

# BOLETIN

de la

## Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración

---

### S U M A R I O

Teoría de los Sismo-Detectores de Bobina Móvil, por el  
*Ing. A. García Rojas.*

Historia del Campo "La Venta", por el *Ing. A. Villagómez Aguilera.*

Determinación Gravimétrica del Elipsoide que más se  
ajusta a la Realidad Mexicana, por el *Dr. Honorato de Castro.*

#### "FORO ABIERTO"

Usos y Peligros de los Filtros de Paso de Banda Angosta,  
por el *Ing. F. Nery España.*

Nuevos Socios.

## TEORIA DE LOS SISMO-DETECTORES DE BOBINA MOVIL

Por el Ing. *A. García Rojas* \*

Como la literatura sobre la teoría de los detectores se encuentra muy dispersa en distintas publicaciones sobre geofísica se presentan adelante los aspectos teóricos más importante sobre los sismo-detectores de bobina móvil, que son los empleados más frecuentemente en los trabajos de exploración sísmológica.

El trabajo se ha dividido en tres partes, la primera corresponde a las ecuaciones de movimiento y la variación de la amplitud de la señal de salida con la frecuencia, la segunda parte describe, basándose en el trabajo de A. J. Seriff, \*\* la variación en la señal de salida cuando se emplean dos detectores por traza, haciéndose consideraciones cualitativas para el empleo de más detectores; y la tercera parte se refiere a la determinación experimental de las características de los sismo-detectores.

En este número de la revista se publica la primera parte del trabajo, y en números posteriores se publicarán las partes restantes.

El presente trabajo fue preparado bajo la dirección del Ing. Antonio García Rojas, Gerente de Exploración de Petróleos Mexicanos con la colaboración de técnicos del Departamento de Geofísica de la misma, y del señor H. Sears de Hall-Sears Inc.

### PRIMERA PARTE

#### 1.—ECUACIONES DE MOVIMIENTO

Un sismo detector de bobina móvil, consta esencialmente de una bobina montada en una armadura, que se mueve en dirección perpendicular a un

---

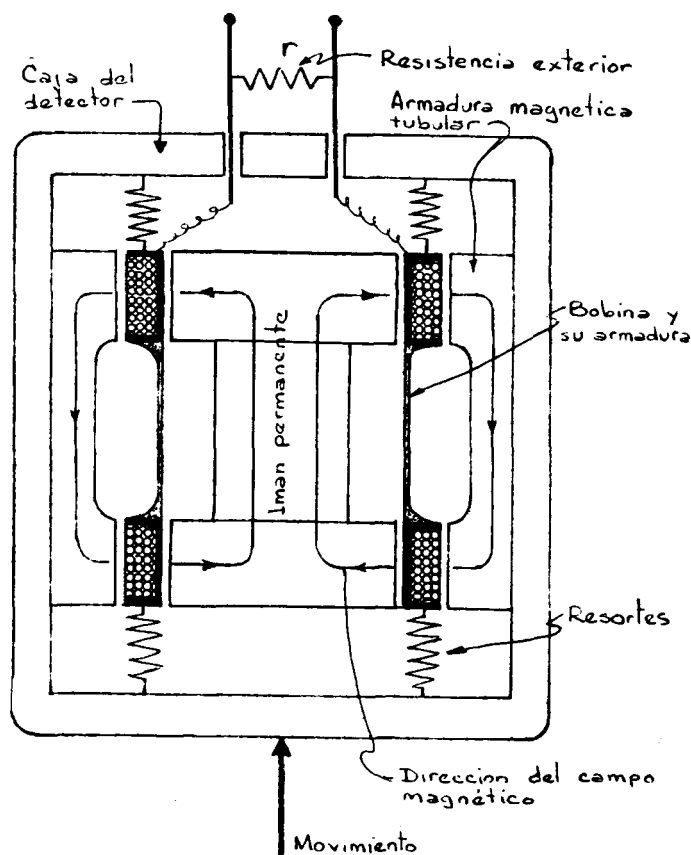
\* Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.

\*\* The Response of Seismometers in Series and Parallel Connections.—Geophysics, Vol. XXIV, No. 1 (Feb. 1959).

campo magnético por el impulso que recibe de las ondas elásticas que se propagan por el terreno.

La bobina está ligada al cuerpo del sismo-detector por uno o dos resortes, generalmente planos, que hacen que tienda a recuperar su posición de equilibrio, con relación al cuerpo del sismo-detector después de que cesa el impulso que originó el movimiento.

La representación esquemática del sismo-detector se indica en la figura No. 1.



*Fig. 1 - Corte Seccional de un sismo-detector*

Las fuerzas que obran sobre el sistema móvil son:

a) La fuerza de inercia, que de acuerdo con la ley de Newton es:

$$f_i = M \frac{d^2x}{dt^2}$$

en donde M es la masa de la parte móvil del detector (que generalmente se expresa en gramos masa) y  $d^2x/dt^2$  es la aceleración que adquiere la masa M.

b) La fricción mecánica del sistema móvil, que es proporcional a la velocidad de desplazamiento de la bobina con relación a la caja del detector, y que se opone al movimiento, su valor es:

$$f_f = C_m \frac{dx}{dt}$$

en donde  $C_m$  es el factor que multiplicado por la velocidad de la bobina, da el valor de la fuerza de fricción.

