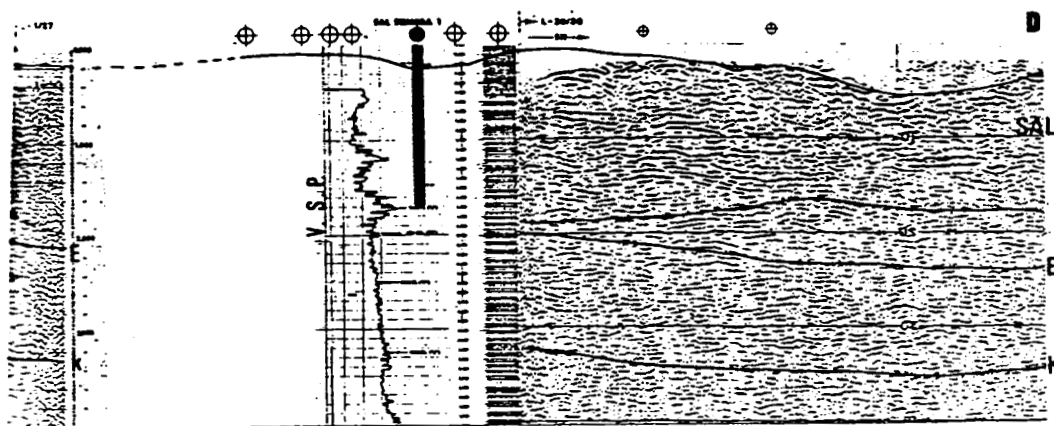
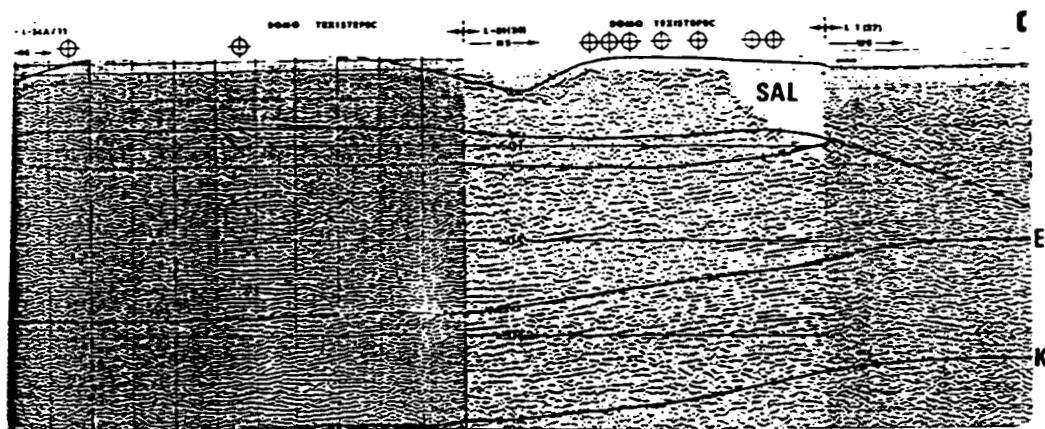
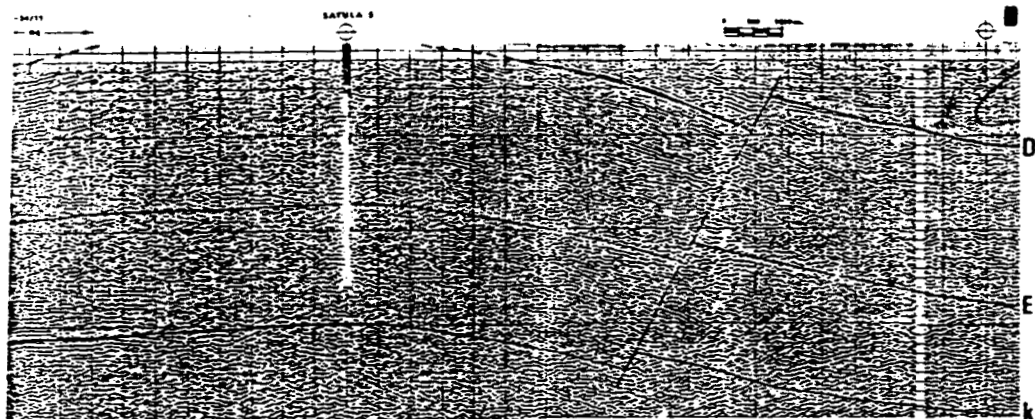
La cima de la masa salina se tiene controlada por los pozos azufreros perforados en el área y que se marcan en la misma sección regional.

Se correlacionaron tentativamente los horizontes correspondientes a la Formación Depósito del Mioceno Inferior, el Eoceno Superior y el Cretácico Superior.

En la correlación de estos horizontes, destaca la presencia de un alto estructural en la región del pozo Sayula No.5, profundizándose los horizontes hacia la región del domo de Texistepec, formando una gran depresión subsalina, con lo cual se postula la hipótesis de que el domo de Texistepec es en realidad una capa de sal que tiende a incrementar su espesor hacia el Oriente, de tal manera que el horizonte Depósito se acuña contra la misma.

En cuanto a los horizontes Eoceno Sup. y Cretácico Sup., éstos muestran un ascenso, infiriéndose un levantamiento estructural en la localidad del pozo Sal Somera No.1, en donde aparentemente se tiene un espesor considerable de sal del cual ya se han cortado 3,000 m. en el citado pozo.

Las reflexiones sísmicas de los horizontes mencionados se pueden correlacionar claramente con el registro de impedancia acústica del perfil sísmico vertical (VSP) (Fig. 13) que se obtuvo en el -----



SECCION SISMOLOGICA REGIONAL AREA: SAL SOMERA

REGISTRO VSP

SAL SOMERA I

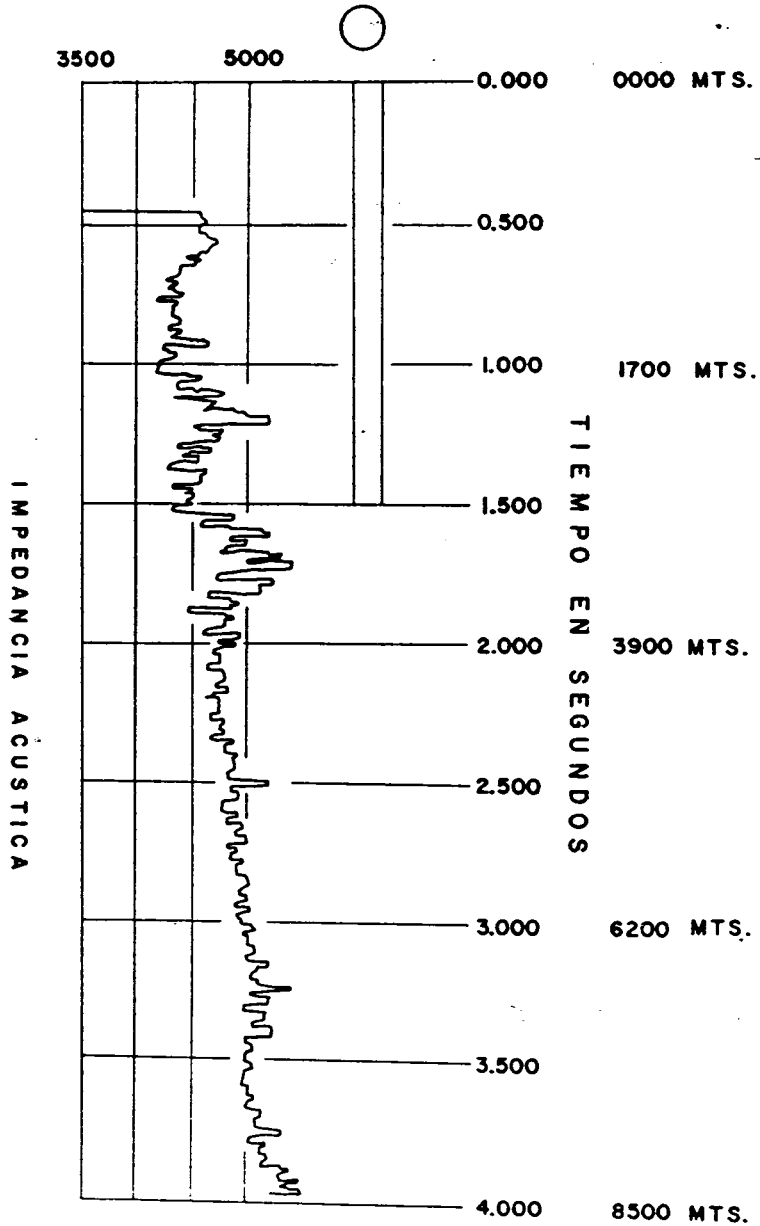


FIG. 13

pozo Sal Somera 1. En la porción extrema oriental de la sección regional, la masa Salina adquiere una forma irregular y los 2 -- horizontes inferiores son los que pueden correlacionarse, mostrando una profundización suave hacia el Oriente subyaciendo a la -- masa salina. De acuerdo con el registro VSP del pozo Sal Somera -- #1 se espera la base de la sal, a una profundidad de 3,900 m. aproximadamente ya que corresponde con un evento de impedancia acústica notable.

Este dato se consideró básico durante el modelado gravimétrico -- realizado.

PERFIL SISMICO VERTICAL (VPS).

El perfil sísmico vertical obtenido en el Pozo Sal Somera #1, -- permitió obtener información adicional para ser integrada en la -- interpretación geofísica. Uno de los resultados de este registro es la impedancia acústica que por su resolución en la definición de la secuencia sedimentaria, es muy útil en la predicción de las variaciones litológicas.

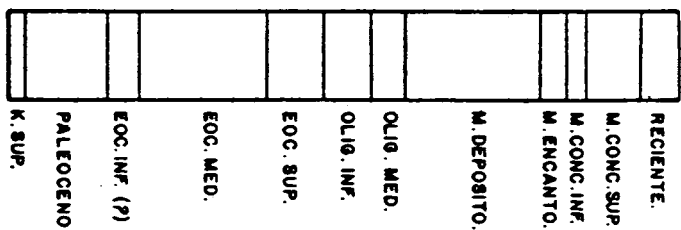
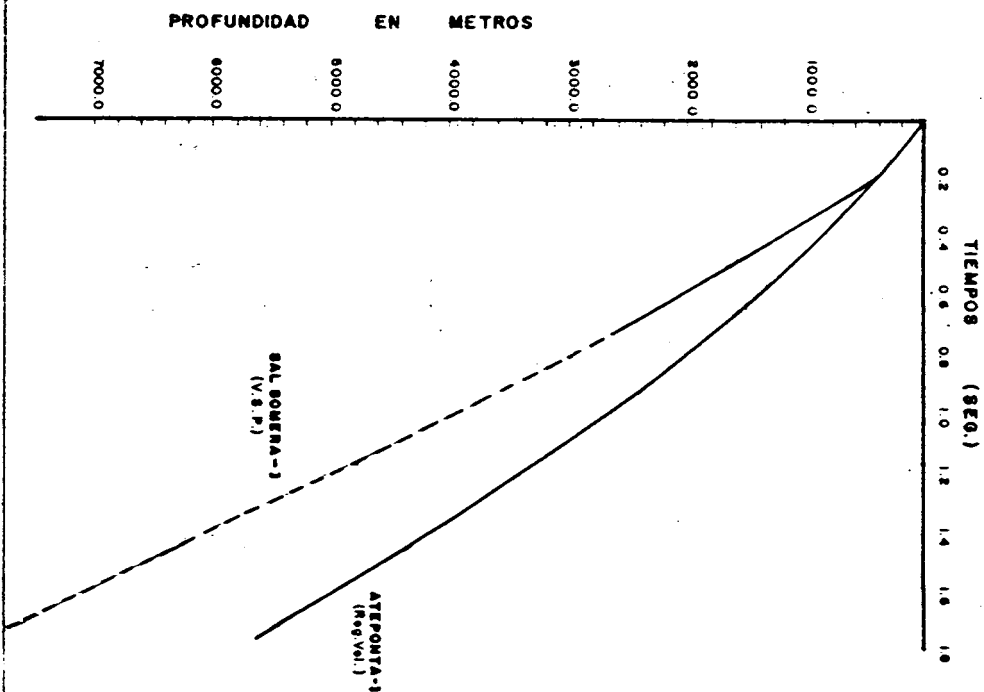
En este perfil sísmico vertical destacan cuatro horizontes reflectores considerados confiables ya que son notables tanto en la -- traza de impedancia acústica como en la de coeficiente de reflexión. Los cuatro horizontes se sitúan a las profundidades de 3,300, 4,200, 5,160 y 6,950 m. de acuerdo con la gráfica T-Z extrapolada, del -- Pozo Sal Somera #1. (Fig. 14).

Estos reflectores y los contactos geológicos del pozo Sayula No.5 -- permitieron la correlación de los horizontes identificados como -- Eoceno Superior y Cretácico Superior tentativo, así como la posible base de la masa salina.

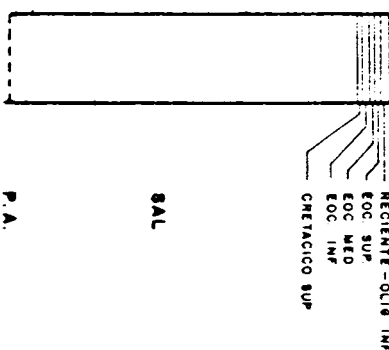
MAGNETOTELURIA.

Con el fin de disponer de otra herramienta de interpretación en

LEYES DE VELOCIDADES



ATEPONTA-1



SAL SOMERA-1

ESC. 1:500,000

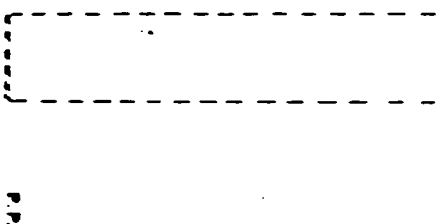


FIG. 14

GRAFICA ρ_a/z

RESISTIVIDAD APARENTE (OHM-M)

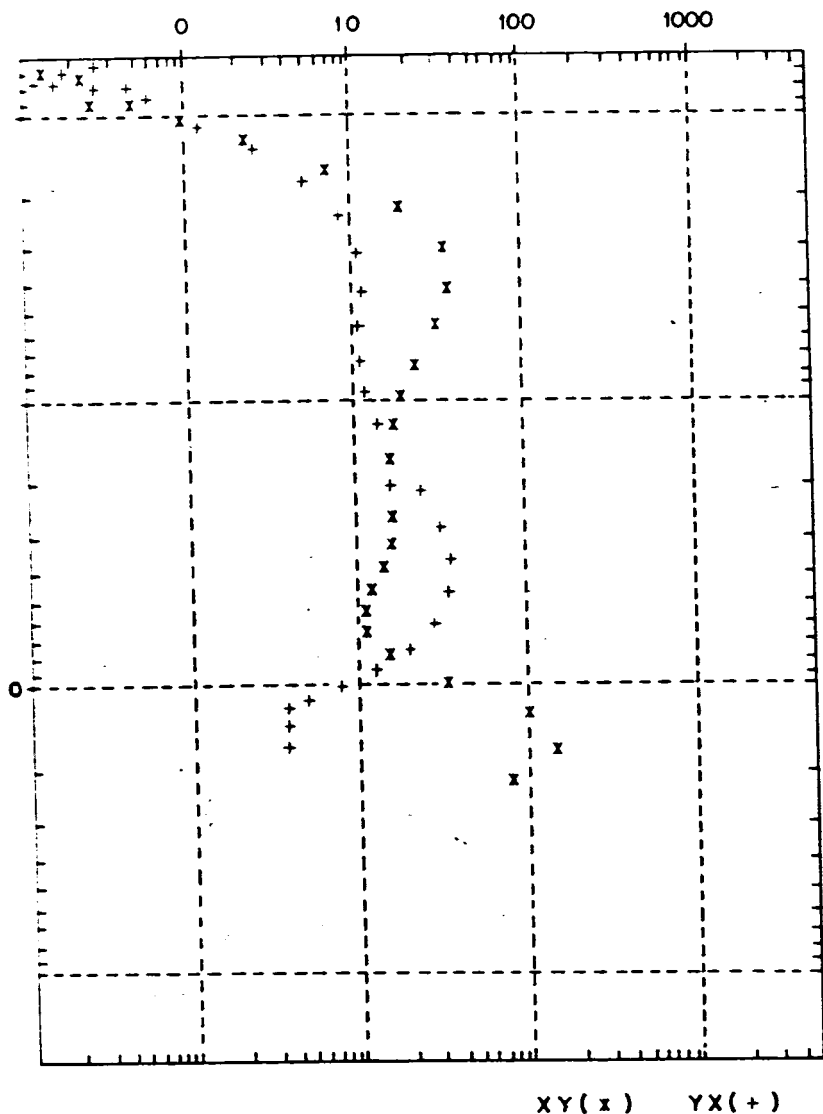


FIG. 15

el área, se efectuó un trabajo operacional con el método magnetotélúrico, que se encuentra en la fase de interpretación, sin embargo, de manera preliminar se dispone de la gráfica de resistividad (Fig.15), la que cualitativamente se ha analizado, deduciéndose de ella que los dos más fuertes contrastes de resistividad se sitúan a las profundidades de 200 y 4,000 m. aproximadamente. Estos datos también se han integrado a la interpretación geofísica principalmente en la fase del modelado gravimétrico, para la definición del modelo geológico postulado.

La interpretación más detallada, de la información de magnetotelúrica culmina con el modelado, cuyos resultados aún no se conocen, lo que puede confirmar o modificar los resultados preliminares mencionados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los resultados de la integración e interpretación de toda la información geofísica y geológica disponible en el área se consideran confiables y permiten derivar algunas conclusiones que se mencionan a continuación:

La disponibilidad de información obtenida con varias disciplinas exploratorias tanto geofísicas como geológicas, en este estudio, permitió llegar a una solución confiable en el aspecto estructural del área, lo cual representa un avance en su evaluación económica petrolera,

Se ha logrado bosquejar la morfología de la masa salina y estimar la potencia de los sedimentos subsalinos, en la porción Norte del área.

De acuerdo con el modelado gravimétrico, la información sísmica y la magnetotelúrica, se apoya la hipótesis derivada del perfil sísmico vertical, en el sentido de que la base de la sal en el pozo Sal Somera 1 se encontrará a una profundidad aproximada de 3,900 m. y la cima del paquete sedimentario mesozoico a 5,500 m. aproximadamente.

Se definen algunas otras anomalías gravimétricas positivas en la que de acuerdo con el modelado, se esperan los menores espesores de sal, por lo que se recomienda efectuar un trabajo sismológico de detalle sobre esas localidades con el objeto de confirmar la posible presencia de trampas estructurales.

Posteriormente a la elaboración de el presente trabajo la perforación del pozo Sal Somera-1 nos reportó la salida de la sal a una profundidad de 3,770 m entrando a sedimentos terrígenos de edad Eoceno con fluorescencia amarillo claro y altas lecturas de sal, con lo que se está cumpliendo con el objetivo de explorar los sedimentos subsalinos.

R E F E R E N C I A S.

- 1 - AEROFOTO Estudio Aeromagnético de la Cuenca Salina del -
Istmo. INF. MAGNETOMETRICO Z.S. ABRIL 1981.
- 2 - ALVAREZ B., Dr. Ramón - Método Magnetotelúrico (Notas 1983).
- 3 - ARELLANO B., Ing. Enrique - Area: Tonalapa, Ver. INF. SISMO
LOGICA Z.S. 1972.
- 4 - C A A S A. - Area JALTIPAN. Prosp. ATEPONTA-SALTILLO.
INF. SISMOLOGICO Z.S. 1977
- 5 - C O M E S A - Registro V.S.P. Pozo SAL SOMERA No.1.
INF. SISMOLOGICO Z.S. MARZO 1983.
- 6 - C O M E S A - Registro de Velocidades Pozo ATEPONTA No.1
INFORME SISMOLOGICO Z.S.
- 7 - EXPLORACIONES DEL SUBSUELO S.A. - Interpretación Cuantitativa
del Campo Gravimétrico.
INF. GRAVIMETRICO Z.S. --
Julio 1978
- 8 - P. KENNETT R. - Perfiles Sísmicos Verticales
L. IRESSON AMGE Vol. XXII 1981
P.J. CHON
- 9 - PONCE DE LEON, Ing. José - Prosp. JALTIPAN. Localización La
jillas 100.
INFORME GRAVIMETRICO Z.S. DIC.1978
- 10 - RIVERA JACOME, Ing. Juan B - Area: MATA VERDE
Inf. SISMOLOGICO AGOSTO 1974
- 11 - SANCHEZ O., Ing. Benajmín - La Anhidrita y su Comportamiento.
IV SEMINARIO GEOFISICA MARZO 1973.
- 12 - SANTIAGO ACEVEDO, Ing. José - Cuenca Salina del SE de México,
VAZQUEZ VERA, Ing. A berto Pozos Area Masa Salina.
INF. GEOLOGICOS Z.S. MARZO 1972

DESCRIPCION Y APLICACION DEL ENFOQUE OPTIMO

DE LA SEÑAL SISMICA *

Por: Sr. Jesse R. Cornett
Ing. Héctor Palafox
Ing. Jesús Alvarez

1. INTRODUCCION.

Uno de los problemas que se afrontan normalmente en la operación sísmica, es la reducción de la relación señal a ruido - por la falta de concentración de energía y principalmente en eventos someros, debido al uso de tendidos largos y al tipo de patrones de tiro empleados para atenuar ruidos de alta velocidad, más aún cuando los trabajos están enfocados a objetivos someros y/o estratigráficos.

Otro problema que se suma al anterior es la falta de enfoque de la energía a ciertas formaciones que tienen diferentes echados.

Los problemas anteriores se deben a que generalmente la señal sísmica además de ser interferida por ruidos superficiales y ambientales, sufre atenuaciones por divergencia esférica, absorción y fuertes cambios en el coeficiente de reflexión a ángulos - muy alejados de la incidencia normal, que atenuan a la señal recibida en trazas lejanas y principalmente provenientes de formaciones someras.