Teniendo en cuenta las pequeñas velocidades de la bobina y que los desplazamientos de los resortes son también muy pequeños,  $C_m$  pueden considerarse igual a 0 sin introducir errores de importancia.

c) La fuerza de restitución del resorte, que es proporcional al desplazamiento de la bobina fuera de su posición de equilibrio, y que también se opone a su movimiento.

Para materiales que trabajan dentro de su límite elástico, de acuerdo con la ley de Hooke, esta fuerza vale:

$$f_r = Kx$$

siendo K la constante del resorte (que generalmente se expresa en dinas/cm en el sistema c. g. s.) y x es el desplazamiento de la bobina fuera de su posición de equilibrio.

d) La fuerza producida por la corriente que circula por la bobina (la cual es perpendicular al campo magnético) y que se opone al movimiento, tiene un valor:

$$f_c = Bli$$

siendo B la densidad de flujo magnético (que se expresa generalmente en líneas/cm<sup>2</sup>), l la longitud del alambre en la bobina (expresada en cm.), i la

intensidad de la corriente (expresada en ab-amperes, 1 ab-ampere = 10 amperes).

e) Las corrientes parásitas que circulan por la armadura de la bobina y que pueden expresarse en forma semejante a las fuerzas producidas por la corriente que circula por la bobina, cuyo valor es:

$$f_n = S B$$

siendo S una constante de proporcionalidad entre la densidad del flujo y la fuerza que se opone al movimiento de la armadura de la bobina debido a corrientes parásitas.

La suma total de las fuerzas mencionadas, es igual a la fuerza exterior F que obra sobre la parte móvil del sismo-detector y por lo tanto la ecuación de equilibrio es:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + C_m \frac{dx}{dt} + Kx + B l i + S B = F \quad (1)$$

siendo F la fuerza total que obra sobre la parte móvil del sismo-detector debida al movimiento del suelo.

Al moverse la bobina dentro del campo magnético se produce una fuerza electro-motriz cuyo valor es:

$$E = - B l \frac{dx}{dt} = - G \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

en donde G se llama la sensibilidad intrínseca de voltaje del sismo-detector, o sea el voltaje generado para una velocidad igual a la unidad.

Considerando que la bobina tiene una resistencia R y que la resistencia del circuito exterior es r, la corriente que circula por ella es:

$$i = \frac{E}{R + r}$$

y la fuerza que se opone al movimiento de la bobina cuando circula la corriente i es:

$$f_c = \frac{G^2}{R + r} \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

en donde no se toma en cuenta la impedancia de la bobina, debido a que la reactancia de las bobinas actualmente usadas son del orden de 5 milihenrys y a que las frecuencias normales de operación (20 a 150 c. p. s.) la inductancia es muy pequeña con relación a su resistencia que generalmente es del orden de 250 ohms.

En forma semejante a lo anterior puede considerarse que la fuerza que se opone al movimiento de la armadura de la bobina, debida a las corrientes parásitas que por ellas circulan, es de la forma

$$f_a = C_a \frac{dx}{dt}$$

siendo  $C_a$  una constante por la que hay que multiplicar la velocidad de la armadura para obtener el valor de la fuerza que se opone a su movimiento, debido a la circulación de las corrientes parásitas.

Substituyendo lo anterior en la fórmula (1) se tiene:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + (C_m + C_a + \frac{G^2}{R + r}) \frac{dx}{dt} + Kx = F \quad (4)$$

El movimiento del suelo puede descomponerse siempre en grupos de ondas senoidales por medio de las series de Fourier, y por lo tanto, sin pérdida de generalidad, puede decirse que es de la forma,  $-X \cos \omega t$ , por lo que, la aceleración tomará la forma:

$$\frac{d^2}{dt^2} (-X \cos \omega t) = X \omega^2 \cos \omega t$$

dividiendo entre  $M$  en la fórmula (4), se tiene:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{l}{M} (C_m + C_a + \frac{G^2}{R + r}) \frac{dx}{dt} + \frac{K}{M} x = \frac{F}{M}$$

$$\text{Si se hace} \quad 2b = \frac{l}{M} (C_m + C_a + \frac{G^2}{R+r})$$

obtenemos:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2b \frac{dx}{dt} + \frac{K}{M} x = X.u^2 \cdot \cos ut \quad (5)$$

La ecuación anterior es la de un movimiento armónico y su solución para el caso en que su amortiguamiento sea menor que el crítico (bibliografía 4 y 5) es:

$$x = e^{-bt} (x_0 \cos \sqrt{\omega_n^2 - b^2} \cdot t + \frac{V_0 + bx_0}{\sqrt{\omega_n^2 - b^2}} \sin \sqrt{\omega_n^2 - b^2} \cdot t + X \frac{\cos(\omega t - \Theta)}{\sqrt{\left(\frac{\omega_n^2}{\omega^2} - 1\right)^2 + 4 \frac{b^2}{\omega^2}}} \quad (6)$$

$$\text{siendo,} \quad \Theta = \tan^{-1} \frac{2\omega b}{\omega_n^2 - \omega^2} \quad (7)$$

en donde:

$b$  — Amortiguamiento total del sistema móvil del sismo-detector, que vale

$$b = \frac{G^2}{M} (C_m + C_a + \frac{1}{R+r})$$

$\omega_n$  — Período natural de oscilación del sistema móvil del sismo-detector, o sea el período con el que oscilaría si no tuviera amortiguamiento. Su

$$\text{valor es: } \omega_n = \frac{K}{M}$$

$V_o$  — Velocidad del elemento móvil del sismo-detector cuando  $t = 0$ .