* Método desarrollado en la Compañía Mexicana de Exploraciones, S.A. (COMESA) por el Sr. J. Cornett. También la denominan "Beam - Steering".

Si se usan patrones o arreglos largos en la fuente de tiro, los ruidos pueden ser atenuados fuertemente, pero las señales provenientes de dicho arreglo de energía que se reflejan en horizontes someros y se registran a largas distancias, llegan defasadas con la consecuente deformación y atenuación de la onda registrada.

Para esto se desarrollaron técnicas de enfoque de la energía sísmica (Rogers, B.H., 1963 y Snodgrass, H.R., 1963) - aplicando pequeños retrasos de tiempo, calculados de acuerdo con la profundidad y echado de los reflectores, en los cuales a ciertas distancias y para una profundidad y echado determinado se tenía el máximo enfoque en los cuales las señales provenientes de los diferentes componentes del patrón de tiro, llegaban en fase.

Esta técnica tenía la limitación de enfocar una sola parte y a una sola distancia sin considerar otros objetivos más someros o más profundos.

La técnica "ENFOQUE MOVIL DE LA SEÑAL SISMICA", también denominada "ENFOQUE OPTIMO DE LA SEÑAL SISMICA" *, tiene la ventaja de enfocar la señal sísmica en diferentes profundidades y distancias en un sólo registro, empleando una fuente múltiple de tiro o de vibración sin importar el echado de las formaciones (Figuras 1 y 2), mejorando la relación señal a ruido al concentrar

* Técnica desarrollada en COMESA por el Sr. Jesse R. Cornett, 1980.

y poner en fase las señales provenientes de la fuente múltiple (patrón de tiro).

Para el caso de horizontes reflectores planos, como se presenta en la Figura 1, el enfoque óptimo de la energía sísmica se logra desplazando o barriendo el lóbulo de radiación de energía concentrada a diferentes ángulos, hasta obtener en cada punto de detección, la máxima amplitud de la señal reflejada en los diferentes horizontes reflectores. Así para un punto de detección pueden recibirse señales de diferentes horizontes con la energía concentrada enviada desde la fuente energía enfocada a diferentes ángulos y reflejada en diferentes reflectores.

En la Figura 1, se tiene en forma esquemática el tipo de enfoque de energía para diferentes distancias y provenientes de diferentes profundidades, presentándose una comparación en el tipo de evento que se registraría con y sin enfoque de energía, cuya diferencia es mayor para eventos someros y a grandes distancias del punto de detección con respecto al punto de tiro o vibración. Cuando se tienen horizontes reflectores con diferente echado, y a diferente profundidad, como lo presenta la Figura 2, se consideran 2 casos; uno tirando en contra del echado y otro a favor del echado. Cuando se tira contra el echado el efecto de la falta de concentración de energía es mucho menor que cuando se tira a favor del echado: En este sistema como el enfoque es móvil, logra enfocar la señal para diferentes distancias y profundidades,

llegándose a tener grandes mejoras principalmente cuando se trata de eventos superficiales provenientes de horizontes observados a favor del echado, tal como lo muestra esquemáticamente la Figura 2, para señales que se recibirían con y sin enfoque de energía a diferentes distancias provenientes de diferentes profundidades y observados a favor y contra el echado.

2. DESCRIPCION GENERAL DEL METODO.

2.1 Operación de Campo.

Este método requiere de una fuente múltiple en el cual se debe obtener un registro por cada disparo o punto de vibración distribuidos dentro de un arreglo o patrón predeterminado; con el tendido fijo en una posición de tal manera que se tendrán N registros de un patrón de tiro para un sólo perfil. (Figura 3).

Si se usa dinamita se requiere disparar por separado cada uno de los pozos que conforman el patrón de N tiros y obteniendo un registro por pozo. Si se emplea vibrosismo debe obtenerse un registro por cada posición de barrido, con los vibradores lo más junto posible para evitar la distorsión de altas frecuencias, siendo conveniente que el equipo cuente con correlador integrado al sismógrafo para obtener un registro correlacionado por cada (posición) barrido y sin efectuar la suma de ellos.

En esta forma se tiene un registro por cada una de las

iones y a la vez N registros de cada una de las trazas -
as del tendido.

2.2 Procesado.

El diagrama de proceso sísmico, se presenta en forma ge, en la Figura 4, en la cual a cada registro del patrón de - se le hace la edición, demultiplexado, aplicación de ganancias, filtrado de frecuencias si fuese necesario, para posteriormente aplicar los siguientes procesos:

- a) De cada uno de los registros que integran un punto de tiro (vibrado) se sacan y agrupan todas las trazas 1, 2, etc. hasta tener grupos de trazas 1, grupos de trazas 2, etc. de un sólo punto vibrado o de tiro.
- b) Posteriormente a cada grupo de trazas, se aplican - pequeños retrasos y adelantos de tiempo múltiples de σ (del orden de milisegundos), a las diferentes trazas que corresponden a un sólo punto de detección - provenientes de un sólo patrón de vibración. Estos retrasos o adelantos deben ser simétricos al centro del patrón de tiro o vibración, lo cual da origen a enfocar la energía en diferentes direcciones de acuerdo con el valor de σ .

Así por ejemplo en el caso del patrón de 11 barras como el que se presenta en la Figura 5, la traza correspondiente al tiro central no se le da ni atraso ni adelanto. A las dos trazas laterales se les asigna un valor de $+\sigma$ y $-\sigma$, respectivamente. A las dos siguientes se les da un valor de $+\sigma$ y $-\sigma$, y así consecutivamente hasta llegar a los 2 extremos, a los que se les da el valor de $+\sigma$ y $-\sigma$, donde $\sigma = \Delta T$; tal como se muestra en la Figura 5. Con esto se enfoca la energía con la dirección presentada en la Figura 5. Al variar el valor de ΔT ó σ se cambia el enfoque de la energía.

- c) Las trazas agrupadas se suman con los diferentes retrasos y adelantos de tiempo σ entre trazas de cada grupo. De esta forma para cada valor de σ ó ΔT , se tiene un enfoque de energía (Figura 6) y a su vez se puede obtener un registro o sismograma con un cierto enfoque de señal sísmica y el conjunto de ellos representará el enfoque de esta señal a diferentes ángulos con respecto a la vertical. En estos registros se podrá observar que de acuerdo con el ángulo de enfoque, la señal se concentra o se mejora en ciertas partes del sismograma en donde las señales del patrón de tiro, se ponen en fase y se obtiene la máxima amplitud, tal como lo muestran las Figu

ras 7 y 8 hechas para un modelo teórico de una traza alejada de la fuente de energía a 1.8 seg., considerando únicamente el defasamiento de las señales provenientes de un patrón de tiro de 11 elementos y sin considerar las pérdidas de altas frecuencias por efectos de absorción.

- d) Por medio de la correlación cruzada, el programa - de enfoque de energía se encarga de seleccionar la mejor parte de cada sismograma obtenido con diferentes enfoques, obteniendo así las trazas del sismograma con un gran mejoramiento de la relación - señal a ruido, con las reflexiones reforzadas por tener la señal en fase (enfocadas). La respuesta o enfoque óptimo de la señal generada por el patrón - de energía es cuando la trayectoria del frente de ondas generado concuerda con el ángulo de reflexión - del rayo proveniente del patrón de energía, punto de reflexión y detección.

Hasta esta etapa se tiene un sismograma mejorado listo a ser procesado en igual forma en la que se hace para otros registros obtenidos con las técnicas actuales.

El proceso de enfoque de la señal sísmica como podrá - observarse concentra y pone en fase las ondas para un cierto ángulo sin importar su longitud de onda máxima, lo que es de gran -

ayuda para los eventos superficiales.

3. APLICACION DEL METODO.

Las primeras aplicaciones del método fueron realizadas por COMESA, las cuales fueron comparadas con los resultados obtenidos con el sistema convencional.

El ejemplo que se mostrará a continuación fue obtenido de la siguiente manera:

Usando el sistema convencional, se emplearon los siguientes parámetros de operación:

- a) El tipo de tendido lateral se muestra en la Figura 9 con distancia entre trazas de 50 metros; un desplazamiento ("OFFSET") de 300 metros y 2400 % de apilamiento.
- b) Equipo sismógrafo MDS-10 de 48 canales.
- c) 20 detectores MIN-MAX de 10 Hz por traza, con una distancia entre detectores de 5 m. cuya curva de atenuación se ilustra en la Figura 10.
- d) Como fuente de energía se emplearon 4 vibradores separados 33.33 mts., haciendo 16 barridos cada uno, con una distancia de 6.667 mts. entre barridos (Figura 11).

ra 11) cuya curva de atenuación se muestra en la -
Figura 12.

El efecto combinado de detectores y patrón de vibra-
ción se tiene en la Figura 13.

e) Se emplea una frecuencia de barrido 10-56 Hz.

Para el empleo del sistema de enfoque óptimo de energía se empleó el mismo tendido, igual patrón de detección, equipo em-
pleado y frecuencia de barrido. Sólo se modificó el patrón de vi-
bración, el cual consistió en un sistema de barrido equivalente
a 4 vibradores separados 12.5 mts. con 16 barridos (Figura 14),
se puede hacer cada 12.5 mts. (en una cubierta de 200 m.) en base
a la integración de 2 patrones de vibración de 8 barridos (Palafox
1978). La curva de atenuación de este patrón de 4 vibradores ha-
ciendo 16 barridos separados 12.5 m. se muestra en la Figura 15,
cuyo efecto combinado con el patrón de detección se tiene en la
Figura 16.

Cada barrido se registró por separado, se le hizo su -
correlación y se obtuvo un registro por cada barrido.

En su proceso (Figura 4), se editaron cada uno de es-
tos sismogramas, se aplicó ganancia para compensar las pérdidas
por divergencia, con su deconvolución y filtrado de frecuencia
como se hace en cualquier tipo de información.

Para enfocar la energía en forma óptima, primero se ordenaron todas las trazas 1, correspondientes a un mismo punto de detección correspondientes a un punto vibrado, después todas las trazas 2 y así consecutivamente.

Ya ordenados cada grupo de trazas; se colocan 8 de cada lado del centro. A la primera traza a la derecha se le da un atraso de $-\sigma$ y a la primera de la izquierda un adelanto de $+\sigma$. A las dos segundas trazas, a una se le da un atraso de -2σ y a la otra un adelanto de $+2\sigma$ y a la otra $+3\sigma$, algo semejante a lo mostrado en la Figura 5 y así hasta llegar a las dos octavas - trazas, que una tendrá el atraso de -8σ y la otra un adelanto de $+8\sigma$. En este caso por ser 8 trazas de cada lado se dice que $-8\sigma = \Delta T$, o sea que el patrón tiene un adelanto de $+\Delta T$ y un atraso de $-\Delta T$.

Se le asignan diferentes valores a σ , se obtienen diferentes valores de ΔT . Para cada σ se suman las trazas y se obtiene un sismograma; así para el caso de la Figura 17 se presenta el caso de que ΔT varia de -16 a + 40 milisegundos (o sea σ varia de -2 milisegundos a +5 milisegundos). Si se considera que ΔT es positivo, la energía se enfoca hacia el extremo izquierdo σ de la Figura 17 y con valores negativos, el enfoque se hace en sentido opuesto hacia el lado derecho de la Figura.

En esta figura se tiene el sismograma sin enfoque con $\Delta T = 0$. Se puede observar que entre más se enfoca la energía hacia el extremo del tendido (al lado izquierdo) la información superfi-

cial va mejorando, hasta llegar el caso en que con $\Delta T = +10$ milisegundos ($\sigma = 5$ milisegundos); los primeros quiebres se ~~enfrazan~~, es decir el enfoque de energía ha sido para reforzar no tan ~~so~~ lo más superficial sino hasta la energía refractada de las ~~razas~~ más alejadas.

Para el caso de enfoque negativo, (hacia la ~~dercha~~ del tendido); la información desmerece, en cambio hacia el ~~lado~~ izquierdo, para $+8$ y $+16$ de ΔT , la información entre 2.5 y 3 segundos se refuerza tremendamente.

Para $+24$ y $+16$ milisegundos de ΔT ; la información entre 2.0 y 2.5 segundos mejora notablemente y entre 0.5 y 1.5 segundos se tiene el mejor enfoque con $+24$ milisegundos de ΔT , y finalmente $+32$ milisegundos de ΔT la información a 0.5 es la mejor, pero los eventos de 2.5 a 3 segundos desmerecen en calidad más aun cuando el ΔT es de $+40$ milisegundos.

El programa de enfoque de energía basada en la correlación cruzada, se encarga de seleccionar la mejor parte de cada sismograma obtenido con diferentes enfoques (diferentes σ) para obtener así el sismograma con enfoque óptimo de energía de la Figura 18 en el que se aprecia la gran mejoría que existe entre un sismograma obtenido con el sistema convencional y el de enfoque óptimo móvil.

Finalmente en las Figuras 19 y 20 se presenta la sección

obtenida con el sistema convencional y con el enfoque móvil de la energía sísmica. En éstas se puede apreciar como el método mejora notablemente los datos, principalmente los superficiales y aun los eventos a profundidad.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

a) El enfoque óptimo de energía se logra a base del empleo de fuentes móviles, registrando por separado cada uno de los elementos que forman este patrón y aplicando atrasos y adelantos de tiempo para enfocar en forma móvil la energía a diferentes profundidades y tiempos. Su aplicación mejora la relación señal a ruido y minimiza la distorsión de la señal por el defasamiento de la señal debido a la geometría del patrón de tiro a diferentes profundidades y distancias, ya que suma las señales en fase.

b) Como aplicar una serie de pequeños retrasos y adelantos en forma discreta, equivale a barrer la señal sísmica con diferentes enfoques del frente de onda hasta obtener la máxima concentración de señal, para diferentes puntos de reflexión, no es necesario conocer exactamente ni los echados ni las velocidades, solamente es necesario utilizar suficientes unidades de retraso o incremento de tiempo, para que cada una de las reflexiones tengan una máxima amplitud de ancho de banda y una mínima distorsión de fase.

c) Enfocar la energía en forma móvil es muy efectivo

para separar reflexiones que llegan al mismo tiempo en la grabación desde dos direcciones diferentes.

d) Es muy efectivo para reflexiones someras donde se requiere alta resolución para separar reflexiones. El sistema de enfoque de energía, minimiza la atenuación normal del patrón en las altas frecuencias y comprime las ondículas de reflexión al sumar las señales en fase. Esto es especialmente importante para objetivos estratigráficos y someros.

e) Esta técnica de enfoque móvil de la energía se puede usar con patrones de dinamita y de vibración con los vibradores lo más junto posible. El número de elementos en el patrón de la fuente de energía puede ampliarse al combinar trazas (trace - gathering) de posición receptora común, siempre y cuando el perfil de detección y los patrones de la fuente de energía se mueva hacia delante una traza sísmica. Esta técnica puede ser importante en la adquisición de datos debido a que el número de elementos que se utilizan para grabar en cada perfil puede minimizarse.

RECOMENDACIONES.

a) Puede emplearse para reforzar refracciones superficiales y profundas.

b) Si se usa vibrosismo se recomienda se empleen los vibradores lo más cercano posible para evitar el defasamiento que -

presentaría la señal generada por los vibradores al hacer un barrido.

c) Asimismo, si se emplea el sistema vibrosiño es recomendable emplear un correlador en el campo para realizar la correlación en tiempo real y ahorrar tiempo de proceso.

d) Se recomienda para trabajos donde se trate de mejorar la información superficial, en donde se presenten fuertes - problemas estructurales o en donde la relación de señal a ruido es baja a diferentes tiempos y distancias.

BIBLIOGRAFIA

CORNETT, J.R., 1979, 1980, 1981 y 1982.- Notas Informativas Inéditas sobre los trabajos de Investigación Sobre el Enfoque de Energía hechos en COMESA, durante el desarrollo de esta Técnica.-

PALAFIX R., H., 1978.- Curso de Operación Sísmica.

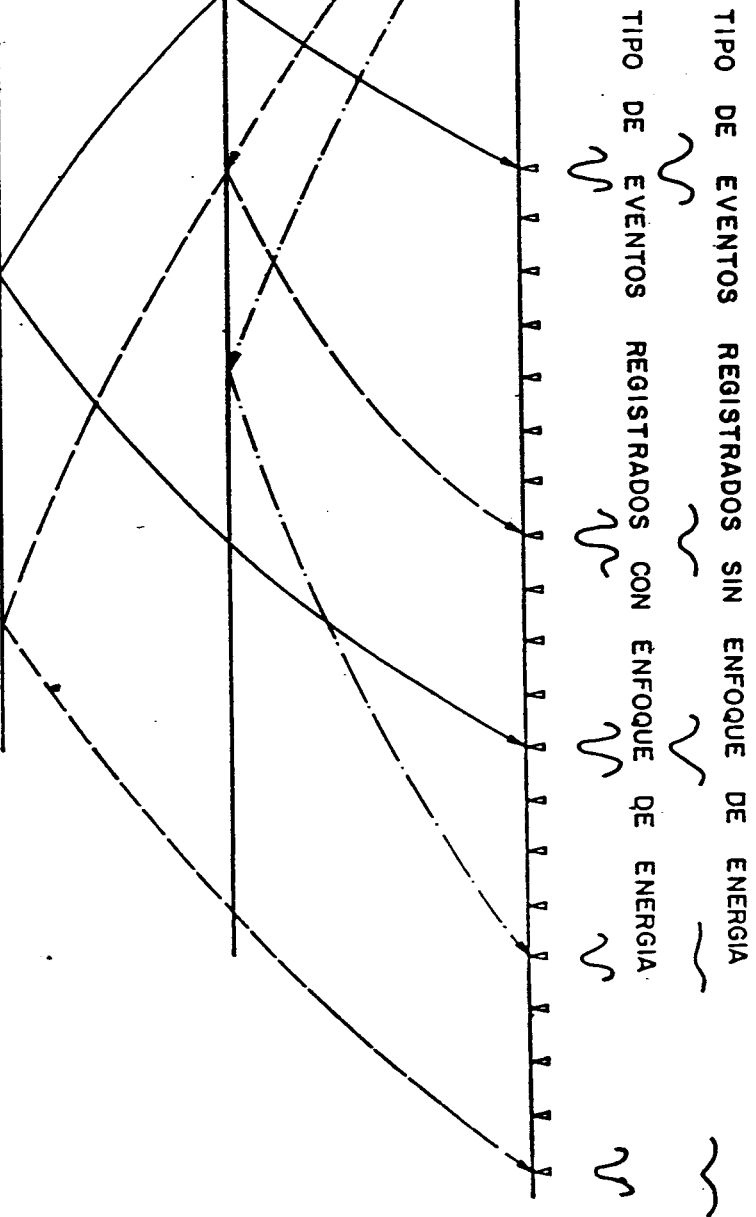
PALAFIX R., H., 1978.- Notas sobre Multiplicación de Barridos, con el mínimo de Barridos. Notas Inéditas.

ROGERS, B.H. 1963.- Illustrations of Delay Tuning and with Frequency Sumation.

SNODGRASS, H.R., 1963.- Analysis of Interference Patterns.

Los autores desean agradecer a la Compañía Mexicana de Exploraciones, S. A. y a Petróleos Mexicanos, las facilidades para realizar este trabajo, que describe en forma sintetizada esta nueva técnica desarrollada y aplicada en México con todo éxito.

ENFOQUE MOVIL DE LA ENERGIA SISMICA *



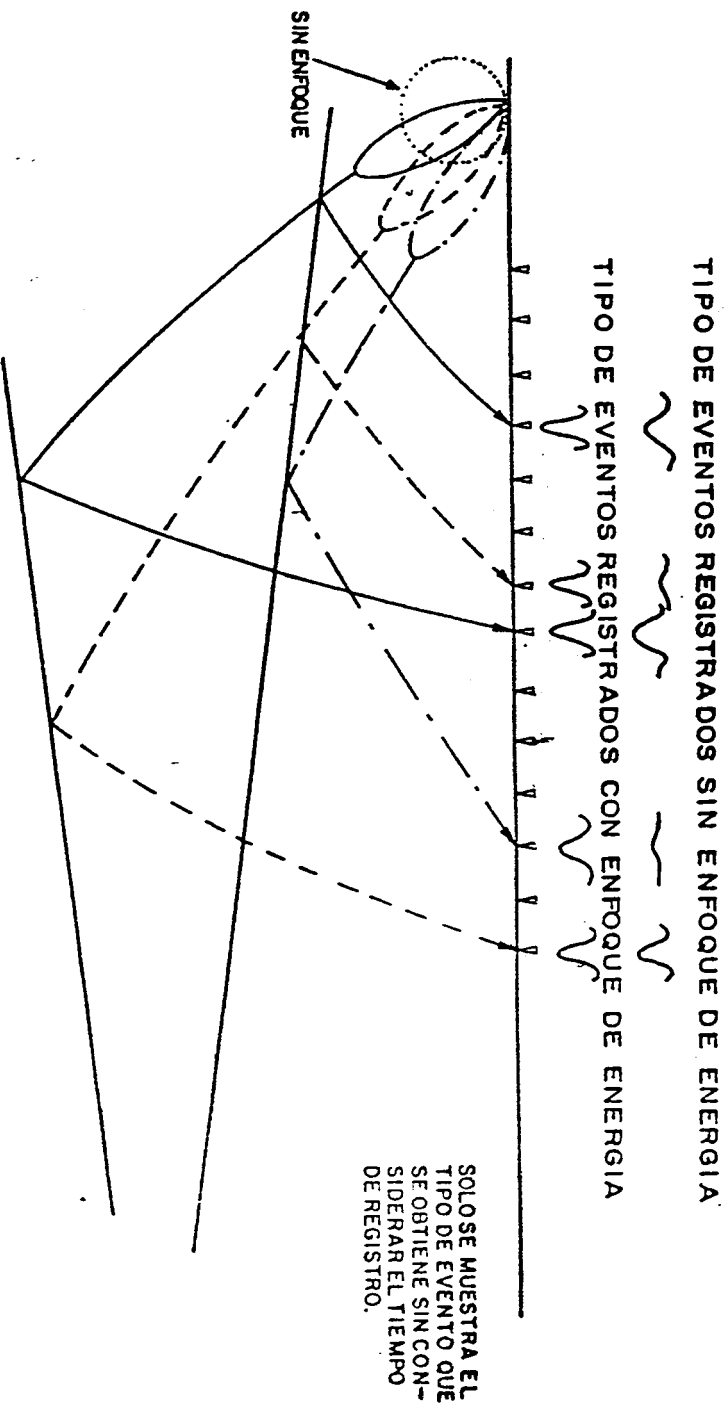
SOLO SE MUESTRA EL TIPO DE EVENTO QUE SE OBTIENE SIN CONSIDERAR EL TIEMPO DE REGISTRO

* DESARROLLADO EN COMESA (J. CORNETT)

II PR-83

FIGURA-1

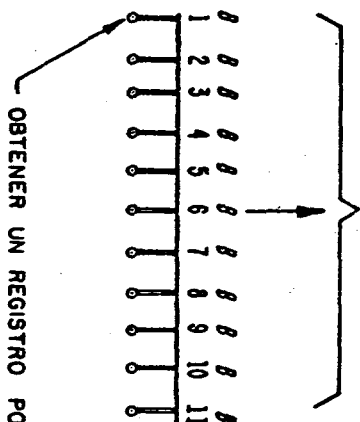
ENFOQUE MOVIL DE LA ENERGIA SISMICA *



* DESARROLLADO EN COMESA (J. CORNETT)

H. P. R.

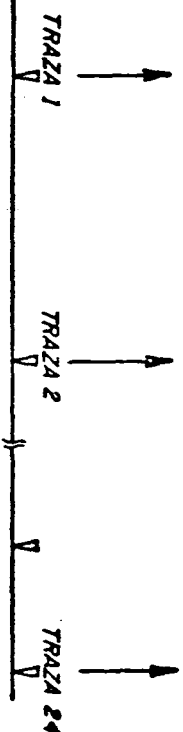
PATRON DE UN
P.T



OBTENER UN REGISTRO POR CADA POZO.

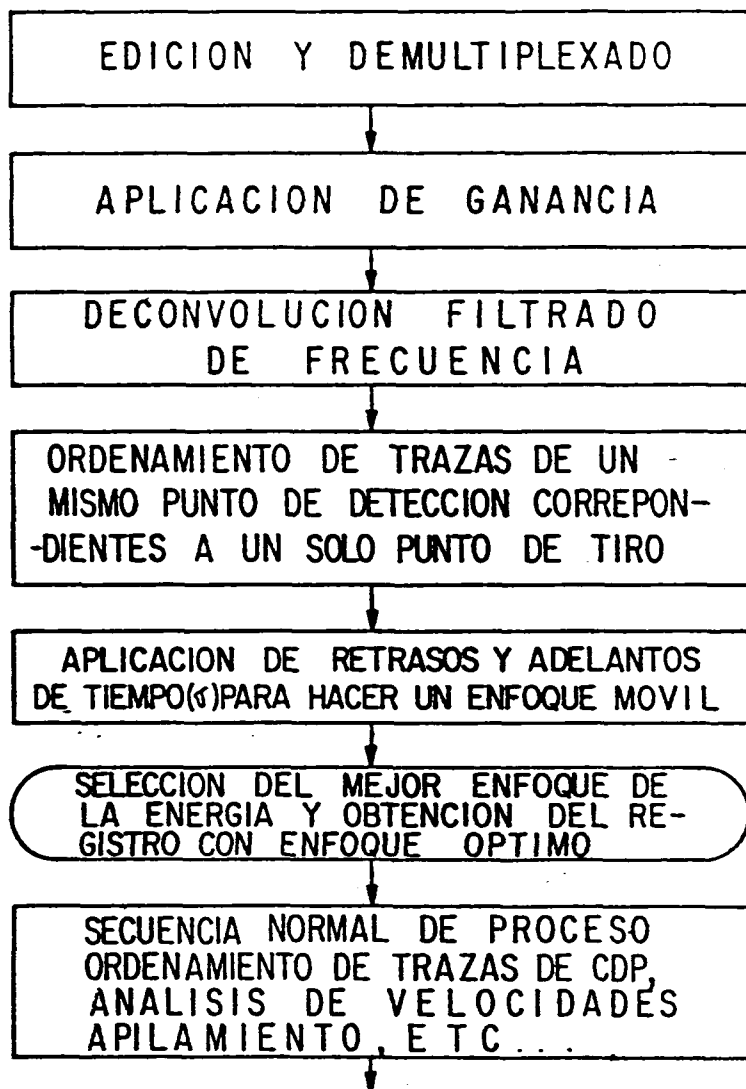
- LOS REGISTROS QUE INTEGRAN UN PUNTO DE TIRO NO SE SUMAN.

TENDIDO



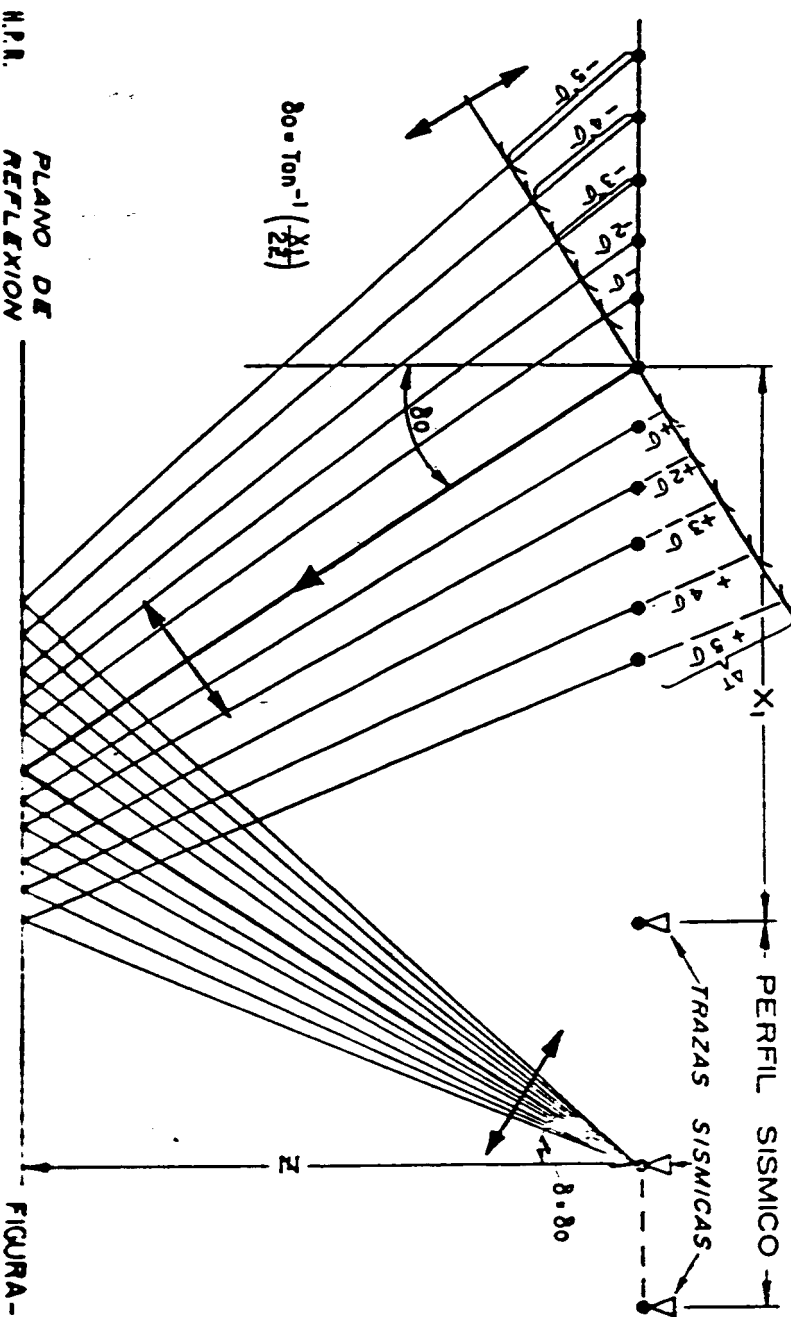
DISTRIBUCION DE TENDIDO Y FUENTE MULTIPLE REQUERIDO
PARA EL ENFOQUE OPTIMO DE ENERGIA.

DIAGRAMA GENERAL DE PROCESO ISMICO PARA EL ENFOQUE MOVIL DE LA ENERGIA SISMICA (*)



ENFOQUE MOVIL DE LA ENERGIA SISMICA MEDIANTE FUENTE MULTIPLE I VARIOS REGISTROS POR PUNTO DE TIRO I APLICANDO RETRASOS Y ADELANTOS DE TIEMPO

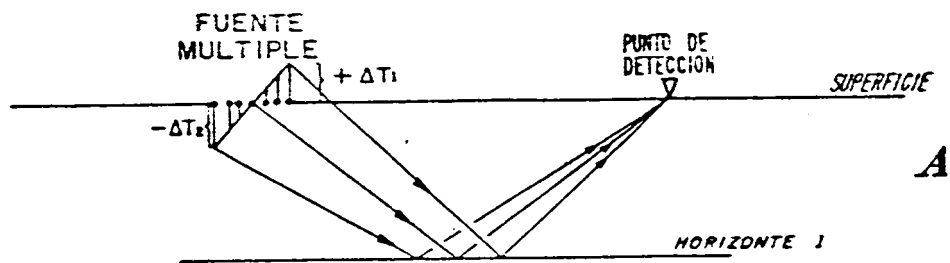
FUENTE MULTIPLE CON RETRASO DE TIEMPO,
(EJEMPLO POSICIONES DE BARRIDO CON VIBROSISMO)



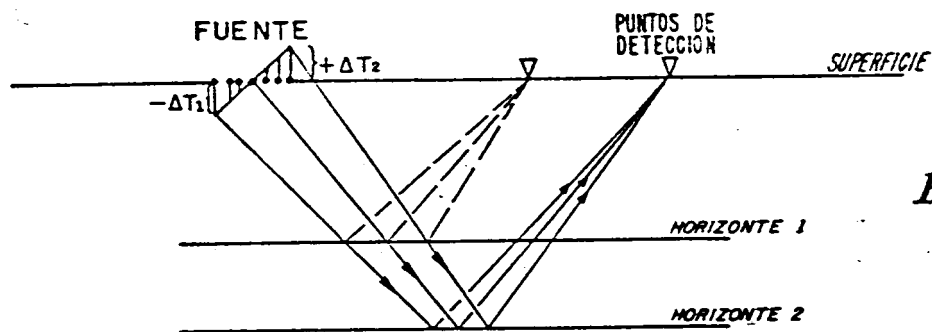
M.P.R.

PLANO DE REFLEXION

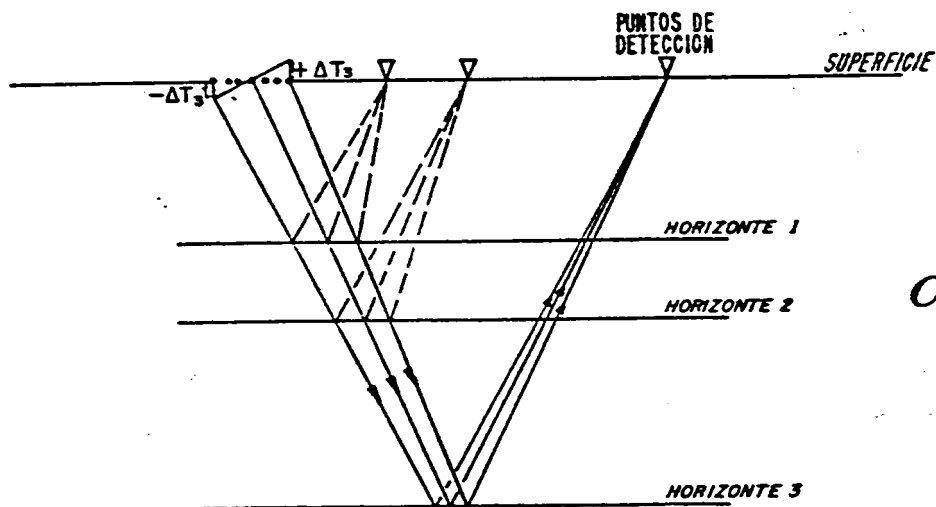
FIGURA- 5



A



B



C

ENFOQUE OPTIMO DE ENERGIA A DIFERENTES PROFUNDIDADES Y DISTANCIAS POR MEDIO DE DIFERENTES ATRASOS Y ADELANTOS DE TIEMPO

EFFECTO EN AMPLITUD / SIN CONSIDERAR DESASAMIENTO / DEL ENFOQUE DE ENERGIA SISMICA EN UNA TRAZA SISMICA /40/ AL TIEMPO DE 1.5 SEG.

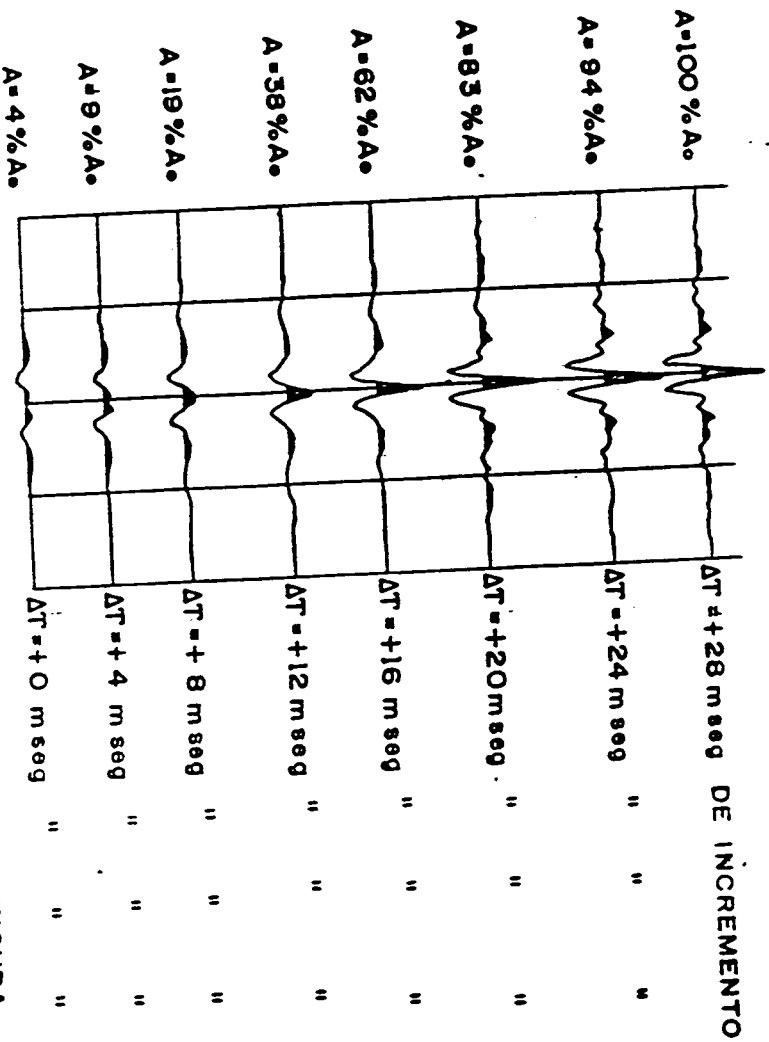
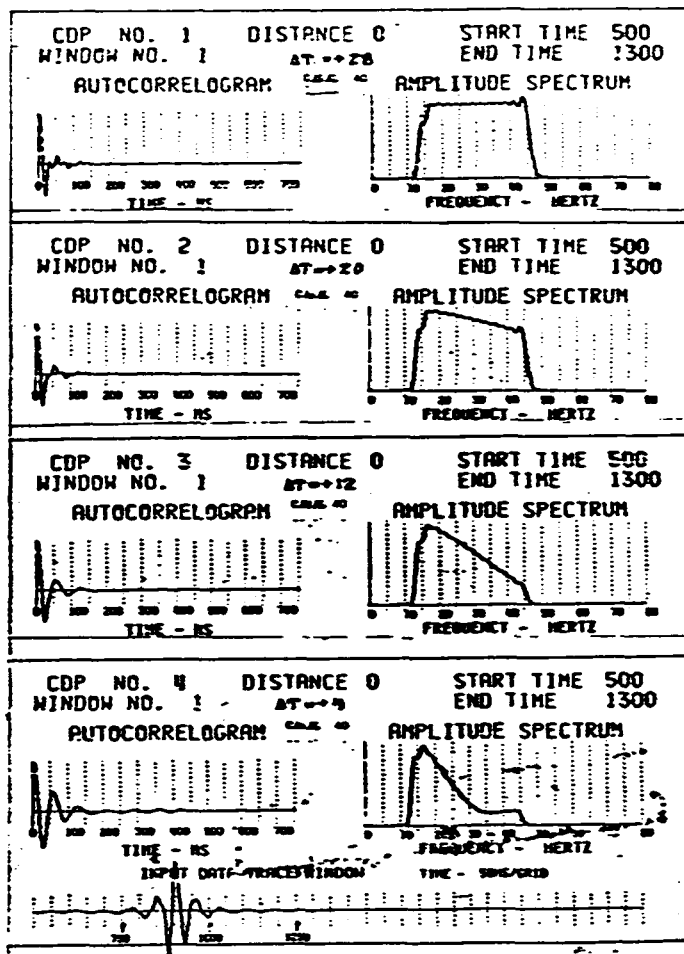
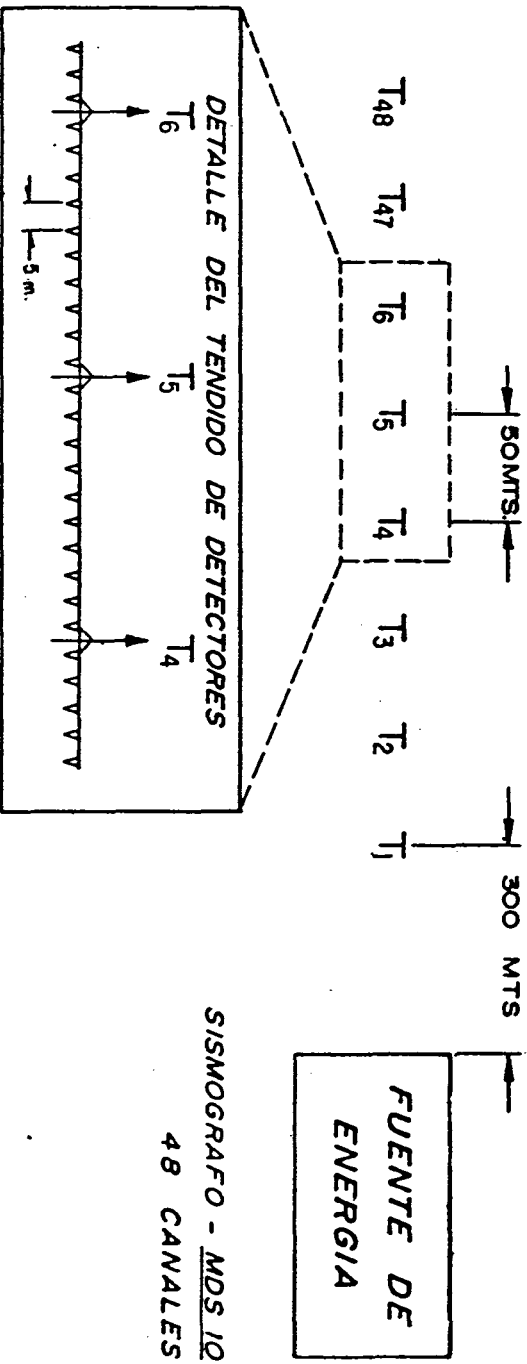


FIGURA - 7

ESPECTRO DE AMPLITUD PARA DIFERENTES ANGULOS DE ENFOQUE DE LA SEÑAL SISMICA



TENDIDO EMPLEADO EN PRUEBAS DE ENFOQUE MÓVIL DE LA ENERGIA SISMICA



SISMOGRAFO - MDS 10
48 CANALES

DISTANCIA ENTRE TRAZAS 50 MTS.
20 DETECTORES MIN.-MAX. 10 HZ POR TRAZA
DISTANCIA ENTRE DETECTORES 5 MTS.

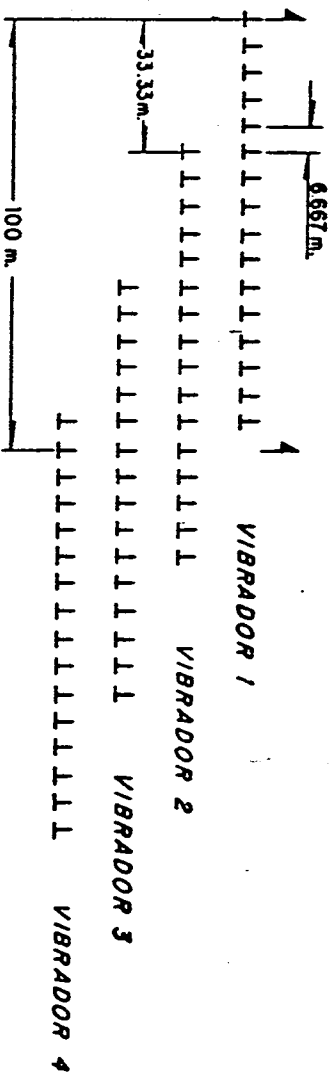
H.P.R.