$x_o$  — Desplazamiento del elemento móvil del sismo-detector cuando  $t = 0$ .

$\Theta$  — Angulo de retraso entre el movimiento de la bobina del sismo-detector y la caja del mismo.

Nótese que  $X / \sqrt{\left(\frac{\omega_n^2}{\omega^2} - 1\right)^2 + 4 \frac{b^2}{\omega^2}}$  es el desplazamiento máximo

del sistema móvil del sismo-detector, correspondiente al movimiento periódico simple  $X \cos \omega t$  de la caja del sismo-detector.

La fórmula (6) muestra que el movimiento de la bobina tiene dos componentes: Uno periódico amortiguado, de frecuencia  $\omega_o = \sqrt{\omega_n^2 - b^2}$  (que disminuye con el tiempo), y otro periódico simple de la misma frecuencia que el movimiento impreso a la caja del detector, pero defasado un ángulo  $\Theta$  con relación a éste.

El voltaje generado en el sismo-detector se obtiene derivando la ecuación (6) y sustituyendo en la ecuación (2), y después de hacer reducciones queda:

$$E = G e^{-bt} \left( -V_o \cos \omega_o t + \frac{b V_o + x_o \omega_n^2}{\omega_o} \operatorname{sen} \omega_o t \right) + G X \omega \frac{\operatorname{sen} (\omega t - \Theta)}{\sqrt{\left(\frac{\omega_n^2}{\omega^2} - 1\right)^2 + 4 \frac{b^2}{\omega^2}}} \quad (8)$$

La ecuación anterior muestra que el voltaje que se genera en la bobina al recibir un impulso periódico simple tiene componentes de dos frecuencias, una de ellas igual a la frecuencia del impulso recibido por el sismo-detector  $f = \omega / 2\pi$  y la otra con una frecuencia  $f_o = \sqrt{\omega_n^2 - b^2} / 2\pi$  que corresponde a la de la oscilación periódica amortiguada del sistema de la bobina.

Cuando  $\omega_n^2 - b^2 = 0$ , el sismo-detector se encuentra en el caso límite de oscilación periódica amortiguada y el amortiguamiento correspondiente se llama amortiguamiento crítico, para el cual se tiene:

$$b_c = 2\pi f_n \quad (9)$$



## 2.—VARIACIONES EN LA AMPLITUD DE LA SEÑAL DE SALIDA DEL SISMO-DETECTOR CON LA FRECUENCIA.

En la ecuación (8) se mostró que el voltaje generado en la bobina por efecto del movimiento armónico simple que se le imprime, se expresa por la fórmula:

$$E = G X \omega \frac{\text{sen } (\omega t - \Theta)}{\sqrt{\left(\frac{\omega_n^2}{\omega^2} - 1\right)^2 + 4 \frac{b^2}{\omega^2}}}$$

y el voltaje utilizado para alimentar el amplificador es:

$$E_n = G X \omega \frac{r}{R + r} \frac{\text{sen } (\omega t - \Theta)}{\sqrt{\left(\frac{\omega_n^2}{\omega^2} - 1\right)^2 + 4 \frac{b^2}{\omega^2}}} \quad (10)$$

La fórmula (10) muestra que para una amplitud constante X del movimiento impreso a la caja del sismo-detector, la variación de amplitud del voltaje con la frecuencia de excitación, toma la forma que se indica en la figura 2, en la que se ve que solo existe un máximo definido en el caso en que el amortiguamiento sea muy pequeño.

En la fórmula (10),  $\omega X$  es el valor máximo de la velocidad de excitación, que se considerará constante en los desarrollos siguientes y por lo tanto puede escribirse:

$$E_n = G V \frac{r}{R + r} \frac{\text{sen } (\omega t - \Theta)}{\sqrt{\left(\frac{\omega_n^2}{\omega^2} - 1\right)^2 + 4 \frac{b^2}{\omega^2}}} \quad (11)$$

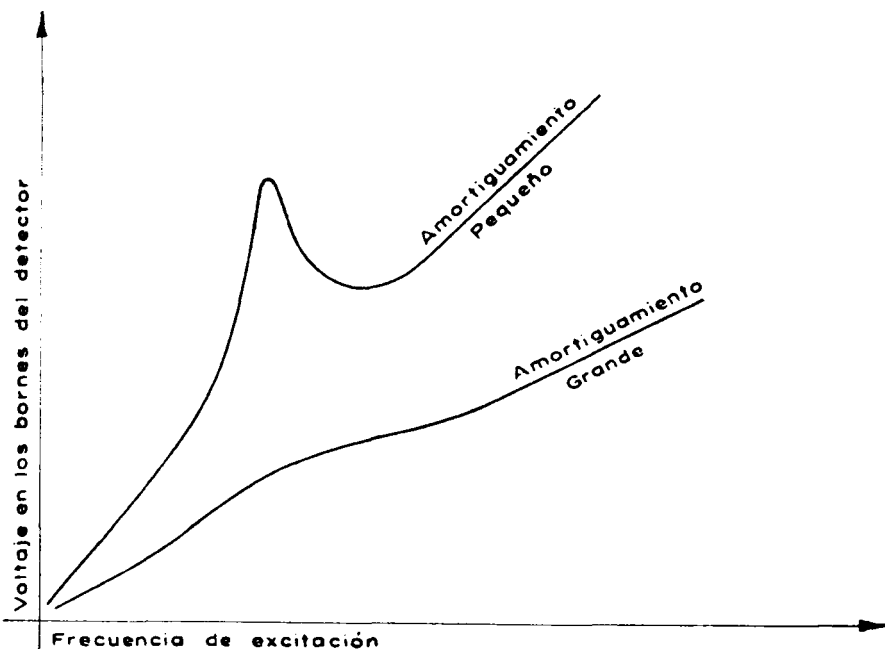


Fig. 2. Variación del voltaje de un detector con la frecuencia de excitación, para una amplitud constante del movimiento.