GRÁFICO DE ATENUACIÓN DE UN DETECTOR PERMANENTE EN UN INTERVALO DE

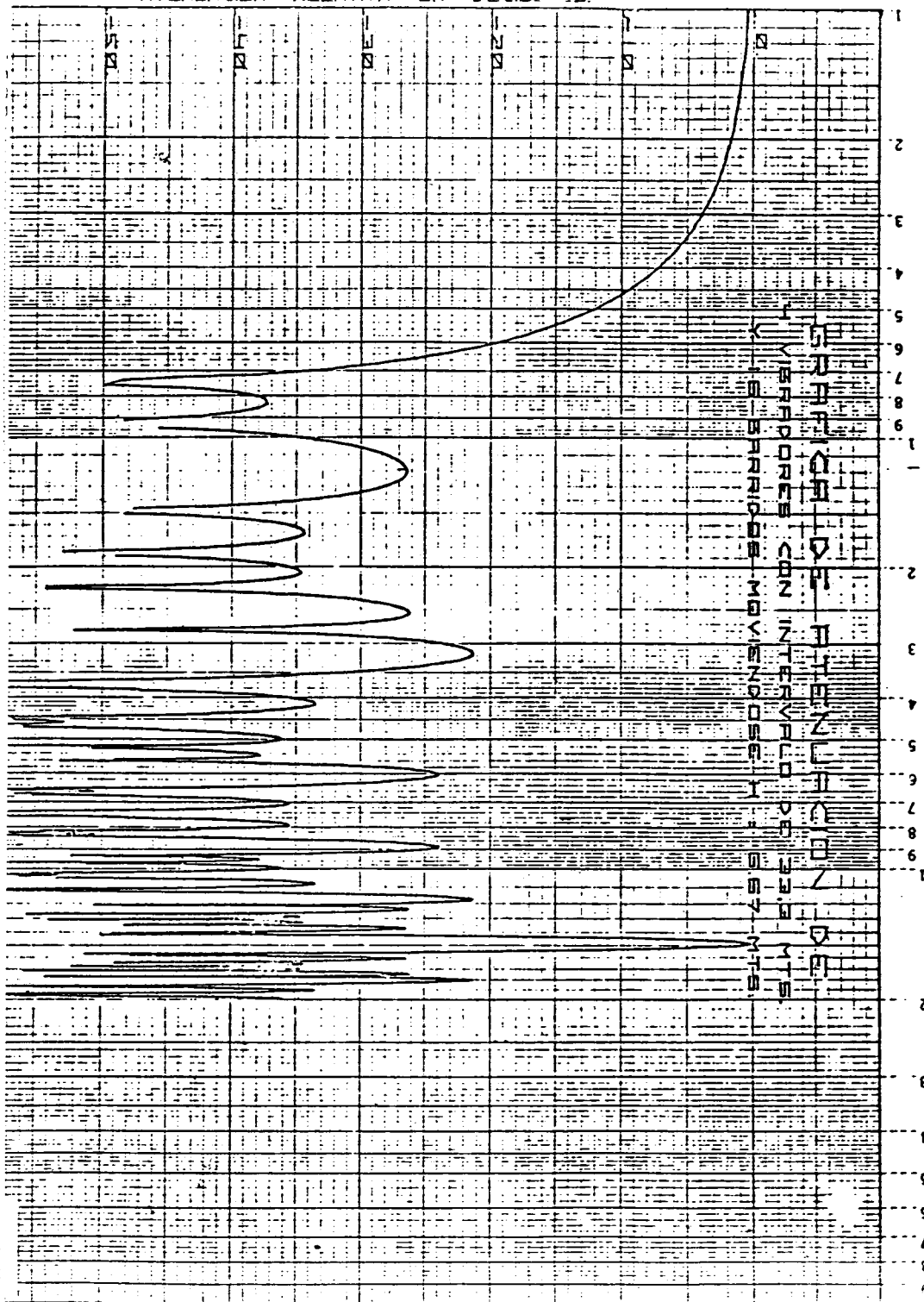
EFICIENTES
ELEM

1.0000
0.9999
0.9998
0.9997
0.9996
0.9995
0.9994
0.9993
0.9992
0.9991
0.9990
0.9989
0.9988
0.9987
0.9986
0.9985
0.9984
0.9983
0.9982
0.9981
0.9980
0.9979
0.9978
0.9977
0.9976
0.9975
0.9974
0.9973
0.9972
0.9971
0.9970
0.9969
0.9968
0.9967
0.9966
0.9965
0.9964
0.9963
0.9962
0.9961
0.9960
0.9959
0.9958
0.9957
0.9956
0.9955
0.9954
0.9953
0.9952
0.9951
0.9950
0.9949
0.9948
0.9947
0.9946
0.9945
0.9944
0.9943
0.9942
0.9941
0.9940
0.9939
0.9938
0.9937
0.9936
0.9935
0.9934
0.9933
0.9932
0.9931
0.9930
0.9929
0.9928
0.9927
0.9926
0.9925
0.9924
0.9923
0.9922
0.9921
0.9920
0.9919
0.9918
0.9917
0.9916
0.9915
0.9914
0.9913
0.9912
0.9911
0.9910
0.9909
0.9908
0.9907
0.9906
0.9905
0.9904
0.9903
0.9902
0.9901
0.9900
0.9899
0.9898
0.9897
0.9896
0.9895
0.9894
0.9893
0.9892
0.9891
0.9890
0.9889
0.9888
0.9887
0.9886
0.9885
0.9884
0.9883
0.9882
0.9881
0.9880
0.9879
0.9878
0.9877
0.9876
0.9875
0.9874
0.9873
0.9872
0.9871
0.9870
0.9869
0.9868
0.9867
0.9866
0.9865
0.9864
0.9863
0.9862
0.9861
0.9860
0.9859
0.9858
0.9857
0.9856
0.9855
0.9854
0.9853
0.9852
0.9851
0.9850
0.9849
0.9848
0.9847
0.9846
0.9845
0.9844
0.9843
0.9842
0.9841
0.9840
0.9839
0.9838
0.9837
0.9836
0.9835
0.9834
0.9833
0.9832
0.9831
0.9830
0.9829
0.9828
0.9827
0.9826
0.9825
0.9824
0.9823
0.9822
0.9821
0.9820
0.9819
0.9818
0.9817
0.9816
0.9815
0.9814
0.9813
0.9812
0.9811
0.9810
0.9809
0.9808
0.9807
0.9806
0.9805
0.9804
0.9803
0.9802
0.9801
0.9800
0.9799
0.9798
0.9797
0.9796
0.9795
0.9794
0.9793
0.9792
0.9791
0.9790
0.9789
0.9788
0.9787
0.9786
0.9785
0.9784
0.9783
0.9782
0.9781
0.9780
0.9779
0.9778
0.9777
0.9776
0.9775
0.9774
0.9773
0.9772
0.9771
0.9770
0.9769
0.9768
0.9767
0.9766
0.9765
0.9764
0.9763
0.9762
0.9761
0.9760
0.9759
0.9758
0.9757
0.9756
0.9755
0.9754
0.9753
0.9752
0.9751
0.9750
0.9749
0.9748
0.9747
0.9746
0.9745
0.9744
0.9743
0.9742
0.9741
0.9740
0.9739
0.9738
0.9737
0.9736
0.9735
0.9734
0.9733
0.9732
0.9731
0.9730
0.9729
0.9728
0.9727
0.9726
0.9725
0.9724
0.9723
0.9722
0.9721
0.9720
0.9719
0.9718
0.9717
0.9716
0.9715
0.9714
0.9713
0.9712
0.9711
0.9710
0.9709
0.9708
0.9707
0.9706
0.9705
0.9704
0.9703
0.9702
0.9701
0.9700
0.9699
0.9698
0.9697
0.9696
0.9695
0.9694
0.9693
0.9692
0.9691
0.9690
0.9689
0.9688
0.9687
0.9686
0.9685
0.9684
0.9683
0.9682
0.9681
0.9680
0.9679
0.9678
0.9677
0.9676
0.9675
0.9674
0.9673
0.9672
0.9671
0.9670
0.9669
0.9668
0.9667
0.9666
0.9665
0.9664
0.9663
0.9662
0.9661
0.9660
0.9659
0.9658
0.9657
0.9656
0.9655
0.9654
0.9653
0.9652
0.9651
0.9650
0.9649
0.9648
0.9647
0.9646
0.9645
0.9644
0.9643
0.9642
0.9641
0.9640
0.9639
0.9638
0.9637
0.9636
0.9635
0.9634
0.9633
0.9632
0.9631
0.9630
0.9629
0.9628
0.9627
0.9626
0.9625
0.9624
0.9623
0.9622
0.9621
0.9620
0.9619
0.9618
0.9617
0.9616
0.9615
0.9614
0.9613
0.9612
0.9611
0.9610
0.9609
0.9608
0.9607
0.9606
0.9605
0.9604
0.9603
0.9602
0.9601
0.9600
0.9599
0.9598
0.9597
0.9596
0.9595
0.9594
0.9593
0.9592
0.9591
0.9590
0.9589
0.9588
0.9587
0.9586
0.9585
0.9584
0.9583
0.9582
0.9581
0.9580
0.9579
0.9578
0.9577
0.9576
0.9575
0.9574
0.9573
0.9572
0.9571
0.9570
0.9569
0.9568
0.9567
0.9566
0.9565
0.9564
0.9563
0.9562
0.9561
0.9560
0.9559
0.9558
0.9557
0.9556
0.9555
0.9554
0.9553
0.9552
0.9551
0.9550
0.9549
0.9548
0.9547
0.9546
0.9545
0.9544
0.9543
0.9542
0.9541
0.9540
0.9539
0.9538
0.9537
0.9536
0.9535
0.9534
0.9533
0.9532
0.9531
0.9530
0.9529
0.9528
0.9527
0.9526
0.9525
0.9524
0.9523
0.9522
0.9521
0.9520
0.9519
0.9518
0.9517
0.9516
0.9515
0.9514
0.9513
0.9512
0.9511
0.9510
0.9509
0.9508
0.9507
0.9506
0.9505
0.9504
0.9503
0.9502
0.9501
0.9500
0.9499
0.9498
0.9497
0.9496
0.9495
0.9494
0.9493
0.9492
0.9491
0.9490
0.9489
0.9488
0.9487
0.9486
0.9485
0.9484
0.9483
0.9482
0.9481
0.9480
0.9479
0.9478
0.9477
0.9476
0.9475
0.9474
0.9473
0.9472
0.9471
0.9470
0.9469
0.9468
0.9467
0.9466
0.9465
0.9464
0.9463
0.9462
0.9461
0.9460
0.9459
0.9458
0.9457
0.9456
0.9455
0.9454
0.9453
0.9452
0.9451
0.9450
0.9449
0.9448
0.9447
0.9446
0.9445
0.9444
0.9443
0.9442
0.9441
0.9440
0.9439
0.9438
0.9437
0.9436
0.9435
0.9434
0.9433
0.9432
0.9431
0.9430
0.9429
0.9428
0.9427
0.9426
0.9425
0.9424
0.9423
0.9422
0.9421
0.9420
0.9419
0.9418
0.9417
0.9416
0.9415
0.9414
0.9413
0.9412
0.9411
0.9410
0.9409
0.9408
0.9407
0.9406
0.9405
0.9404
0.9403
0.9402
0.9401
0.9400
0.9399
0.9398
0.9397
0.9396
0.9395
0.9394
0.9393
0.9392
0.9391
0.9390
0.9389
0.9388
0.9387
0.9386
0.9385
0.9384
0.9383
0.9382
0.9381
0.9380
0.9379
0.9378
0.9377
0.9376
0.9375
0.9374
0.9373
0.9372
0.9371
0.9370
0.9369
0.9368
0.9367
0.9366
0.9365
0.9364
0.9363
0.9362
0.9361
0.9360
0.9359
0.9358
0.9357
0.9356
0.9355
0.9354
0.9353
0.9352
0.9351
0.9350
0.9349
0.9348
0.9347
0.9346
0.9345
0.9344
0.9343
0.9342
0.9341
0.9340
0.9339
0.9338
0.9337
0.9336
0.9335
0.9334
0.9333
0.9332
0.9331
0.9330
0.9329
0.9328
0.9327
0.9326
0.9325
0.9324
0.9323
0.9322
0.9321
0.9320
0.9319
0.9318
0.9317
0.9316
0.9315
0.9314
0.9313
0.9312
0.9311
0.9310
0.9309
0.9308
0.9307
0.9306
0.9305
0.9304
0.9303
0.9302
0.9301
0.9300
0.9299
0.9298
0.9297
0.9296
0.9295
0.9294
0.9293
0.9292
0.9291
0.9290
0.9289
0.9288
0.9287
0.9286
0.9285
0.9284
0.9283
0.9282
0.9281
0.9280
0.9279
0.9278
0.9277
0.9276
0.9275
0.9274
0.9273
0.9272
0.9271
0.9270
0.9269
0.9268
0.9267
0.9266
0.9265
0.9264
0.9263
0.9262
0.9261
0.9260
0.9259
0.9258
0.9257
0.9256
0.9255
0.9254
0.9253
0.9252
0.9251
0.9250
0.9249
0.9248
0.9247
0.9246
0.9245
0.9244
0.9243
0.9242
0.9241
0.9240
0.9239
0.9238
0.9237
0.9236
0.9235
0.9234
0.9233
0.9232
0.9231
0.9230
0.9229
0.9228
0.9227
0.9226
0.9225
0.9224
0.9223
0.9222
0.9221
0.9220
0.9219
0.9218
0.9217
0.9216
0.9215
0.9214
0.9213
0.9212
0.9211
0.9210
0.9209
0.9208
0.9207
0.9206
0.9205
0.9204
0.9203
0.9202
0.9201
0.9200
0.9199
0.9198
0.9197
0.9196
0.9195
0.9194
0.9193
0.9192
0.9191
0.9190
0.9189
0.9188
0.9187
0.9186
0.9185
0.9184
0.9183
0.9182
0.9181
0.9180
0.9179
0.9178
0.9177
0.9176
0.9175
0.9174
0.9173
0.9172
0.9171
0.9170
0.9169
0.9168
0.9167
0.9166
0.9165
0.9164
0.9163
0.9162
0.9161
0.9160
0.9159
0.9158
0.9157
0.9156
0.9155
0.9154
0.9153
0.9152
0.9151
0.9150
0.9149
0.9148
0.9147
0.9146
0.9145
0.9144
0.9143
0.9142
0.9141
0.9140
0.9139
0.9138
0.9137
0.9136
0.9135
0.9134
0.9133
0.9132
0.9131
0.9130
0.9129
0.9128
0.9127
0.9126
0.9125
0.9124
0.9123
0.9122
0.9121
0.9120
0.9119
0.9118
0.9117
0.9116
0.9115
0.9114
0.9113
0.9112
0.9111
0.9110
0.9109
0.9108
0.9107
0.9106
0.9105
0.9104
0.9103
0.9102
0.9101
0.9100
0.9099
0.9098
0.9097
0.9096
0.9095
0.9094
0.9093
0.9092
0.9091
0.9090
0.9089
0.9088
0.9087
0.9086
0.9085
0.9084
0.9083
0.9082
0.9081
0.9080
0.9079
0.9078
0.9077
0.9076
0.9075
0.9074
0.9073
0.9072
0.9071
0.9070
0.9069
0.9068
0.9067
0.9066
0.9065
0.9064
0.9063
0.9062
0.9061
0.9060
0.9059
0.9058
0.9057
0.9056
0.9055
0.9054
0.9053
0.9052
0.9051
0.9050
0.9049
0.9048
0.9047
0.9046
0.9045
0.9044
0.9043
0.9042
0.9041
0.9040
0.9039
0.9038
0.9037
0.9036
0.9035
0.9034
0.9033
0.9032
0.9031
0.9030
0.9029
0.9028
0.9027
0.9026
0.9025
0.9024
0.9023
0.9022
0.9021
0.9020
0.9019
0.9018
0.9017
0.9016
0.9015
0.9014
0.9013
0.9012
0.9011
0.9010
0.9009
0.9008
0.9007
0.9006
0.9005
0.9004
0.9003
0.9002
0.9001
0.9000
0.8999
0.8998
0.8997
0.8996
0.8995
0.8994
0.8993
0.8992
0.8991
0.8990
0.8989
0.8988
0.8987
0.8986
0.8985
0.8984
0.8983
0.8982
0.8981
0.8980
0.8979
0.8978
0.8977
0.8976
0.8975
0.8974
0.8973
0.8972
0.8971
0.8970
0.8969
0.8968
0.8967
0.8966
0.8965
0.8964
0.8963
0.8962
0.8961
0.8960
0.8959
0.8958
0.8957
0.8956
0.8955
0.8954
0.8953
0.8952
0.8951
0.8950
0.8949
0.8948
0.8947
0.8946
0.8945
0.8944
0.8943
0.8942
0.8941
0.8940
0.8939
0.8938
0.8937
0.8936
0.8935
0.8934
0.8933
0.8932
0.8931
0.8930
0.8929
0.8928
0.8927
0.8926
0.8925
0.8924
0.8923
0.8922
0.8921
0.8920
0.8919
0.8918
0.8917
0.8916
0.8915
0.8914
0.8913
0.8912
0.8911
0.8910
0.8909
0.8908
0.8907
0.8906
0.8905
0.8904
0.8903
0.8902
0.8901
0.8900
0.8899
0.8898
0.8897
0.8896
0.8895
0.8894
0.8893
0.8892
0.8891
0.8890
0.8889
0.8888
0.8887
0.8886
0.8885
0.8884
0.8883
0.8882
0.8881
0.8880
0.8879
0.8878
0.8877
0.8876
0.8875
0.8874
0.8873
0.8872
0.8871
0.8870
0.8869
0.8868
0.8867
0.8866
0.8865
0.8864
0.8863
0.8862
0.8861
0.8860
0.8859
0.8858
0.8857
0.8856
0.8855
0.8854
0.8853
0.8852
0.8851
0.8850
0.8849
0.8848
0.8847
0.8846
0.8845
0.8844
0.8843
0.8842
0.8841
0.8840
0.8839
0.8838
0.8837
0.8836
0.8835
0.8834
0.8833
0.8832
0.8831
0.8830
0.8829
0.8828
0.8827
0.8826
0.8825
0.8824
0.8823
0.8822
0.8821
0.8820
0.8819
0.8818
0.8817
0.8816
0.8815
0.8814
0.8813
0.8812
0.8811
0.8810
0.8809
0.8808
0.8807
0.8806
0.8805
0.8804
0.8803
0.8802
0.8801
0.8800
0.8799
0.8798
0.8797
0.8796
0.8795
0.8794
0.8793
0.8792
0.8791
0.8790
0.8789
0.8788
0.8787
0.8786
0.8785
0.8784
0.8783
0.8782
0.8781
0.8780
0.8779
0.8778
0.8777
0.8776
0.8775
0.8774
0.8773
0.8772
0.8771
0.8770
0.8769
0.8768
0.8767
0.8766
0.8765
0.8764
0.8763
0.8762
0.8761
0.8760
0.8759
0.8758
0.8757
0.8756
0.8755
0.8754
0.8753
0.8752
0.8751
0.8750
0.8749
0.8748
0.8747
0.8746
0.8745
0.8744
0.8743
0.8742
0.8741
0.8740
0.8739
0.8738
0.8737
0.8736
0.8735
0.8734
0.8733
0.8732
0.8731
0.8730
0.8729
0.8728
0.8727
0.8726
0.8725
0.8724
0.8723
0.8722
0.8721
0.8720
0.8719
0.8718
0.8717
0.8716
0.8715
0.8714
0.8713
0.8712
0.8711
0.8710
0.8709
0.8708
0.8707
0.8706
0.8705
0.8704
0.8703
0.8702
0.8701
0.8700
0.8699
0.8698
0.8697
0.8696
0.8695
0.8694
0.8693
0.8692
0.8691
0.8690
0.8689
0.8688
0.8687
0.8686
0.8685
0.8684
0.8683
0.8682
0.8681
0.8680
0.8679
0.8678
0.8677
0.8676
0.8675
0.8674
0.8673
0.8672
0.8671
0.8670
0.8669
0.8668
0.8667
0.8666
0.8665
0.8664
0.8663
0.8662
0.8661
0.8660
0.8659
0.8658
0.8657
0.8656
0.8655
0.8654
0.8653
0.8652
0.8651
0.8650
0.8649
0.8648
0.8647
0.8646
0.8645
0.8644
0.8643
0.8642
0.8641
0.8640
0.8639
0.8638
0.8637
0.8636
0.8635
0.8634
0.8633
0.8632
0.8631
0.8630
0.8629
0.8628
0.8627
0.8626
0.8625
0.8624
0.8623
0.8622
0.8621
0.8620
0.8619
0.8618
0.8617
0.8616
0.8615
0.8614
0.8613
0.8612
0.8611
0.8610
0.8609
0.8608
0.8607
0.8606
0.8605
0.8604
0.8603
0.8602
0.8601
0.8600
0.8599
0.8598
0.8597
0.8596
0.8595
0.8594
0.8593
0.8592
0.8591
0.8590
0.8589
0.8588
0.8587
0.8586
0.8585
0.8584
0.8583
0.8582
0.8581
0.8580
0.8579
0.8578
0.8577
0.8576
0.8575
0.8574
0.8573
0.8572
0.8571
0.8570
0.8569
0.8568
0.8567
0.8566
0.8565
0.8564
0.8563
0.8562
0.8561
0.8560
0.8559
0.8558
0.8557
0.8556
0.8555
0.8554
0.8553
0.8552
0.8551
0.8550
0.8549
0.8548
0.8547
0.8546
0.8545
0.8544
0.8543
0.8542
0.8541
0.8540
0.8539
0.8538
0.8537
0.8536
0.8535
0.8534
0.8533
0.8532
0.8531
0.8530
0.8529
0.8528
0.8527
0.8526
0.8525
0.8524
0.8523
0.8522
0.8521
0.8520
0.8519
0.8518
0.8517
0.8516
0.8515
0.8514
0.8513
0.8512
0.8511
0.8510
0.8509
0.8508
0.8507
0.8506
0.8505
0.8504
0.8503
0.8502
0.8501
0.8500
0.8499
0.8498
0.8497
0.8496
0.8495
0.8494
0.8493
0.8492
0.8491
0.8490
0.8489
0.8488
0.8487
0.8486
0.8485
0.8484
0.84

PATRONES DE VIBRACION DE 16 BARRIDOS EMPLEADOS EN EL SISTEMA CONVENCIONAL



ATENUACION RELATIVA EN DECIBEL



LAUREL A. ELLER CO. WASHINGTON

4b 5490

ATENUACION RELATIVA EN DECIBELES

GRAFICO DE ATENUACION DE

20 DETECTORES PERIODO CHERCHELLE CON INTERVALO H. 1.25 M.

15 ARRIBOS PERIODO CON INTERVALO H. 1.25 M.

COEFICIENTES

1.000000	1.000000
2.000000	2.000000
3.000000	3.000000
4.000000	4.000000
5.000000	5.000000
6.000000	6.000000
7.000000	7.000000
8.000000	8.000000
9.000000	9.000000
10.000000	10.000000
11.000000	11.000000
12.000000	12.000000
13.000000	13.000000
14.000000	14.000000
15.000000	15.000000
16.000000	16.000000
17.000000	17.000000
18.000000	18.000000
19.000000	19.000000
20.000000	20.000000

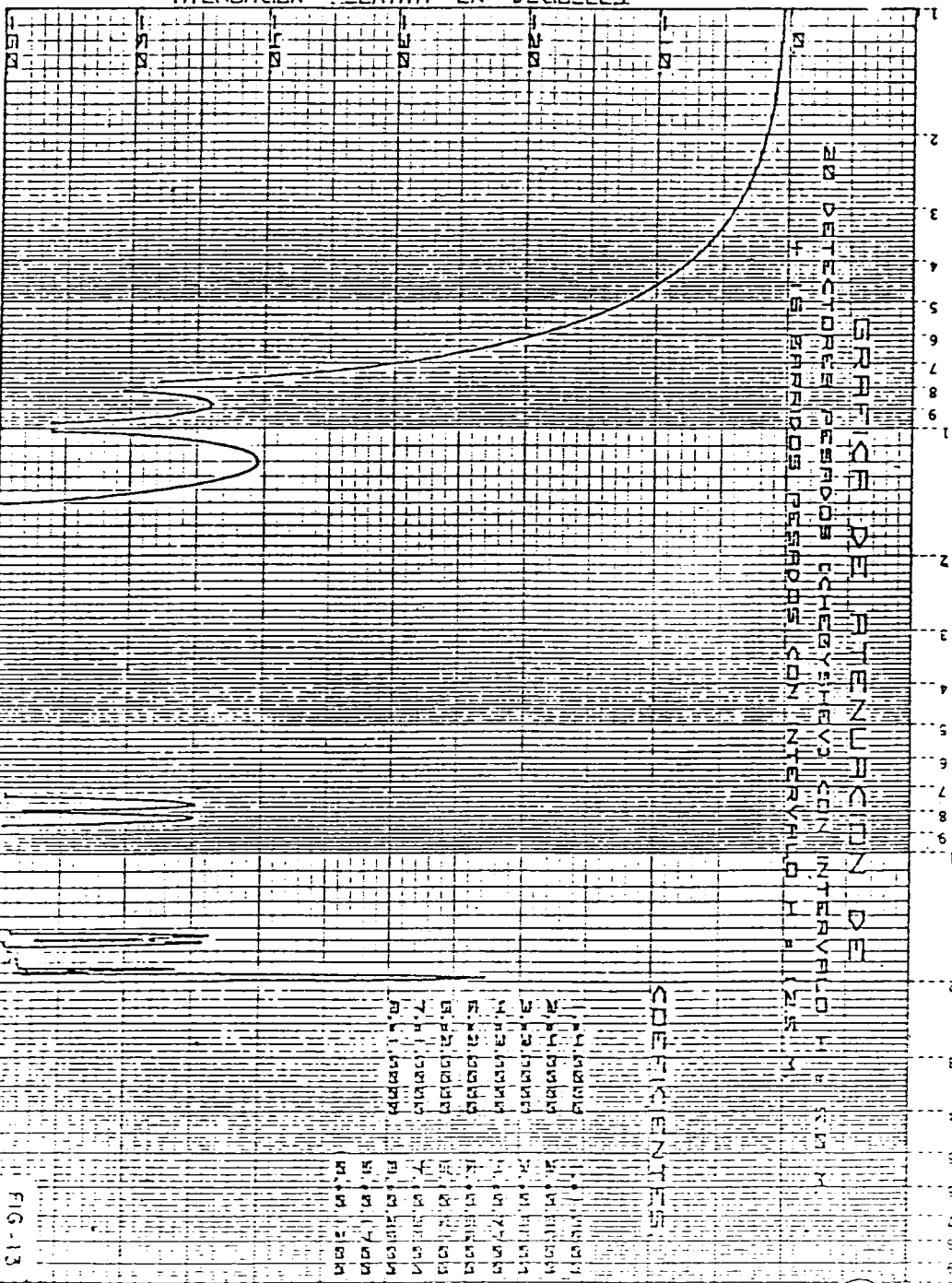
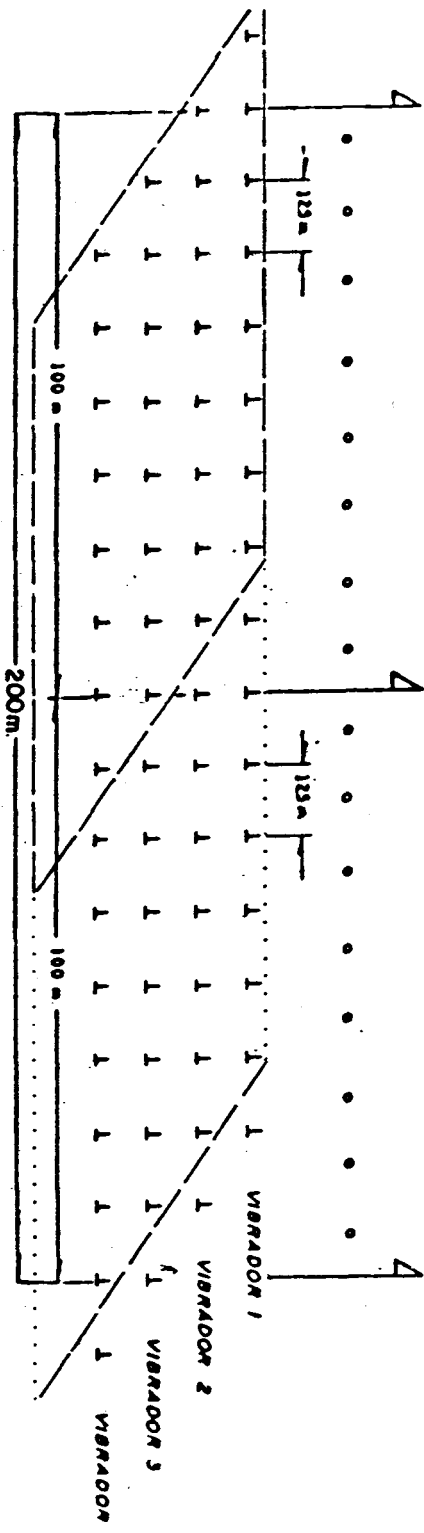


FIG. 13

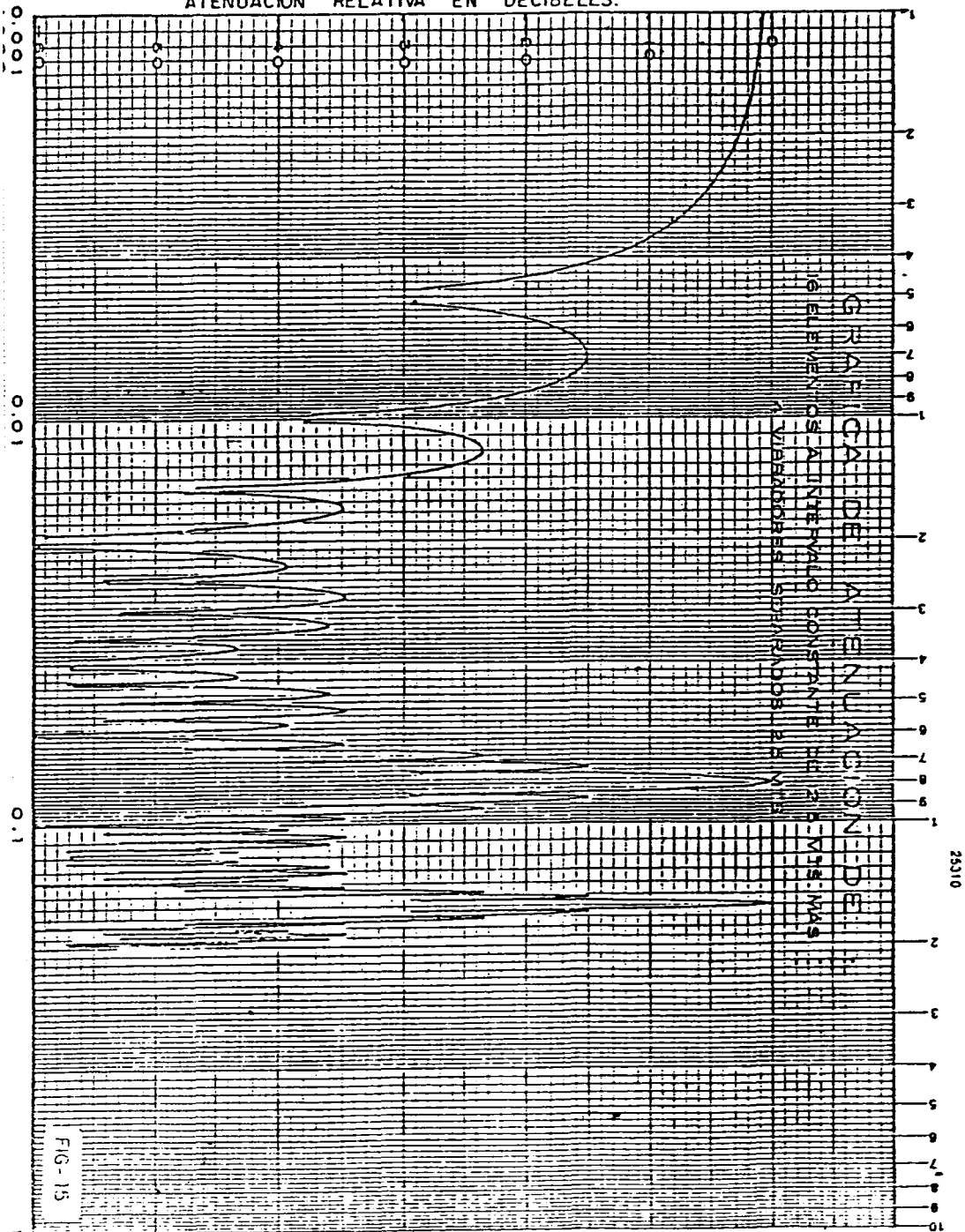
PATRON TOTAL EMPLEADO EN EL ENFOQUE OPTIMO DE LA ENERGIA SISMICA

PERFIL - 1

PERFIL - 2



ATENUACION RELATIVA EN DECIBELES.



ATENUACION RELATIVA EN DECIBELES.

Semi-Logarithmic 3 Cycles x 10 To The Inch

GRACIA DE LA ENLACION DE

VERBOSOS SEPARADOS 25 MT CON 15 MONTOS CON 25 MTS

ENTRE EXAMINOS 20 DETECTORES SEPARADOS (70 MONTOS) SEPARADOS 5 MTS

25310

FIG-16

ENFOQUE DE LA ENERGIA SISMICA CON DIFERENTE INCREMENTO DE TIEMPO *

* DE SAIHOU ADO POR COMESA

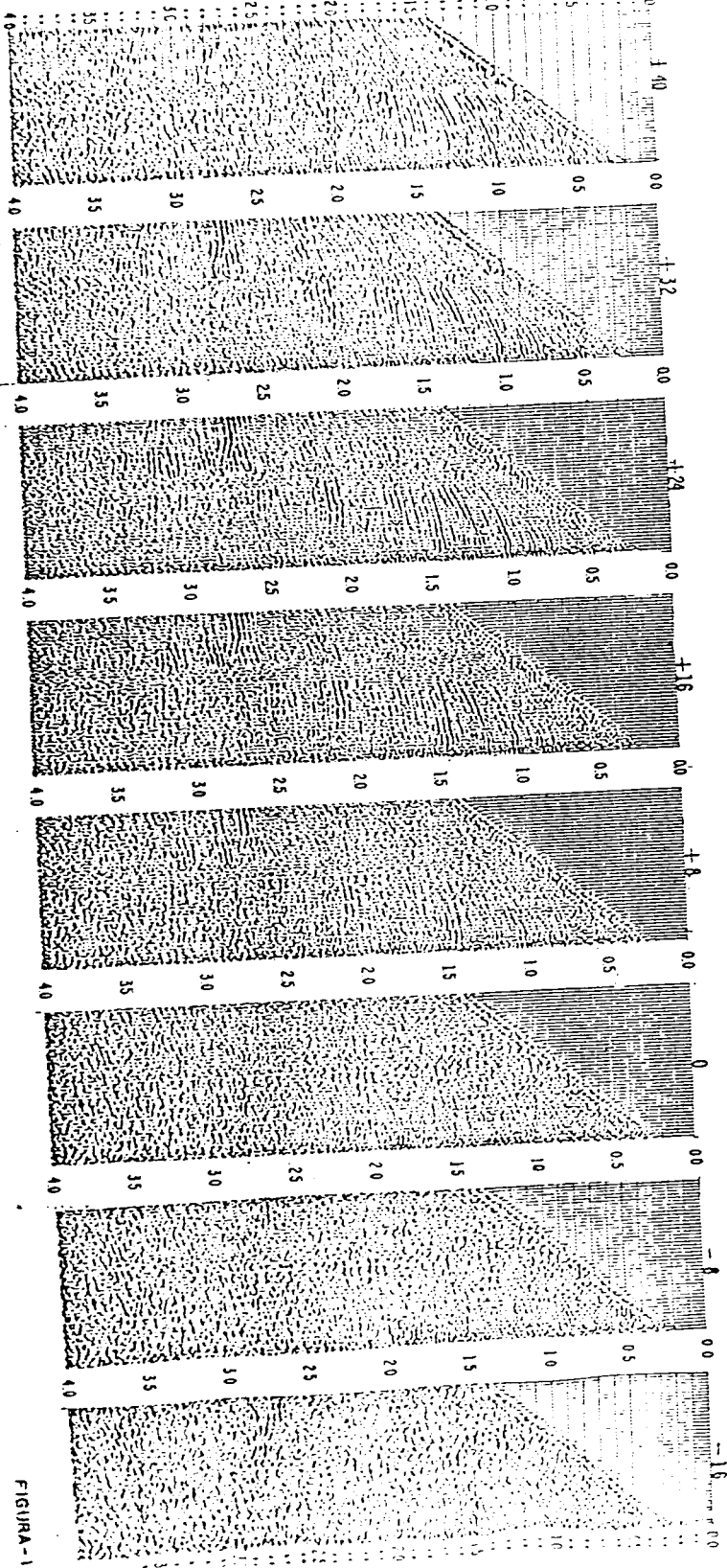


FIGURA-1

EFFECTO DEL ENFOQUE MOVIL DE ENERGIA

SIN ENFOQUE

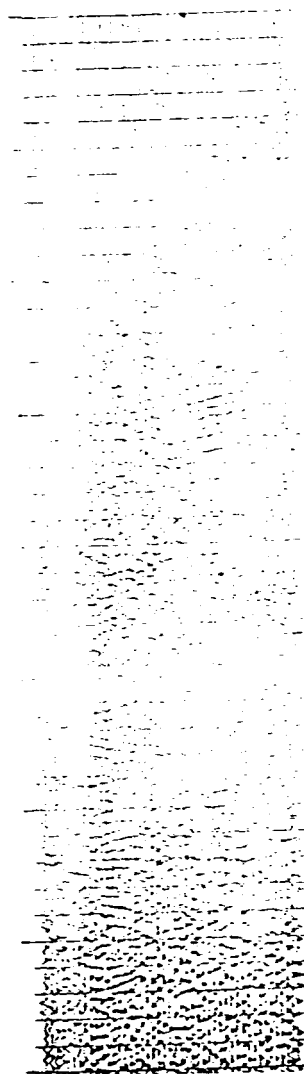
1.5 BARRIDOS



H.P.R

CON ENFOQUE

1.5 BARRIDOS



3.5

4.0

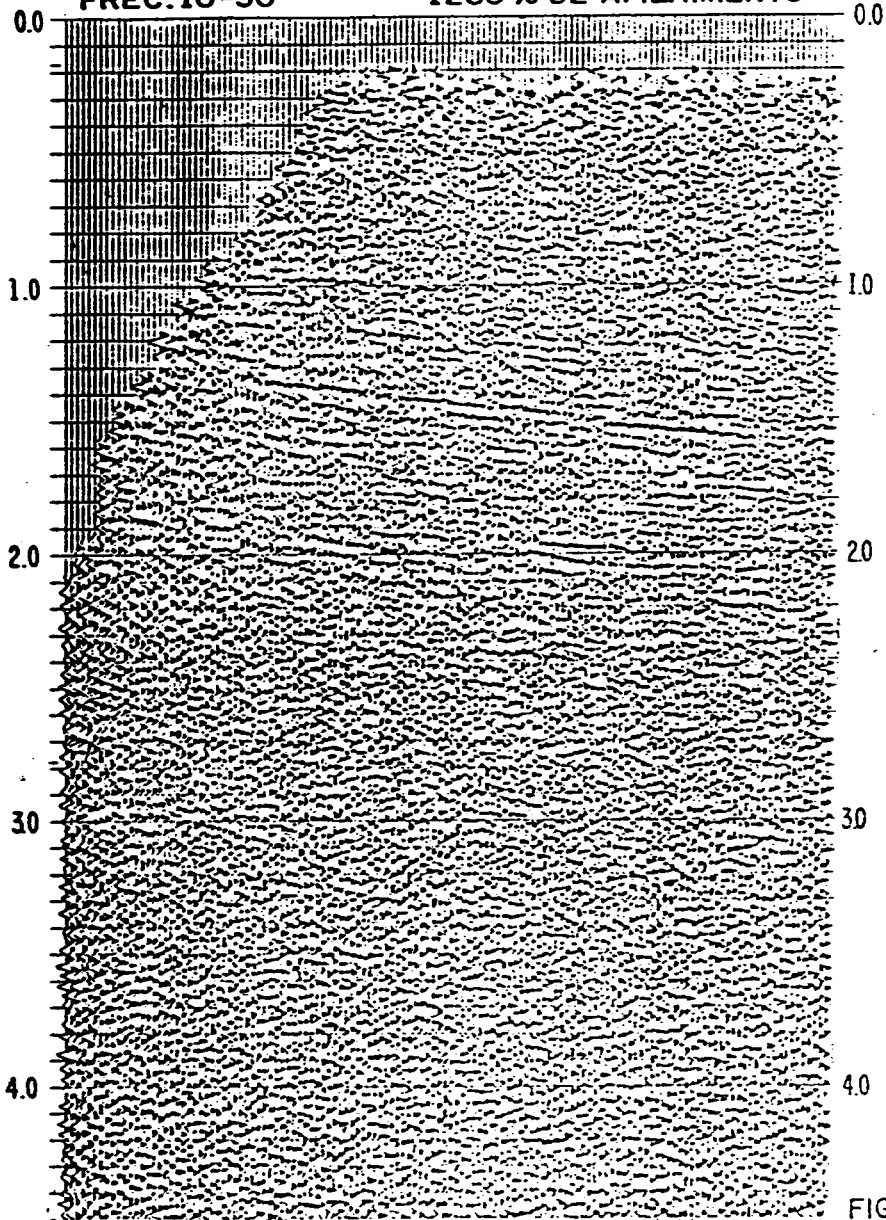
FIGURA-18

SECCION SISMOLOGICA SIN ENFOQUE DE ENERGIA

116 BARRIDOS POR PUNTO VIBRADO

FREC. 10-50

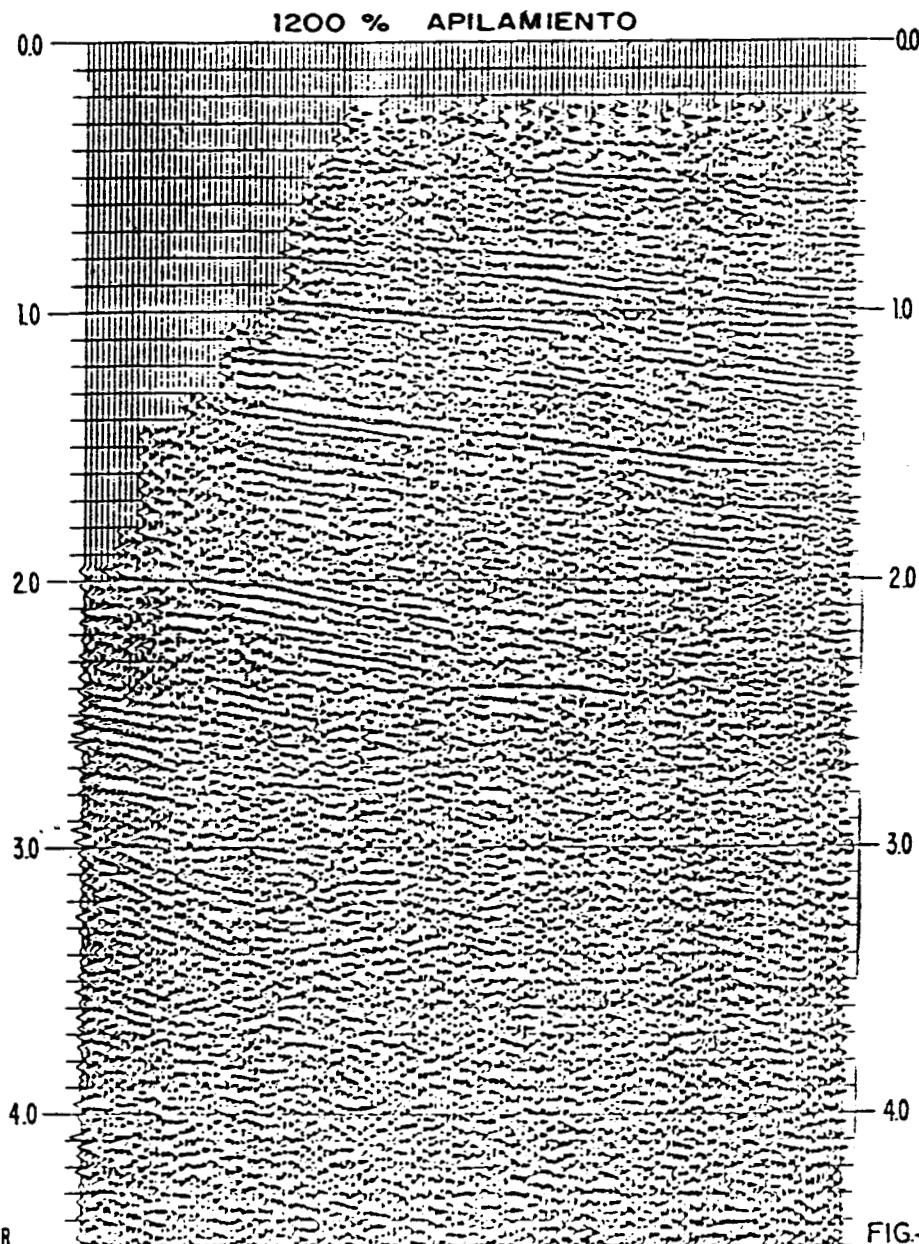
1200% DE APILAMIENTO



H.P.R.