y el valor del voltaje de salida alcanzará su valor máximo cuando  $dE/d\omega = 0$ , que implica:

$$\frac{d}{d\omega} \left[ \left( \frac{\omega_n^2}{\omega^2} - 1 \right)^2 + 4 \frac{b^2}{\omega^2} \right] = 0$$

y llamando  $\omega_R$  al período al que se tiene la amplitud máxima se saca:

$$\omega_R = \frac{\omega_n}{\sqrt{1 - 2 \left( \frac{b}{\omega_n} \right)^2}}$$

donde  $\omega_R$  es la frecuencia de resonancia para un amortiguamiento  $b$ .

Si se llama  $\beta$  a la relación entre el amortiguamiento del sismo-detector y el amortiguamiento crítico se tiene, de acuerdo con la ecuación (9):

$$\beta = \frac{b}{b_c} = \frac{b}{\omega_n} = \frac{b}{2\pi f_n}$$

y por lo tanto:

$$f_R = \frac{f_n}{\sqrt{1 - 2\beta^2}} \quad (12)$$

En los sistemas mecánicos, en los que la amplitud de la fuerza de excitación es constante, la frecuencia de resonancia vale:  $f_R = f_n \sqrt{1 - 2\beta^2}$  y se presenta una tendencia opuesta a la indicada en la ecuación (12), pues en estos sistemas mecánicos la frecuencia para el punto de máxima amplitud disminuye cuando al aplicar una fuerza constante al sistema, se aumenta el amortiguamiento; esto se explica porque en este caso la amplitud de la fuerza impresa se mantiene constante y en el caso que corresponde a la ecuación (12), la amplitud de la velocidad impresa es la que se mantiene constante.

La forma en que el voltaje entre los bornes del sismo-detector varía con la frecuencia para la misma velocidad de excitación se indica en la figura 3 para un mismo aparato con diferentes coeficientes de amortiguamiento.

En resumen, los sismo-detectores, desde un punto de vista práctico, tienen tres frecuencias que los caracterizan:

a).—La frecuencia natural del sistema, que es aquella a la que oscilaría para el caso de que el amortiguamiento fuera igual a 0, cuyo valor es:

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \sqrt{K/M} / 2\pi$$

b).—La frecuencia de oscilación periódica amortiguada, que depende de las constantes del sistema y de la constante de amortiguamiento, cuyo valor es:  $f_o = \sqrt{\omega_n^2 - b^2} / 2\pi$  y que es aquella a la que oscila amortiguándose con el tiempo, cuando se desplaza de su posición de equilibrio y se le deja recobrarla por sí solo.

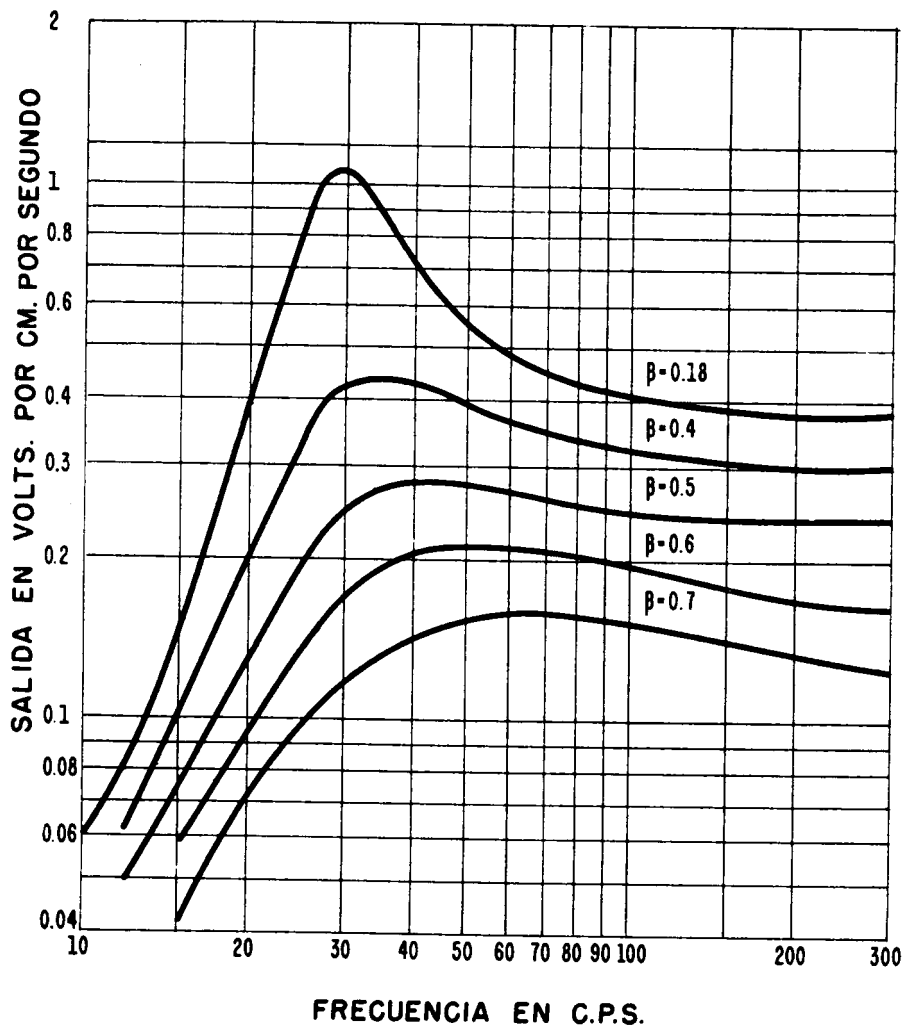


Fig. 3. Curvas típicas de señal de salida de un sismo-detector de 28 c.p.s. de frecuencia natural con velocidad de excitación constante.

c).—Se define como frecuencia de resonancia de un sismo-detector a la que tiene el mayor desplazamiento para una amplitud constante de la velocidad de la caja del sismo-detector. Esta frecuencia es:

$$f_R = f_n / \sqrt{1 - 2\beta^2}$$

Las fórmulas anteriores muestran que en un sismo-detector, para el caso de velocidad de excitación constante, la frecuencia natural es más alta que la frecuencia a la que oscila libremente y que la frecuencia de resonancia a un amortiguamiento determinado, es más alta que la frecuencia natural del sistema.

### 3.—CONSIDERACIONES SOBRE EL EMPLEO DE UN SOLO DETECTOR

Como  $V_0$  y  $X_0$  pueden tener cualquier valor a la llegada de una onda reflejada, debido a que el sistema ya se encuentra en movimiento, se ve que en el caso de que los reflejos tengan frecuencias semejantes a la de oscilación libre de la bobina, es posible que la señal del reflejo pueda distorsionarse. Si la señal de las ondas reflejadas es de frecuencia considerablemente diferente a la frecuencia  $f_0$ , es posible eliminar, por medio de filtros eléctricos, la señal correspondiente al movimiento periódico amortiguado.

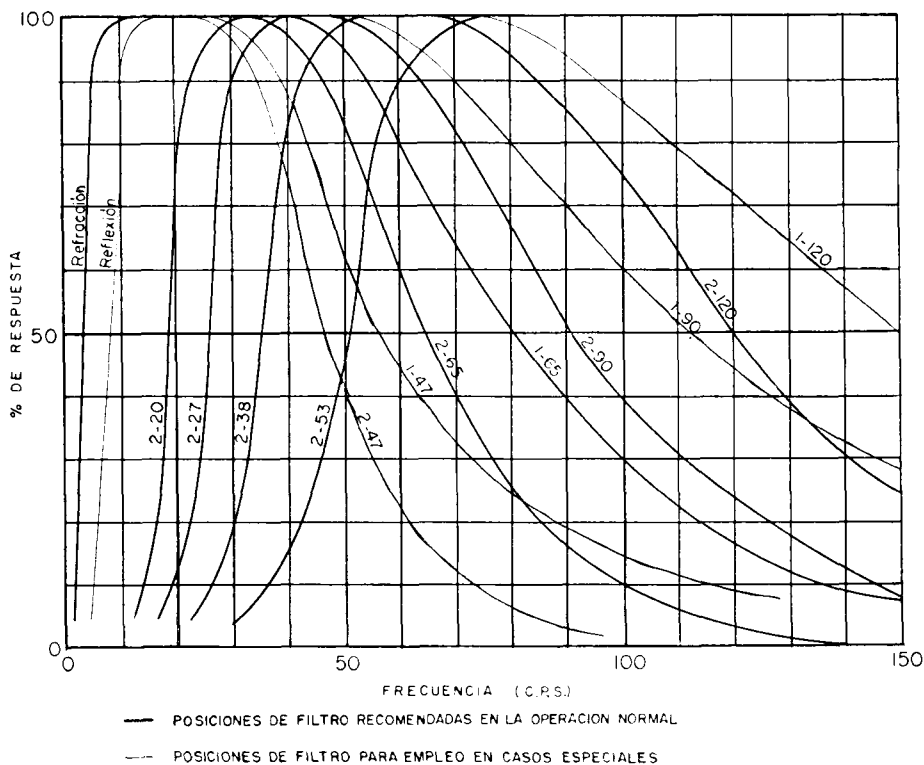


Fig. 4

Por la razón anterior y teniendo en cuenta que el espectro de frecuencia de las ondas reflejadas varía de unos 25 a 60 ciclos por segundo, se ve que es conveniente emplear detectores de frecuencias bajas, menores de 20 ciclos por segundo en combinación con filtros que tengan una atenuación considerable para la frecuencia  $f_0$  y una atenuación baja para el espectro de frecuencias de las ondas reflejadas. Esto es posible con los filtros empleados normalmente en los aparatos sismológicos modernos, que tienen una respuesta semejante a la indicada en la figura 4.