FIG - 19

SECCION SISMOLOGICA CON ENFOQUE
DE ENERGIA
116 BARRIDOS POR PUNTO VIBRADO 1



JC-H.P.R.

FIG-20

SECCION SISMOLOGICA CON VARISOURCE
SIN ENFOQUE DE ENERGIA
{ 8 BARRIDOS POR PUNTO VIBRADO }

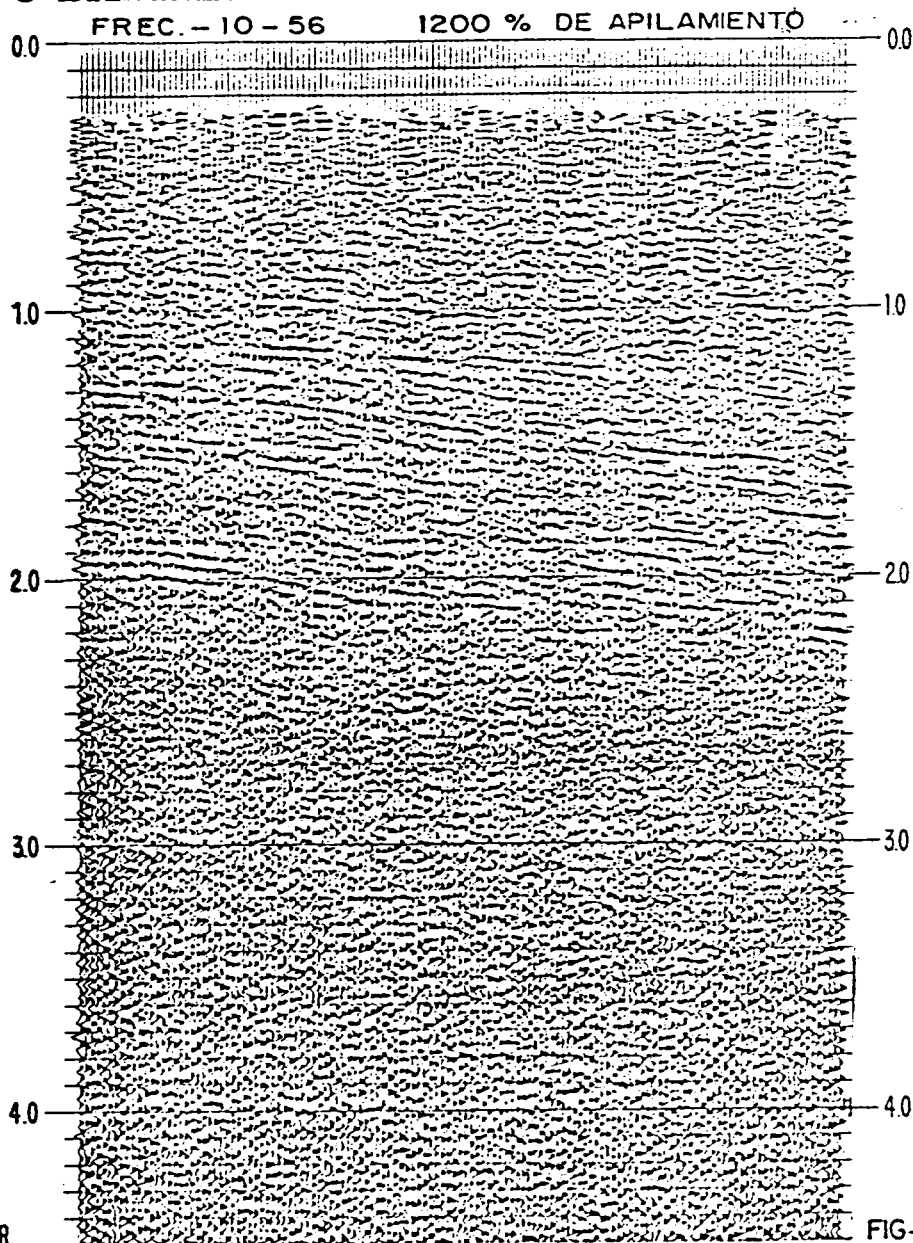


FIG- 21

UN APOORTE DE LA GEOTERMIA A LA PROSPECCION PETROLERA

DR. JOSE OSCAR CAMPOS ENRIQUEZ,
Oficina de Geofísica,
Depto. de Exploración,
Subgerencia de Estudios Geotérmicos,
Comisión Federal de Electricidad.

INTRODUCCION

Se sabe que los hidrocarburos (petróleo y gas) se forman en cuencas sedimentarias a partir de la materia orgánica contenida en las rocas bajo la acción combinada de la temperatura y de la presión en el transcurso de su subducción. Existen modelos numéricos que permiten simular la evolución de la materia orgánica, en los cuales un parámetro primordial es la temperatura.

Con el objeto de utilizar estos modelos como herramienta de prospección es necesario determinar las temperaturas en el subsuelo a partir de datos geológicos, geofísicos y de pozos.

En el presente trabajo se hace una introducción a las técnicas termométricas de la geotermia, definiéndose los parámetros más relevantes y sus respectivas técnicas de medición. Igualmente se presentan algunos conceptos relacionados con la simulación de la evolución de la materia orgánica en hidrocarburos. A continuación se describe un método numérico para estimar la distribución de la temperatura en el subsuelo. Este método es en sí una contribución de la geotermia que junto con modelos geoquímicos constituye una herramienta de exploración petrolera.

Se ilustra la aplicación de este método en una región petrolera: la Depresión Panoniana en Rumania. Primero se calcula la distribución de temperaturas en el subsuelo y a continuación, con la ayuda de un modelo geoquímico, se evalúa el estado de avance de la reacción de transformación de la materia orgánica en hidrocarburos en esta región.

Finalmente, se discute el lugar de esta técnica exploratoria entre las herramientas de rutina.

TRANSFORMACION DE LA MATERIA ORGANICA EN HIDROCARBUROS

La materia orgánica mezclada con los sedimentos, sufre en el transcurso del tiempo geológico transformaciones relacionadas con las condiciones de su subducción. La mayor

parte de los hidrocarburos formados son el producto de un lento proceso de degradación de la materia orgánica en la roca madre, influenciada principalmente por la evolución de la temperatura en el curso de su subducción.

Al inicio de este proceso, la materia orgánica se presenta bajo una forma insoluble en los solventes orgánicos habituales: el querógeno. Este querógeno bajo la acción del aumento de temperatura, consecutiva a la subducción, sufre una ruptura térmica que conduce a la formación de hidrocarburos. Esta evolución continúa a grandes profundidades hasta generar un gas (metano) y un residuo carbonoso.

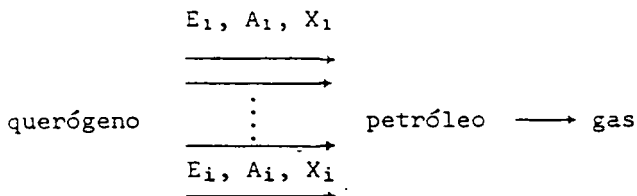
Los parámetros que intervienen en la formación del petróleo son por orden de importancia: la naturaleza de la materia orgánica, la temperatura y el tiempo geológico.

- I. La materia orgánica tipo "algas" (querógeno tipo I) - puede proporcionar 80% de su peso en hidrocarburos en condiciones de laboratorio. De la materia orgánica de origen marino (querógeno tipo II) se puede transformar hasta un 60% del peso en hidrocarburos y por último la materia orgánica que deriva de los vegetales superiores (querógeno tipo III) proporciona hidrocarburos totalizando un 30% de su peso.
- II. La temperatura es el parámetro más importante en la génesis del petróleo. La transformación del querógeno al inicio de su subducción es muy pequeña, después comienza a ser apreciable a partir de una temperatura límite que depende principalmente del tipo de querógeno y de la edad. Cuando la temperatura continúa creciendo, la velocidad de transformación aumenta rápidamente.
- III. A temperatura constante la velocidad de transformación de la materia orgánica en hidrocarburos aumenta con la duración de la reacción, como se confirma por las experiencias de laboratorio (Tissot et al, 1972), por ejemplo un mismo querógeno calentado a 220°C proporciona en 9 meses 1.7 más hidrocarburos que en un mes. La temperatura actúa de manera exponencial mientras que el tiempo lo hace de manera lineal. Así, sedimentos aún muy antiguos no han podido evolucionar si su

subducción, por lo tanto su temperatura ha sido pequeña. Cuanto más joven es la roca madre mucho más elevadas son las temperaturas límites donde se inicia la formación del petróleo (figura 1).

La formación del petróleo y gas puede ser simulada mediante un modelo matemático que toma en cuenta la naturaleza del querógeno, la historia de la subducción y el gradiente geotérmico (Tissot y Espitalie, 1975).

Este modelo puede ser resumido por el siguiente esquema de reacciones:



donde cada una de las reacciones de degradación del querógeno, simbolizadas por una flecha, representa un conjunto de complejas reacciones químicas.

Las reacciones de degradación del querógeno -- pueden ser estudiadas bajo la forma de reacciones químicas de orden 1.

$$\frac{dX_i}{dt} = -K_i X_i$$

$$K_i = A_i \exp\left(\frac{-E_i}{RT}\right) \quad \dots \quad \text{ecuación tipo Arrhenius}$$

t = tiempo en millones de años

T = temperatura absoluta

X_i = cantidad de querógeno implicado en la i-esima reacción

K_i = constante de velocidad de la i-esima reacción

E_i = energía de activación

R = constante de los gases en calorías

A_i = constante de la ecuación tipo Arrhenius

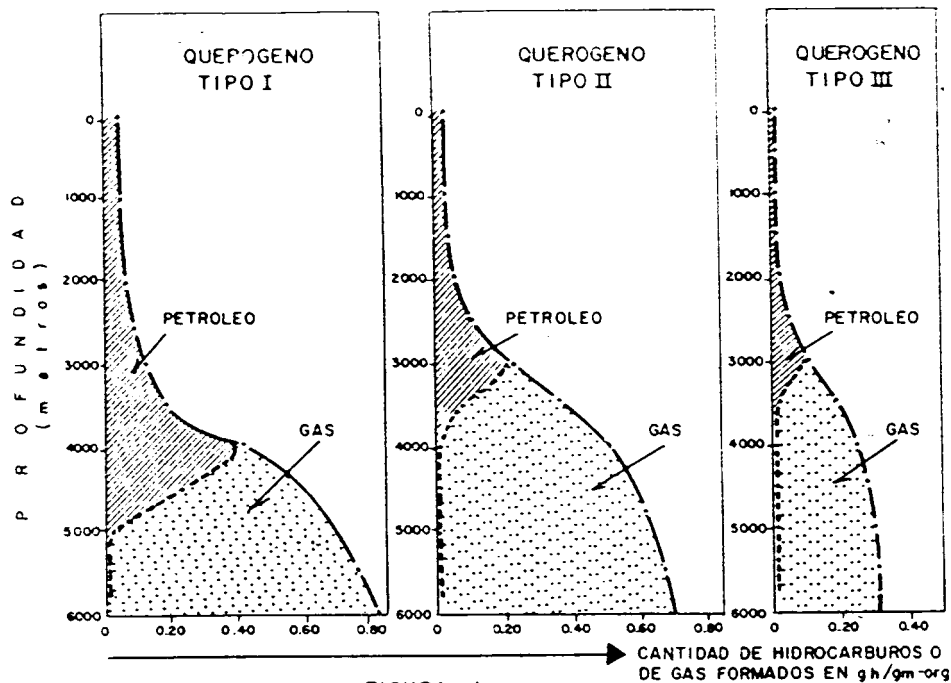


FIGURA 1a

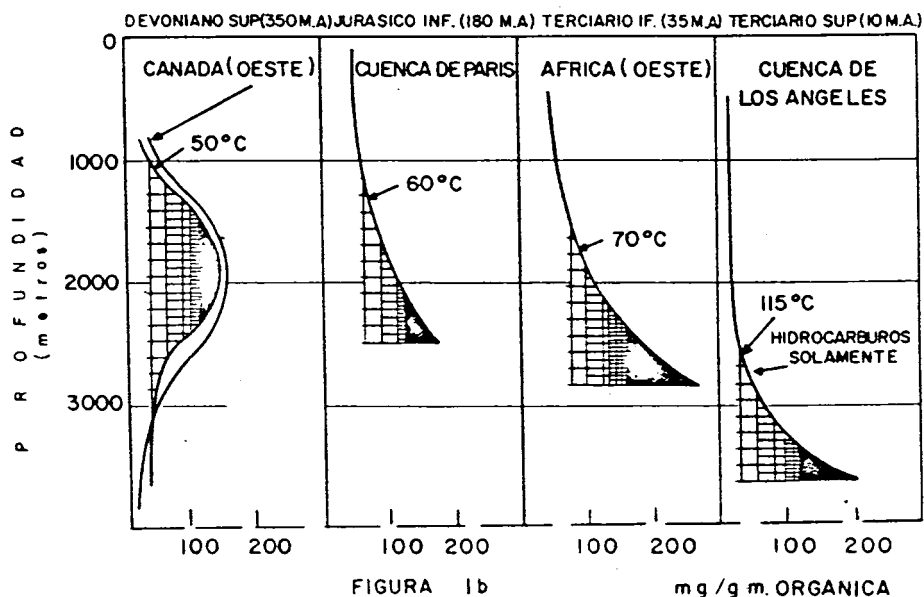


FIGURA 1b

FIGURA 1a: EVOLUCION COMPARADA DE DIVERSOS QUEROGENOS PARA UNA SUBSIDENCIA REGULAR DE 6000 M EN 100 MILLONES DE AÑOS Y UN GRADIENTE GEOTERMICO DE 35°C/KM. TOMADO DE TISSOT Y ESPITALIE (1975).

FIGURA 1b: PROFUNDIDADES COMPARADAS DE LA ZONA PRINCIPAL DE FORMACION DE HIDROCARBUROS EN ROCAS MADRE DE EDAD DIFERENTE. TOMADO DE TISSOT, DEROO Y ESPITALIE (1972).

Es posible con la ayuda de este modelo simular en una computadora la génesis del petróleo y del gas en una cuenca sedimentaria. El valor de los parámetros implicados se obtiene a partir de datos geológicos y geoquímicos.

A continuación veremos la forma de obtener uno de los datos más importantes en la utilización de este modelo: la distribución de la temperatura en el subsuelo.

METODO NUMERICO PARA EL CALCULO DE LA TEMPERATURA EN EL SUBSUELO

El flujo de calor en régimen estacionario en un medio homogéneo e isótropo se efectúa de la región caliente hacia la región fría de acuerdo a:

$$-\frac{K}{\rho c} \Delta T + \frac{A}{\rho c} = 0$$

donde

K = conductividad térmica del medio (miliwatts/cm°C)

ρ = densidad del medio

c = calor específico del medio

A = producción interna de calor (radiactividad por ejemplo)

$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

En nuestras aplicaciones, que involucran zonas de espesores modestos con respecto al de la corteza, la producción interna de calor es muy pequeña en relación al flujo que proviene de los estratos más profundos, por lo cual se le puede despreciar.

De esta manera el cálculo de la distribución de la temperatura en el subsuelo se reduce a resolver la ecuación;

$$(1) \quad \frac{K}{\rho c} \Delta T = 0$$

en un cierto dominio, en cuyas fronteras impondremos condiciones.

El dominio estará basado en cortes geológicos con formas geométricas complicadas, constituidas de varias zonas de conductividades diferentes, donde sería imposible obtener una solución analítica.

Los dominios estarán limitados por cuatro lados o fronteras.

- La superficie del suelo.
- Dos lados verticales en las extremidades del perfil.
- El segmento llamado fondo del perfil, que une las extremidades inferiores de los dos lados verticales.

Las condiciones en la frontera son:

- Temperatura media en la superficie del suelo
- Flujo lateral nulo en los lados verticales
- Flujo geotérmico regional que entra por el fondo del perfil-

La resolución del sistema se efectúa por el método de los elementos finitos (ver Anexo I).

Los parámetros que se emplean en este cálculo son:

- Las conductividades térmicas de los diversos estratos
- El flujo geotérmico regional
- La temperatura media anual en la superficie del suelo

Se considera que el flujo térmico tiene lugar en la dirección de la vertical y que

$$q = K(z) \frac{dT}{dz}$$

donde ϕ = flujo termico ($\mu\text{w}/\text{cm}^2$)

$\frac{dT}{dz}$ = gradiente vertical de temperatura

$K(z)$ = conductividad térmica a la profundidad Z

de donde se puede observar que teóricamente el conocimiento - del gradiente vertical de temperatura y de la conductividad - térmica son suficientes para determinar el flujo geotérmico.

Medición de la Temperatura en Pozos.

Las temperaturas son detectadas con una sonda- constituida por un termistor fijo al extremo de un cable - eléctrico introducido en el pozo. Los termistores son se mi-conductores con un coeficiente de temperatura negativo, lo que significa que su resistencia eléctrica disminuye - de 3 a 5% por grado Celsius de elevación de temperatura.

El cable eléctrico puede estar constituido por cuatro conductores, dos de los cuales están unidos al ter- mistor y sirven para medir su resistencia (con un ohmetro de gran precisión o con un puente de Wheatstone) y los - otros dos corto-circuitados a nivel de la sonda para per- mitir seguir las variaciones eventuales de la resistencia del circuito eléctrico.

Las termometrías se efectúan descendiendo la - sonda en el pozo para evitar hacer mediciones en un medio perturbado por el movimiento del cable. Las mediciones - se efectúan cada 10 m (en pozos poco profundos cada 5 m). En cada medición se deja reposar la sonda 10 minutos y se procede a efectuar 5 observaciones, lo que permite verifi- car el estado de equilibrio de la sonda.

Además de las precauciones en el modo de opera- ción, hay que tener en cuenta las perturbaciones de todos los ordenes a que está sujeto el equilibrio térmico de un pozo.

a) Perturbaciones debidas a las operaciones de - perforación.- El equilibrio de temperatura de los terre- nos atravesados por un pozo es fuertemente perturbado por la penetración de la barrena y debido a la circulación de

los lodos que sirven para enfriar la barrena y evacuar -- los fragmentos de roca.

La parte preponderante de la perturbación proviene de la acción de los lodos que circulan irregularmente en el interior del pozo debido a los numerosos altos -- en la perforación, obligados por los incidentes técnicos o a los modos de operación (cambio de tubería, etc). El resultado de todo ésto es la anulación de los gradientes térmicos en el pozo por aporte de calor de las regiones -- profundas hacia la superficie.

La gran mayoría de los pozos son realizados -- con fines industriales y puestos en explotación inmediata o tapados si son inexplotables. Así, en la mayoría de los casos, se dispone sólo de algunas horas para hacer mediciones en pozos altamente perturbados.

Por otro lado, pocos pozos han sido muestreados sobre grandes longitudes, lo que impide a menudo hacer mediciones de conductividad suficientemente numerosas para tener un valor fiable del flujo.

Para corregir las mediciones obtenidas en condiciones de perturbación extrema se pueden utilizar diversos modelos matemáticos. Bullard (1946) propuso un modelo para el estudio del tiempo de reestablecimiento del -- equilibrio en el cual se considera el subsuelo como un medio infinito con temperatura constante y el pozo como una fuente de calor rectilínea, infinita y constante produciendo Q calorías por unidad de tiempo, si los trabajos de perforación han durado hasta t_1 y si se han hecho mediciones a partir de un tiempo t_2 posterior a t_1 se tiene en general.

$$T(t) = \frac{Q}{4\pi\alpha} \left(\ln \frac{4\alpha t}{r^2} - \gamma \right)$$

$$T(t_2) = \frac{Q}{4\pi\alpha} \left(\ln \left(1 + \frac{t_1}{t_2 - t_1} \right) \right)$$

donde

- α = difusividad térmica del suelo = $\frac{K}{\rho c}$
- γ = constante de Euler = 0.577
- r = distancia a la fuente
- k = conductividad térmica
- ρ = densidad
- c = calor específico

Con el cálculo del cociente $T(t_2)/T(t_1)$ se puede evaluar la perturbación que persiste con respecto a la perturbación máxima al final de la perforación. Por ejemplo, para $\alpha = 0.01 \text{ cm}^2/\text{seg}$, $r = 20 \text{ cm}$, $t_1 = 30$ días; se observa que el pozo necesita un tiempo de reposo igual a una duración entre 10 y 20 veces el tiempo de perforación para que el equilibrio sea reestablecido.