En la práctica no es posible emplear sismo-detectores con frecuencia  $f_0$  más altas que el espectro de frecuencia de los reflejos por la dificultad de obtener una sensibilidad suficientemente alta, debido a que es necesario utilizar un resorte con un valor elevado de  $K$ .

El ángulo de defasamiento entre el movimiento impreso a la parte móvil del sismo-detector y el voltaje de la misma es de  $(90^\circ - \theta)$ , según se indica en la figura No. 5 y varía con la relación de la frecuencia del movimiento impreso a la caja, a la frecuencia natural del detector, según lo indica la fórmula (7), que puede ponerse en la siguiente forma:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2\beta}{f_n/f - f/f_n}$$

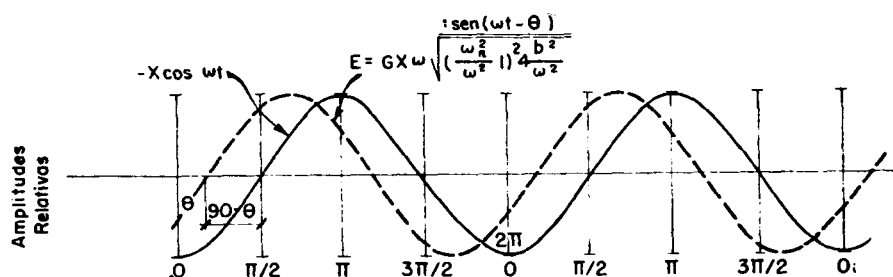


Fig. 5

La variación del ángulo de fase entre el movimiento aplicado al sismo-detector y el voltaje generado en la bobina, para diferentes valores de  $\beta$  se indica gráficamente en la figura No. 6, donde se observa que el ángulo de defasamiento varía más rápidamente con la variación de las frecuencias de las ondas reflejadas, cuando disminuye el amortiguamiento y cuando es más cercana a la unidad la relación  $f/f_n$ .

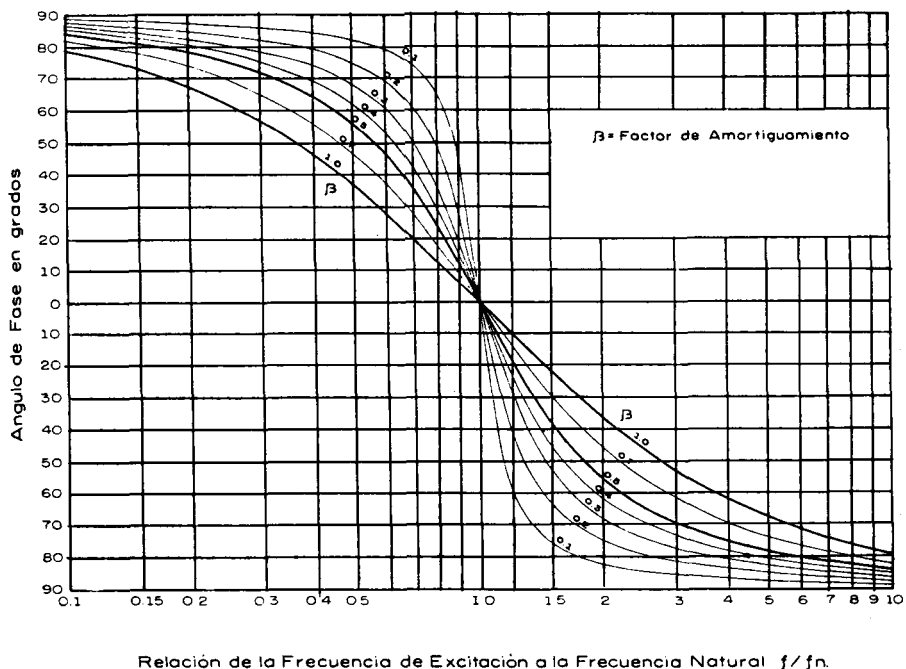


Fig. 6. Defasamiento del voltaje de salida con relación a la fuerza impresa a la parte móvil del sismo-detector.

Como la frecuencia de las ondas reflejadas varía ligeramente de un lugar de observación a otro, se ve también la conveniencia de emplear sismo-detectores de frecuencia natural más baja que las que se encuentran en el espectro de las ondas reflejadas.

En la misma gráfica se observa que el defasamiento es muy semejante para factores de amortiguamiento que varían entre 0.4 y el crítico, cuando la relación  $f/f_n$  es mayor de 1.5, por lo cual se acostumbra que el valor  $\beta$  sea del orden de 0.4 a 0.7. Normalmente no se emplean sismo-detectores con factores de amortiguamiento mayores por la disminución en la sensibilidad del sismo-detector.

#### 4.—EFECTO DE LA CARGA EXTERIOR DEL SISMO-DETECTOR

Normalmente los sismo-detectores alimentan al transformador de entrada de un amplificador A, el cual representa una carga inductiva quedando el circuito típico en la forma que se indica en la figura 7.