Lachenbruch y Brewer (1959) determinaron experimentalmente la siguiente ley de evolución de la temperatura con el tiempo a una cierta cota

$$T(t_2) = A + B \log_n \left(1 + \frac{t_1}{t_2 - t_1} \right)$$

- t_1 = duración de la circulación de los lodos
- t_2 = un instante posterior a t_1
- A = temperatura en equilibrio
- B = constante dependiendo de las características de la perforación

Mostraron, además, que los errores debidos a la hipótesis de cálculo de que el pozo es una fuente de calor de intensidad constante son inferiores a la precisión de las mediciones y no intervienen en los resultados a condición de iniciar la acción de la fuente de calor en el momento en que la barrena alcanza la cota considerada y tomar por su intensidad su valor medio.

Ottlé (1977) calcula las temperaturas en equilibrio a partir de temperaturas medidas en los registros de pozo y utilizando un modelo matemático elaborado en base al de Bullard (1959). Para esto utiliza dos mediciones de la temperatura en cada cota y la bitácora de la perforación para determinar el tiempo de circulación de los lodos en cada punto del estudio. Las temperaturas así extrapoladas se acercan en 3°C a las temperaturas de equilibrio, observadas 10 años después de la perforación.

Lachenbruch y Brewer (1959) demostraron que las medidas efectuadas después de un tiempo igual a la duración de la perforación permiten determinar los gradientes con una precisión del 5%.

En la actualidad existen numerosos modelos que permiten extrapolar las temperaturas en equilibrio (por ejemplo el de Cooper y Jones (1959)), pero cada uno necesita de un mayor número de mediciones de temperatura y el tiempo necesario es muy grande para ser compatible con los imperativos industriales.

b) Perturbaciones a proximidad de la superficie.- Las variaciones climáticas en el año hacen cambiar con el tiempo la temperatura del terreno de una manera sinusoidal, induciendo en este último una onda perturbadora que se amortigua muy rápidamente y cuyo efecto es despreciable a partir de 30 m de profundidad (Kappelmeyer, 1974).

Con el objeto de escapar a las perturbaciones debidas a las variaciones climáticas anuales, se recomienda iniciar las termometrías a partir de los 100 m de profundidad.

Medición de la Conductividad Térmica.

Entre los diversos métodos utilizados para medir la conductividad térmica se encuentran aquellos de régimen estacionario (Birch y Clark, 1940; Beck, 1957; Beck y Beck, 1958; Jolivet, 1966) en los cuales un flujo de calor (ϕ) constante, debe atravesar el cuerpo en estudio en una dirección dada. Si la conductividad K del cuerpo es constante entonces

$$\phi = K \frac{dT}{dx}$$

donde T(x) es la temperatura de la muestra.

En la práctica se procede a comparar la conductividad térmica del cuerpo en cuestión con la de una

substancia conocida, ésto se logra haciendo atravesar simultáneamente los dos cuerpos por un mismo flujo de calor (cuyo valor no es necesario conocer) y midiendo los gradientes de temperatura en estos dos cuerpos se puede determinar la conductividad térmica. Este método se reduce a efectuar precisas mediciones de distancias y de diferencias de temperatura.

En la figura 2 se representa un dispositivo para tales mediciones. Una muestra cilíndrica de 3 cm de diámetro se coloca entre las dos columnas de latón de igual diámetro y unidas a una prensa hidráulica. La presión puede ser ajustada para reducir al mínimo la resistencia térmica de contacto entre las columnas de latón y la muestra.

La parte superior de la columna se somete a una temperatura superior a la de la base. Esto se logra haciendo circular agua caliente y fría, cuyas temperaturas son reguladas por medio de termostatos con una estabilidad de $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$.

Las diferencias de temperatura en las columnas y alrededor de la muestra se miden con termopares diferenciales.

En la figura 2 se observa la siguiente simbología.

- K_1 = conductividad de la columna fría
- K_2 = conductividad de la columna caliente
- K_e = conductividad de la muestra
- K_p = conductividad del contacto muestra-columna
- e = espesor de la muestra
- ϵ = espesor del contacto
- X, d = distancias
- T_2, \dots, T_{10} = temperatura del punto 1, ..., 10
- ϕ = flujo de calor

Se deducen las siguientes ecuaciones

$$\frac{T_3 - T_8}{\text{gradiente caliente}} = e \frac{K_2}{K_e} + A_c \quad (1)$$

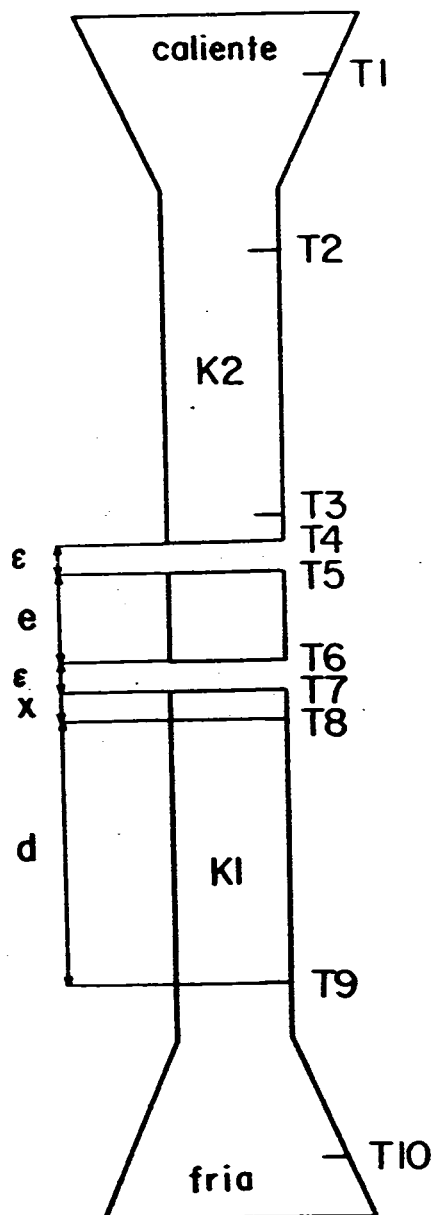


FIGURA. 2 - POSICION DE LOS TERMOPARES EN LAS COLUMNAS DE ACUERDO A JOLIVET (1966)

$$\frac{T_3 - T_8}{\text{gradiente frío}} = e \frac{K_1}{K_e} + Af \quad (2)$$

donde

$$Ac = 2X + \frac{2\varepsilon}{K_p} \cdot K_2$$

$$Af = 2X + \frac{2\varepsilon}{K_p} \cdot K_1$$

Las ecuaciones (1) y (2) representan dos rectas con pendientes respectivas de

$$P_1 = \frac{K_1}{K_e} \quad P_2 = \frac{K_2}{K_e}$$

ya que K_1 y K_2 son conocidas, se puede determinar K_e . Para hacer una buena determinación se efectúan mediciones con muestras cilíndricas de 2, 4, 6, 8 y 10 mm. A estas pastillas cilíndricas se les pulen sus caras y se les aplica una película de laca de plata y una película de grasa conductora con el objeto de que las resistencias térmicas de los dos contactos de la pastilla con las columnas de latón sean idénticas y pequeñas.

Ejemplo.- Región Petrolera de la Depresión Panoniana (Rumania)

Se encontró petróleo entre Satchinez y Calacea en la parte rumana de la depresión Panoniana, aproximadamente a 400 Km al ENE de Bucarest. Los reservorios se encuentran próximos del basamento en zonas falladas donde el juego vertical de las fallas y la sedimentación de cobertura han creado trampas estratigráficas.

Teniendo en cuenta la poca profundidad a la que se encuentran estos reservorios, la proximidad de la roca madre (a 1 200 m de profundidad en Calacea) y su edad reciente (Mioceno), es poco probable que estos hidrocarburos se hallan formado in situ basados en la hipótesis de un gradiente térmico medio (30°C/100 m).

Sin embargo un "efecto del basamento", invocado por los geólogos, podría haber modificado el régimen térmico, aportado las condiciones de temperatura necesarias para la formación in situ de hidrocarburos. Esto

puede ser posible ya que el calor tiene una preferencia fluir por los medios de mayores conductividades térmicas (Von Herzen, 1973) emergiendo en los sedimentos tan sólo en los bordes de la cuenca. Esta situación que crea una diferencia de flujo geotérmico entre Tomnatec y Satchinez Sandra-Calacea, sería la responsable de que las isothermas se amoldaran a la forma del basamento y por lo tanto a que existieran temperaturas mucho más fuertes, a profundidades iguales, en Satchinez que en Tomnatec.

Con el objeto de verificar el fundamento de esta hipótesis, Ottlé (1979) emprendió un estudio del régimen térmico en esta región. Partiendo de ciertas hipótesis efectuó el cálculo de las isothermas y después utilizó el modelo de simulación de la transformación de la materia orgánica en hidrocarburos del Departamento de Geología del Instituto Francés del Petróleo, para estimar la cantidad de hidrocarburos producidos en los bordes de la cuenca así como en su centro. A continuación se da un resumen del trabajo de Ottlé (1979).

Resumen Geológico de la Región.- El perfil estudiado sitúa entre Teremia y Calacea en el extremo oeste de Rumania, a proximidad de las fronteras húngaras al N y yugo lava al S. La región pertenece al dominio carpático de límite oriental de la depresión Panoniana (figura 3).

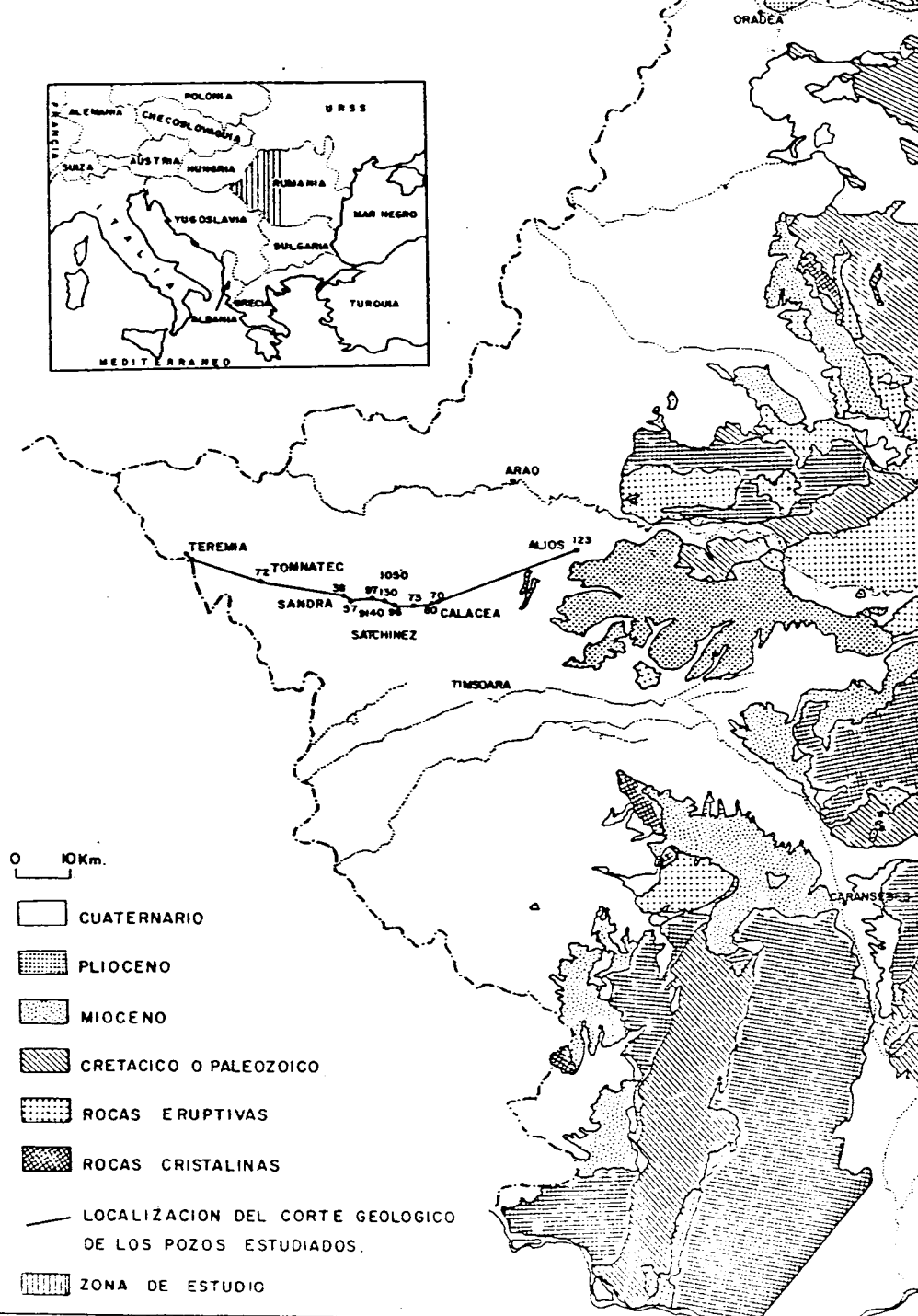
La depresión se formó al final del Cretácico superior, después de la orogenia Laramide, por el colapso de macizos situados entre los Carpatos y los Alpes Orientales y Dináricos. Está rellena por depósitos niogénicos (Paleoceno, Mioceno y Cuaternario) que suprayacen ya sea a formaciones sedimentarias paleozoicas y mesozoicas o a formaciones metamórficas y magmáticas.

Las secciones sísmicas y los datos de pozos permitieron elaborar el corte geológico esquematizado (figura 4), correspondiente al perfil estudiado.

En la figura 3 se puede observar, a lo largo del perfil, el emplazamiento de los pozos donde se cuenta con mediciones de temperatura.

FIGURA 3.7: CARTA GEOLOGICA DE LA DEPRESION PANONIANA
EN EL TERRITORIO RUMANO.

LOCALIZACION DE LOS POZOS ESTUDIADOS



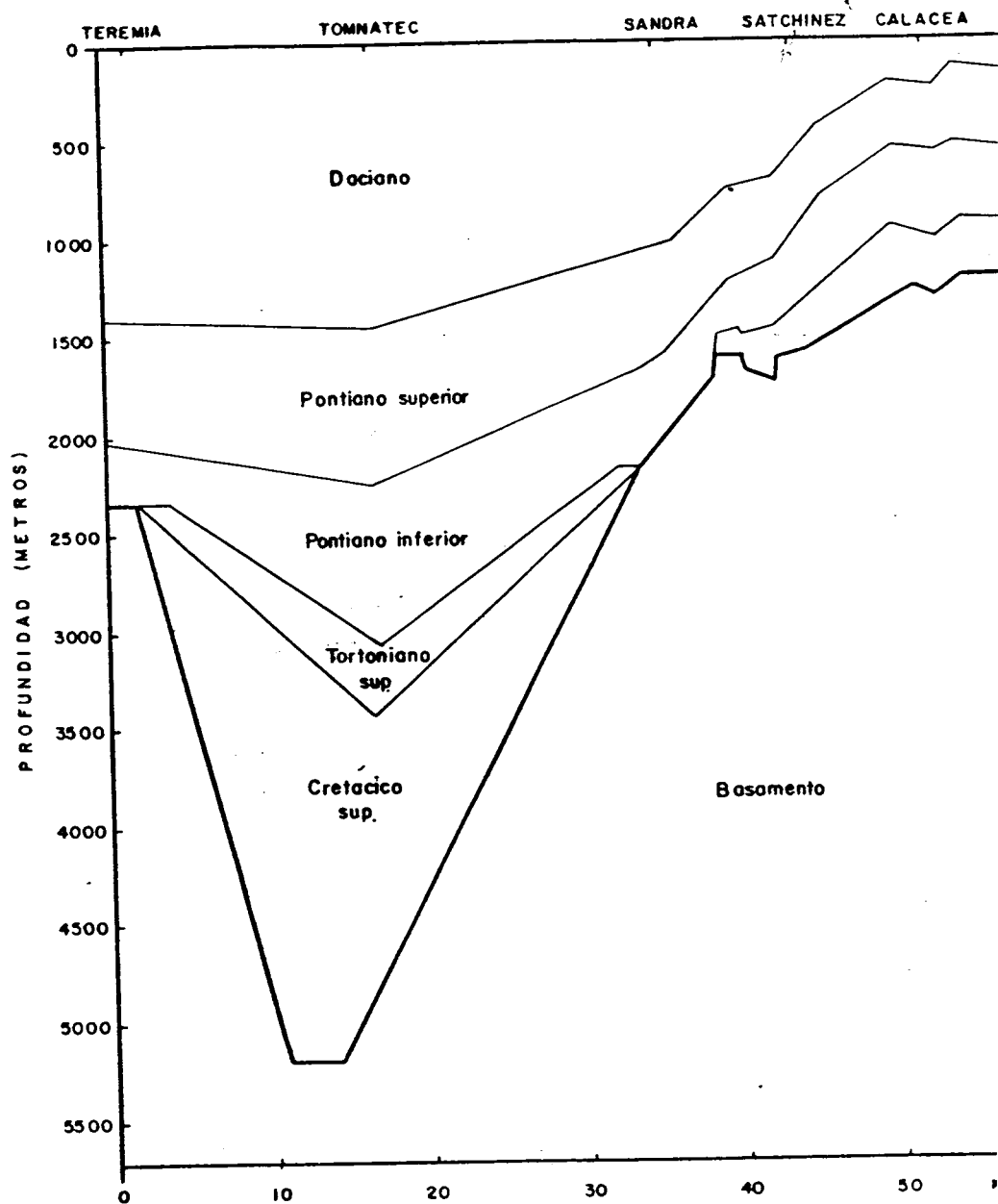


FIGURA 4

CORTE GEOLOGICO ESQUEMATIZADO

Négoita (1976) y Velicui et al (1972), calculan numerosos valores del flujo en esta región. De acuerdo a estos estudios éste es de $7.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Para la conductividad del basamento se tomó un valor de $33 \text{ mW}/\text{cm}^\circ\text{C}$, valor de conductividad observado a menudo en los granitos. A los sedimentos suprayacentes se les asignó el valor de conductividad media de $16.5 \text{ mW}/\text{cm}^\circ\text{C}$, valor frecuentemente encontrado.

Ottlé (1979) resolvió la ecuación (1) en el cuerpo plano representado por el corte geológico de la figura 4, mediante el método de los elementos finitos.

Las condiciones en la frontera que se utilizaron fueron:

- Flujo lateral nulo en las extremidades del perfil.
- Flujo entrando por el fondo del perfil igual a $7.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$
- Temperatura en la superficie de 10°C .

El resultado del cálculo se materializa por el trazado de las isotermas (figura 5). Se observa que las líneas isotermas permanecen horizontales en la parte sedimentaria, pero que se profundizan en el basamento: por ejemplo, se obtiene a la cota 4 500 m. aproximadamente 200°C en los sedimentos y solamente 140°C en el basamento.

No se constató ninguna variación importante en el régimen térmico entre las regiones de Tomnatec (zona de subducción) y de Satchinez (zona de acumulaciones donde el basamento remonta).

En general se demuestra que las desviaciones del flujo geotérmico debidas a la proximidad superficial del basamento son muy pequeñas.

En esta cuenca sedimentaria la materia orgánica de la roca madre de edad tortoniana (Mioceno Superior) puede ser asimilada al tipo III (materia orgánica de origen continental).

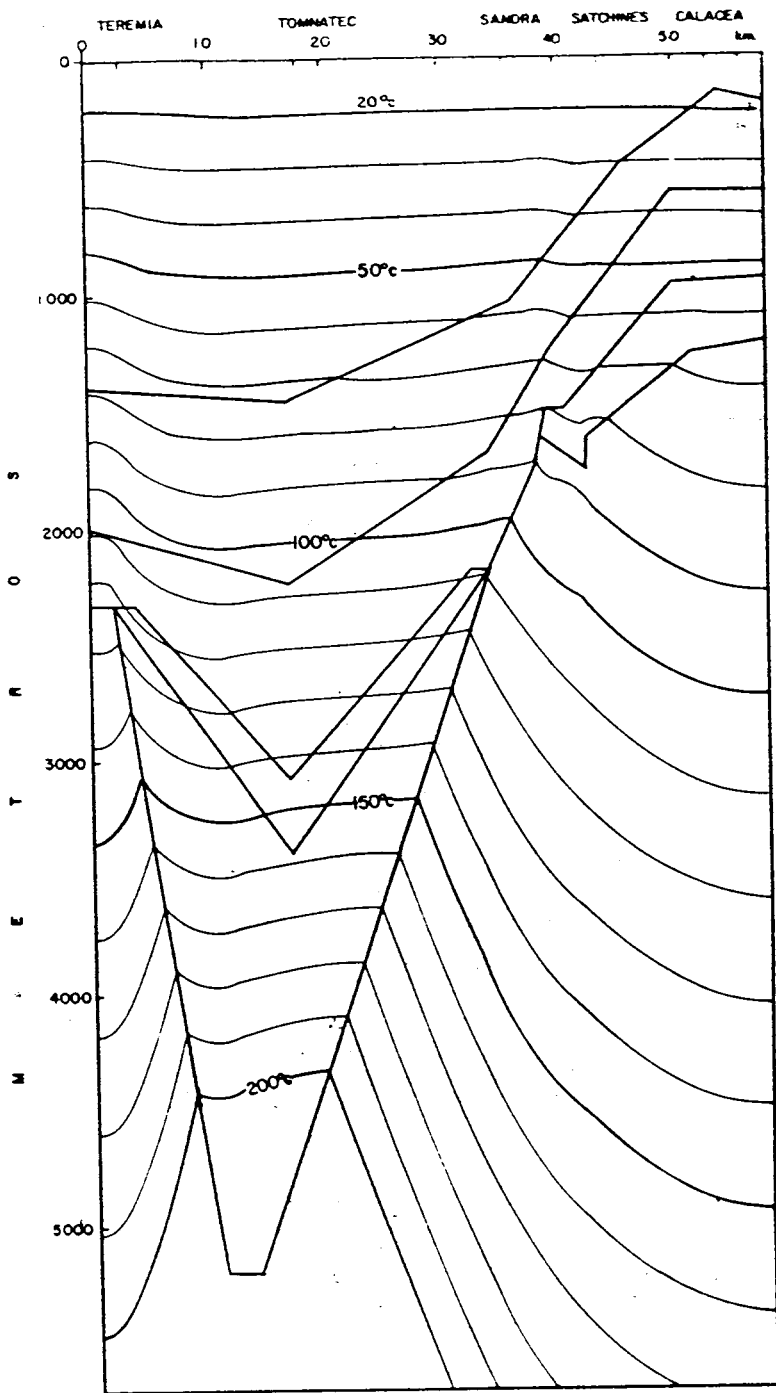


FIGURA 5

ISOTERMAS CALCULADAS ENTRE TEREMIA Y CALACEA

Este parámetro junto con la distribución de - temperaturas calculadas y los datos geológicos obtenidos - en los pozos permitieron simular la génesis de hidrocarburos a partir de la materia orgánica en el centro de la - cuenca y en la zona de acumulación de aceite en la elevación del basamento.