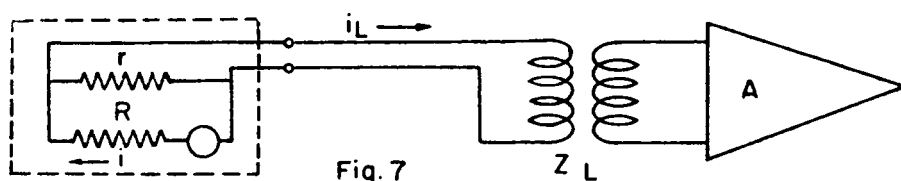


Fig. 7

El valor de la corriente total que suministra la bobina del sismo-detector es:

$$i = \frac{E}{R + r/(1 + r/Z_L)} \quad (13)$$

En donde se ve que la variación de la corriente es pequeña cuando el valor de  $Z_L$  es grande con relación a la resistencia de amortiguamiento. (En la práctica  $Z_L$  es de 3 a 6 veces mayor que  $r$ ).

Por efecto del aumento de la corriente disminuye el voltaje en los terminales del sismo-detector, y su valor corregido es:

$$E_n = E - Ri = E \frac{r}{R + r + Rr/Z_L} \quad (14)$$

Además, la corriente en la carga es:

$$i_L = \frac{E}{Z_L} \frac{r}{R + r + Rr/Z_L}$$

Haciendo operaciones algebraicas con la fórmula (13) se llega a la forma:

$$i = \frac{E}{R + r} + \frac{E}{Z_L} \cdot \frac{r}{R + r} \cdot \frac{r}{R + r + Rr/Z_L}$$

que puede ponerse como sigue:

$$i = \frac{E}{R + r} + \frac{E}{Ze} \quad (15)$$



En esta última fórmula se ve que la corriente que circula por la bobina es la suma de la que circularía si el detector no tuviera la carga inductiva más una corriente adicional debida a la carga inductiva. (Esta corriente generalmente es pequeña con relación a la corriente total que circula por la bobina).

La ecuación diferencial homogénea del detector considerando la corriente adicional, es la siguiente:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + (2b + \frac{G^2}{MZe}) \frac{dx}{dt} + \frac{K}{M} X = 0 \quad (16)$$

La cual puede resolverse en forma semejante a la ecuación (5) haciendo  $X = e^{pt}$  quedando

$$p^2 + (2b + \frac{G^2}{MZe}) p + \frac{K}{M} = 0$$

de donde se obtiene

$$p = - (b + \frac{G^2}{2 M Ze}) \pm \sqrt{(b + \frac{G^2}{2 M Ze})^2 - \omega_n^2}$$

y como  $Ze = Re + j Xe$ , podemos poner:

$$p = - \left[ b + \frac{G^2}{2 M} \cdot \frac{Re}{Z_e^2} \right] - \left[ j \frac{G^2}{2 M} \cdot \frac{Xe}{Z_e^2} \pm \sqrt{(b + \frac{G^2}{2 M Ze})^2 - \omega_n^2} \right] \quad (17)$$

En donde los términos reales, encerrados dentro del primer paréntesis, corresponden al amortiguamiento del detector teniendo en cuenta la carga inductiva y los términos imaginarios, encerrados dentro del segundo paréntesis, corresponden al exponente que define la frecuencia de oscilación del sistema.

En los casos prácticos el valor de la impedancia de carga  $Z_L$  es considerablemente mayor que los valores de  $R$  y  $r$  y por lo tanto el amortiguamiento y la frecuencia de oscilación del sistema se alteran muy ligeramente al introducir el transformador, por lo que no se hace necesario tener en cuenta el efecto de la carga de este último.

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

- 1.—Den Hartog, J. P.—Mechanical Vibrations. McGraw-Hill Book Co.
- 2.—Heiland, C. A.—Geophysical Exploration. Prentice Hall.
- 3.—Silverman, D.—The Frequency Response of Electromagnetically Damped Dynamic and Reluctance Type Seismometers. Geophysics, Vol. IV, No. 1 (1939).
- 4.—Slater and Frank.—Introduction to Theoretical Physics. McGraw-Hill Book Co.
- 5.—Page, L.—Introduction to Theoretical Physics, Van Nostrand.
- 6.—Wolf, A.—The Equation of Motion of a Geophone on the Surface of an Elastic Earth. Geophysics, Vol. No. 1 (1944).

# HISTORIA DEL CAMPO "LA VENTA"

Por el Ing. Alberto Villagómez Aguilera \*

## R E S U M E N

El campo Petrolero "LA VENTA" descubierto en 1954 por Petróleos Mexicanos, fué el resultado de diferentes trabajos geofísicos y geológicos iniciados desde el año de 1925 por la "Cía. Mexicana de Petróleo El Aguila". Se hace una relación cronológica ilustrando los diferentes métodos usados y principalmente los cambios en las técnicas de exploración sísmológica.

## INTRODUCCION

El campo petrolero "LA VENTA" es actualmente uno de los principales con que cuenta Petróleos Mexicanos en la Zona Sur, localizado aproximadamente 40 Km. al Este de Coatzacoalcos, Ver. (fig. 1), es accesible por carretera o por el río Tonalá, límite entre los estados de Veracruz y Tabasco.

El lugar también está considerado como zona arqueológica por haberse encontrado grandes cabezas de basalto, ídolos que se suponen del período Olmeca.

El descubrimiento de este campo es muy importante para todos los que en una forma u otra están interesados en la búsqueda del petróleo ya que nos demuestra claramente la magnitud de los problemas que se presentan para encontrar un campo productor, la relación entre la mayor parte de los métodos exploratorios y la confianza necesaria para insistir en la perforación de nuevos pozos hasta lograr éxito en la empresa.