Los resultados de esta simulación se presentan en las figuras 6 y 7, en donde se muestra la distribución de las cantidades de hidrocarburos producidos por gramo - de materia orgánica en función de la profundidad.

En la región de Tomnatec, las rocas madre del Tortoniano (Mioceno Superior) están en estado de transformación muy avanzado (zona de aceite) mientras que en Satchinez, la evolución tan sólo se ha iniciado.

CONCLUSIONES

El estudio del régimen térmico de la región - comprendida entre Tomnatec y Calacea con la ayuda de un modelo numérico permitió mostrar que los sospechados efectos del basamento no tienen una influencia importante. No se observa, en la parte sedimentaria, ninguna tendencia de las isotermas a - contornar la forma del basamento, lo que impide que la temperatura sea más elevada en Calacea que en Tomnatec a la misma profundidad. De lo cual se ve que la temperatura en Satchinez-Calacea no es lo suficientemente elevada para provocar la producción de hidrocarburos in situ. Mientras que en Tomnatec se demuestra que sí se han podido formar hidrocarburos in situ.

Estos resultados, basados en datos termométricos, indican que los hidrocarburos se formaron en el centro de la cuenca y después migraron hacia los reservorios de los bordes.

Este tipo de trabajo se efectúa a partir de datos de prospección: la sección sísmica para obtener la geometría del sistema; pozos para realizar mediciones de conductividad térmica de los diversos estratos o estimar la conductividad térmica a partir de la petrografía.

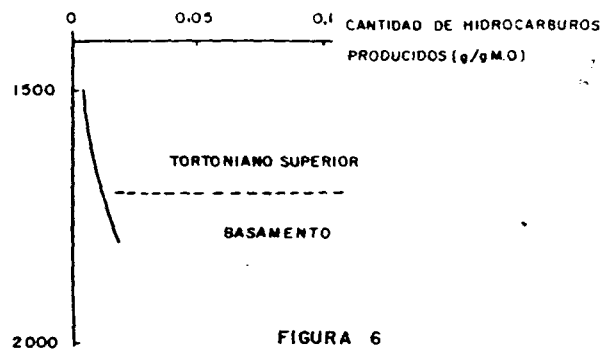


FIGURA 6

Profundidad (metros)

ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE HIDROCARBUROS PRODUCIDOS A SATCHINEZ

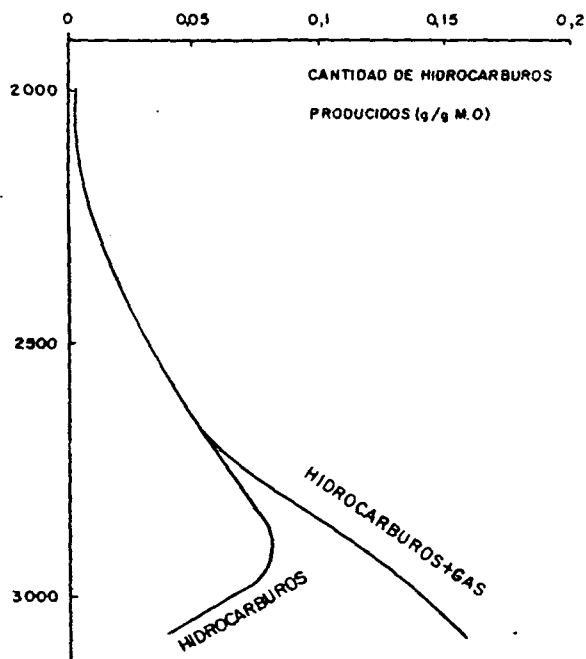


FIGURA 7

Profundidad (metros)

ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE HIDROCARBUROS PRODUCIDOS A TOMNATEC

Se pasa así del conocimiento puntual de la temperatura a un conocimiento global, continuo a lo largo de perfiles geológicos y esto tomando en cuenta a las variaciones de conductividad de las rocas.

Aliando estos resultados con los de la geoquímica es posible utilizar la termometría como herramienta de prospección para situar zonas de formación probable de hidrocarburos con mejor precisión.

La termometría puede por lo tanto aportar a la prospección petrolera una gama de información complementaria a la ya obtenida por la prospección clásica y esto a un costo muy bajo, ya que las bases del trabajo están proporcionadas por la prospección de rutina.

BIBLIOGRAFIA

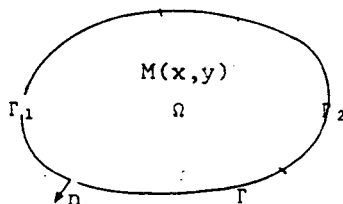
- BECK A., JAEGER J.C., NEWSTEAD, 1956. The Measurement of the thermal Conductivities of Rocks by Observations in Boreholes. Australian Journal of Physics, - 9, p. 286-296.
- BULLARD F.R., 1946. The Time Necessary for a Borehole to Attain Equilibrium. Monthly notices of the Royal Astronomical Society 5, p. 127.
- COOPER L.R., JONES C., 1959. The Determination of Virgin Strata Temperature from Observations in Deep Survey Boreholes. Geophysical Journal, 2, --- p. 116-131.
- JOLIVET J., 1966. Mesure de la Conductivité Thermique des Roches au Laboratoire. Note No. 19. I.P.G., - Paris.
- KAPPELMEYER O., HAENEL R., 1974. Geothermics, with Special Reference to Applications. Geopublications -- Associates, Geoexploration Monographs Series - 1, No. 4.
- LACHENBRUCH A.H., BREWER M.C., 1959. Temperature Effect of Drilling a well in Artic Alaska. U.S. Geol. -- Sur Bull. 1083C, p. 73-109.
- NEGOITA V., 1970. Etude sur la Distribution des Températures en Rumanie. Rev. Roum. Géol. Geophys. et Geograph. Serie géophysique 14, p. 25-30.
- OTTLE J., 1977. Géothermie: Essai de Restitution de la Temperature a l'équilibre dans les Forages. --- Applications a trois puits Alsaciens. Sci. -- Géol. Bull., 30, 2, p. 101-112.
- OTTLE J., 1979. La Géothermie Appliquée a la Prospection Pérolere thèse Docteur-Ingénieur, I.P.G. Strasbourg.

- TISSOT B., DEROO G., ESPITALIE J., 1972. Etude Comparée de -
l'époque de Formation et d'expulsion du pétrole
dans Diverses Provinces Géologiques. Ninth
World Petroleum Congress., Vol. 2, Geology, p.
159-169.
- TISSOT B., ESPITALIE J., 1975. L'évolution Thermique de la -
Matière Organique des Sediments: Application
d'une Simulation Mathématique. Revue de -----
l'I.F.P., Vol. XXX, No. 5, p. 743-777.
- VELICUI S., CRISTIAN M., PARASCHIU D., VISARION M., 1977. --
Preliminary Data of Heat Flow Distribution in
Romania. Geothermics, Vol. 6, p. 95-98.
- VONTTERZEN R.P., UYEDA S., 1973. Heat Flow Through the Eas--
tern Pacific Ocean Floor. J.G.R., Vol. 68, No.
14, p. 4219-4250.

ANEXO I

RESOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DEL FLUJO DE CALOR POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.

El problema continuo: Sea un cuerpo plano Ω - en equilibrio térmico. La temperatura en un punto M de Ω , de coordenadas (x, y) vale $\theta(x, y)$.



Sobre una parte Γ_1 del contorno Γ del cuerpo - se supone que el flujo de calor es proporcional a la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior.

$$(1) \quad \lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} + \alpha(\theta - \bar{\theta}) = 0 \quad \text{sobre } \Gamma_1$$

λ = conductividad térmica del cuerpo

α = coeficiente de transmisión entre el interior y el exterior

$\bar{\theta}$ = temperatura exterior

Sobre la otra parte Γ_2 del contorno del cuerpo se supone que se tiene

$$(2) \quad \lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} = f \quad \text{sobre } \Gamma_2$$

En el interior del cuerpo se supone que existe una tasa de producción de calor r ; la ecuación de la conservación de la energía y la ley de Fourier dan en condiciones estacionarias.

$$(2') \quad -\lambda \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) = r$$

Se debe por lo tanto resolver una ecuación diferencial parcial bajo condiciones en la frontera. Para resolver este problema, se utiliza una formulación variacional.

Sea $v(x, y)$ una función definida y regular sobre Ω , al multiplicar la ecuación (2') por v e integrando sobre Ω .

$$(3) \quad -\lambda \int_{\Omega} \nabla \theta v d\Omega = \int_{\Omega} r v d\Omega$$

Integrando por partes el primer miembro con la ayuda del teorema de Gauss se obtiene

$$(4) \quad -\lambda \int_{\Omega} \nabla \theta v d\Omega = \lambda \int_{\Omega} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial \theta}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} \right) d\Omega - \lambda \int_{\Gamma} v \frac{\partial \theta}{\partial n} dr$$

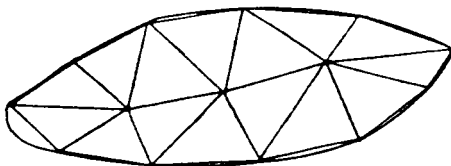
sustituyendo las ecuaciones (1) y (2) en (4) se llega a

$$(5) \quad -\lambda \int_{\Omega} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial \theta}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} \right) d\Omega + \alpha \int_{\Gamma_1} v \theta dr = \int_{\Omega} r v d\Omega + \alpha \int_{\Gamma_1} v \theta dr + \int_{\Gamma_2} v f dr$$

Si θ es la solución del problema, la relación 5 se verifica para toda función v . Recíprocamente, se puede mostrar que si la relación se verifica para toda v , la función θ es solución del problema.

El problema aproximado: En general no se logra calcular la solución analítica del problema y se debe buscar una aproximación. Esto se hace obligando a θ y v a ser funciones de forma particular.

Se divide el cuerpo Ω en un cierto número de figuras geométricas simples (tales como triángulos, cuadrados,) que se denominan elementos finitos. Aquí se utilizará el triángulo con 3 nodos.



Se observa en la figura anterior que es difícil seguir la superficie Γ con segmentos de líneas y que no se evita introducir un error, ya que se sustituye Ω por un cuerpo de forma similar mas no idéntica.

Los vértices de los triángulos se llaman nodos de la malla. La hipótesis fundamental sobre la cual está basado el método es que en un punto P cualquiera de un elemento, $\bar{\theta}$ y v pueden expresarse respectivamente en función de sus valores en los nodos de éste y de una función de interpolación.

Sea \bar{H} la columna que contiene las temperaturas del conjunto de los nodos de la malla.

$$\bar{H} = \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_n \end{pmatrix}$$

Consideramos el Elemento E_e de la malla, las temperaturas en los nodos de este elemento se escriben de acuerdo a la matriz uni-columna \bar{H}_e

$$\bar{H}_e = L_e \bar{H}$$

donde $L_e = (L_{ij})$, $L_{ij} = 1$ si el j -ésimo elemento de \bar{H} es el i -ésimo elemento de \bar{H}_e . $L_{ij} = 0$ en todos los otros casos.

De acuerdo a la hipótesis fundamental si los nodos del elemento E_e tienen los índices respectivos i, j, k , se puede expresar a θ y v en un punto del elemento por

$$\theta_e(P) = N_i \theta_i + N_j \theta_j + N_k \theta_k$$

$$V_e(P) = N_i v_i + N_j v_j + N_k v_k$$

lo que puede ser escrito en forma matricial

$$\theta_e(P) = N_e(P) \mathbb{H}_e$$

$$V_e(P) = N_e(P) V_e$$

Si introducimos el vector gradiente

$$\vec{\text{grad}} \theta_e = \begin{bmatrix} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} \\ \frac{\partial \theta_e}{\partial y} \end{bmatrix} = D \theta_e$$

$$D = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix}$$

y se obtiene

$$\vec{\text{grad}} \theta_e = D \theta_e = D N_e \mathbb{H}_e = B_e \mathbb{H}_e$$

si hacemos

$$B_e = D N_e$$

Igualmente para V_e se obtiene

$$\vec{\text{grad}} V_e = B_e V_e$$

Sustituyendo estas expresiones en (5) se obtiene la formulación matricial de la expresión variacional.

$$\begin{aligned} \lambda \int_{E_e} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial \theta}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} \right) d\Omega &= \lambda \int_{E_e} \vec{\text{grad}} \theta_e \cdot \vec{\text{grad}} v_e d\Omega \\ &= \lambda \int_{E_e} V_e^T B_e^T B_e \bar{H}_e d\Omega \end{aligned}$$

Introduciendo la matriz $\Lambda = \lambda I$ (I = matriz unitaria)

$$\begin{aligned} (6) \quad &= V_e^T \int_{E_e} (B_e^T \Lambda B_e) d\Omega \bar{H}_e \\ &= V_e^T K_e \bar{H}_e \end{aligned}$$

donde K_e se calcula con la ayuda de la integral sobre el elemento E_e de (6) y se le denomina matriz elemental de conductividad.

Estos calculos se repiten de manera análoga para los otros términos de (5).

$$\alpha \int_{E_e \cap \Gamma_1} v \theta d\Gamma = V_e^T \int_{E_e \cap \Gamma_1} \alpha N_e^T N_e d\Gamma \bar{H}_e = V_e^T A_e \bar{H}_e$$

$$\int_{E_e} r v d\Omega + \alpha \int_{E_e \cap \Gamma_1} v \bar{\theta} d\Gamma_1 + \int_{E_e \cap \Gamma_2} v f d\Gamma_2 =$$

$$V_e^T \int_{E_e} r N_e^T d\Omega + V_e^T \int_{E_e \cap \Gamma_1} \alpha \bar{\theta} N_e^T d\Gamma_1 + V_e^T \int_{E_e \cap \Gamma_2} f N_e^T d\Gamma_2 = V_e^T Q_e$$

Las integrales sobre los lados $E_e \cap \Gamma_i$, $i = 1, 2$ solo existen si el elemento posee un lado sirviendo de frontera al cuerpo.

Se obtiene finalmente la expresión matricial - de cada elemento.

$$V_e^T K_e \Phi_e + V_e^T A_e \Phi_e = V_e^T Q_e$$

considerando ahora el conjunto del cuerpo

$$\sum_e (V_e^T K_e \Phi_e + V_e^T A_e \Phi_e) = \sum_e V_e^T Q_e$$

$$\text{sea} \quad V^T \left(\sum_e L_e^T K_e L_e + L_e^T A_e L_e \right) \Phi = V^T \sum_e L_e^T Q_e$$

$$\text{al hacer} \quad K = \sum_e L_e^T K_e L_e + L_e^T A_e L_e \quad \text{y} \quad Q = \sum_e L_e^T Q_e$$

se llega a la ecuación matricial global del cuerpo

$$V^T K \Phi = V^T Q$$

válida para todo V , por lo tanto $K \Phi = Q$

Se puede calcular el vector Φ por medio de la resolución de este sistema lineal de ecuaciones.

Finalmente y a modo de ejemplo, calculemos la matriz N_e del tipo de elemento más simple que existe: el triángulo con tres nodos.

Sea un triángulo en cuyos vértices (nodos) las temperaturas son respectivamente θ_1 , θ_2 y θ_3 .

Se considera que se tiene en el interior del elemento una variación lineal de la temperatura

$$\theta(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y$$

se puede igualmente expresar la temperatura en el interior -- del elemento con ayuda de funciones de interpolación y de las temperaturas en los nodos.

$$\theta(x, y) = N_1(x, y)\theta_1 + N_2(x, y)\theta_2 + N_3(x, y)\theta_3$$

se tiene

$$\{\theta\} = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix}$$

$$(7) \quad \theta = [1 \ x \ y] \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

En el nodo del elemento se tiene

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

$$\{\theta\}_e = \psi a$$

se obtiene entonces

$$(8) \quad a = \psi^{-1} \{\theta\}_e$$

donde

$$\psi^{-1} = \frac{1}{2S} \begin{bmatrix} x_2y_3 - x_3y_2 & x_3y_1 - x_1y_3 & x_1y_2 - x_2y_1 \\ y_{23} & y_{31} & y_{12} \\ x_{32} & x_{13} & x_{21} \end{bmatrix}$$

$$y_{ij} = y_i - y_j$$

$$x_{ij} = x_i - x_j$$

$$S = \frac{1}{2} (x_1 y_{23} + x_2 y_{31} + x_3 y_{12}) = \text{área del elemento } E_1$$

La ecuación (7) se puede expresar

$$\theta = [1 \ x \ y] \cdot \psi^{-1} \cdot \mathbb{H}_e$$

Por otro lado

$$\theta = [N_1 \ N_2 \ N_3] * \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = N_e \cdot \mathbb{H}_e$$

de donde

$$N_e = [1 \ x \ y] \cdot \psi^{-1}$$

$$N_1(x, y) = \frac{1}{2S} [(x_2 y_3 - x_3 y_2) + (y_2 - y_3)x + (x_3 - x_2)y]$$

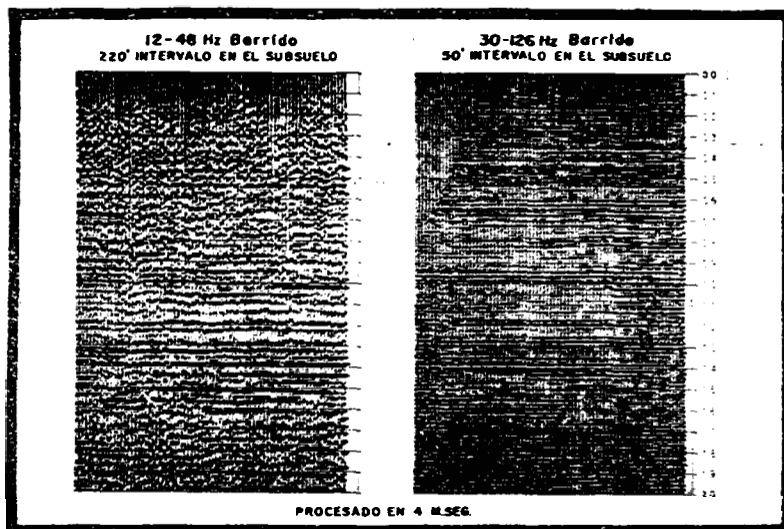
$$N_2(x, y) = \frac{1}{2S} [(x_3 y_1 - x_1 y_3) + (y_3 - y_1)x + (x_1 - x_3)y]$$

$$N_3(x, y) = \frac{1}{2S} [(x_1 y_2 - x_2 y_1) + (y_1 - y_2)x + (x_2 - x_1)y]$$

A partir de estas tres ecuaciones se calcula K_e y Q_e . Renovando esta operación para cada elemento se determina finalmente K y Q .

Mayor energía para usted!

MAYOR ENERGIA
MEJOR PENETRACION Y RESOLUCION
DEL VIBRADOR DE ESPECTRO AMPLIO
MAS POTENTE EN LA PRODUCCION
DE HOY



El vibrador estandar de GSI, de alto poder no tan solo desarrolla la más alta energía sino que además es el más flexible el de mayor precisión y el mas digno de confianza.

POTENCIA: De 30,240 libras de fuerza pico permite el uso de menos maquinas en el campo.

FLEXIBILIDAD: El vibrador de GSI puede barrer hacia abajo o hacia arriba con la misma potencia entre 5 y 200 Hz con acoplamiento excelente a la baja frecuencia.

PRECISION: Los circuitos electrónicos patentados permiten un control de acoplamiento de fase que reduce enormemente la distorsión armónica y permite barridos hacia arriba o hacia abajo a plena fuerza sobre el rango completo de frecuencias.

Los inicios están sincronizados con precisión mediante señales de radio codificados para mayor eficiencia en el campo.

CONFIANZA: El diseño mecánico con mayor resistencia minimiza descompostures y mantenimiento, reduciendo de esta manera el equipo extra que se tiene para repuesto.

A disposición inmediata.

Para mayor información, llamar o escribir a
GSI DE MEXICO, S.A. DE C.V. RIO RHIN No. 22
7° PISO MEXICO 5, D.F. TEL. 566-92-44



GSI DE MEXICO, S.A. DE C.V.

SUBSIDIARIA DE

TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED



perforadata, s. a.

SERVICIOS DE EXPLORACION

- GRAUMETRIA
- SISMOLOGIA
- PERFORACION
- GASOMETRIA
- DELTA CARBONATOS
- POZOS DE AGUA

CON LA EXPERIENCIA DE 32 AÑOS AL SERVICIO DE LA INDUSTRIA PETROLERA MEXICANA.

AV. JUAREZ 117 6o. PISO

MEXICO 1, D.F.

TEL. 566-44-11

**PETROLEOS
MEXICANOS**

Empresa Petrolera Mexicana al Servicio de México

**A C T I V I D A D E S
E X P L O R A C I O N
P E R F O R A C I O N
P R O D U C C I O N
T R A N S P O R T E
R E F I N A C I O N
E X P O R T A C I O N
D I S T R I B U C I O N D O M E S T I C A**

MARINA NACIONAL No. 329

México 17, D. F.

APDOS. 53-142 al 53-145