## DESCRIPCION GENERAL DEL AREA

El área donde se localiza este campo también llamada "ISLA DE LA VENTA" es una loma alargada de Norte a Sur con un promedio de 20 M. de

---

\* Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.



El alto estructural de "LA VENTA" se presenta como uno de los pocos casos en el Estado de Tabasco en que el relieve topográfico refleja en forma aproximada el relieve estructural del subsuelo.

#### *EXPLORACIONES ANTERIORES A 1938*

Uno de los primeros trabajos sobre esta área data desde principios de 1925; durante este año se llevaron a cabo trabajos de geología superficial por geólogos de la "Cía. Mexicana de Petróleo El Aguila, S. A.". Estos trabajos se concentraron al área Tonalá-Agua Dulce, sin embargo se reporta un reconocimiento preliminar hacia la parte pantanosa al SE de Agua Dulce hasta la "Isla de la Venta"; con dichos trabajos se localizaron afloramientos cuyo echado predominante era hacia el Este-Sureste lo cual hizo pensar que estos echados representaban el flanco al Este del anticlinal Tonalá (fig. 2).

En mayo de 1928 esta misma Compañía inició un reconocimiento gravimétrico en el área Chicozapote-La Venta utilizando balanzas de torsión marca Suss.

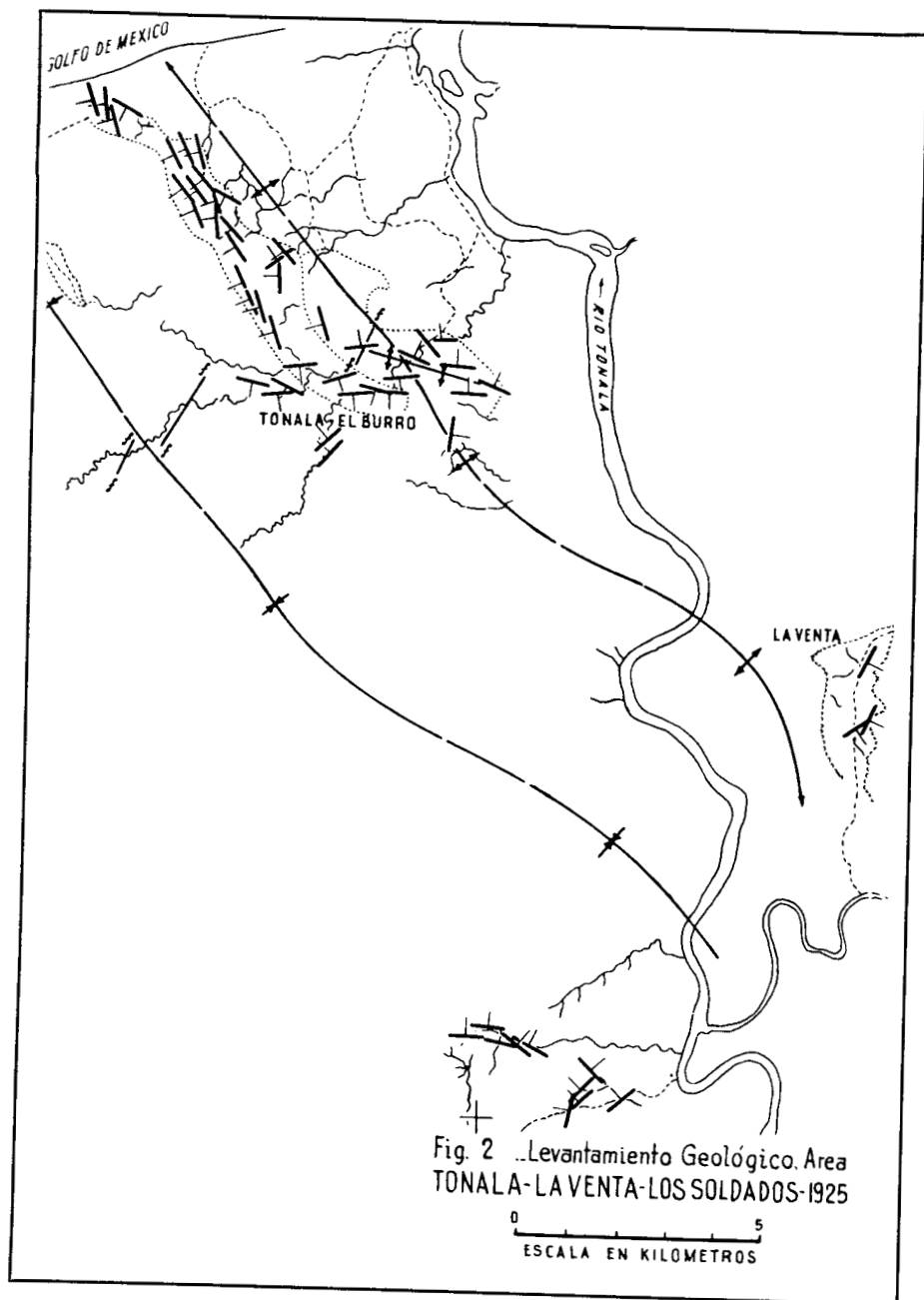
Las conclusiones a las que se llega con los resultados de este trabajo aparentemente están muy influenciadas con el anterior ya que se insiste en considerar las anomalías del área "LA VENTA" como pertenecientes al flanco SE de la estructura de Agua Dulce (fig. 3).

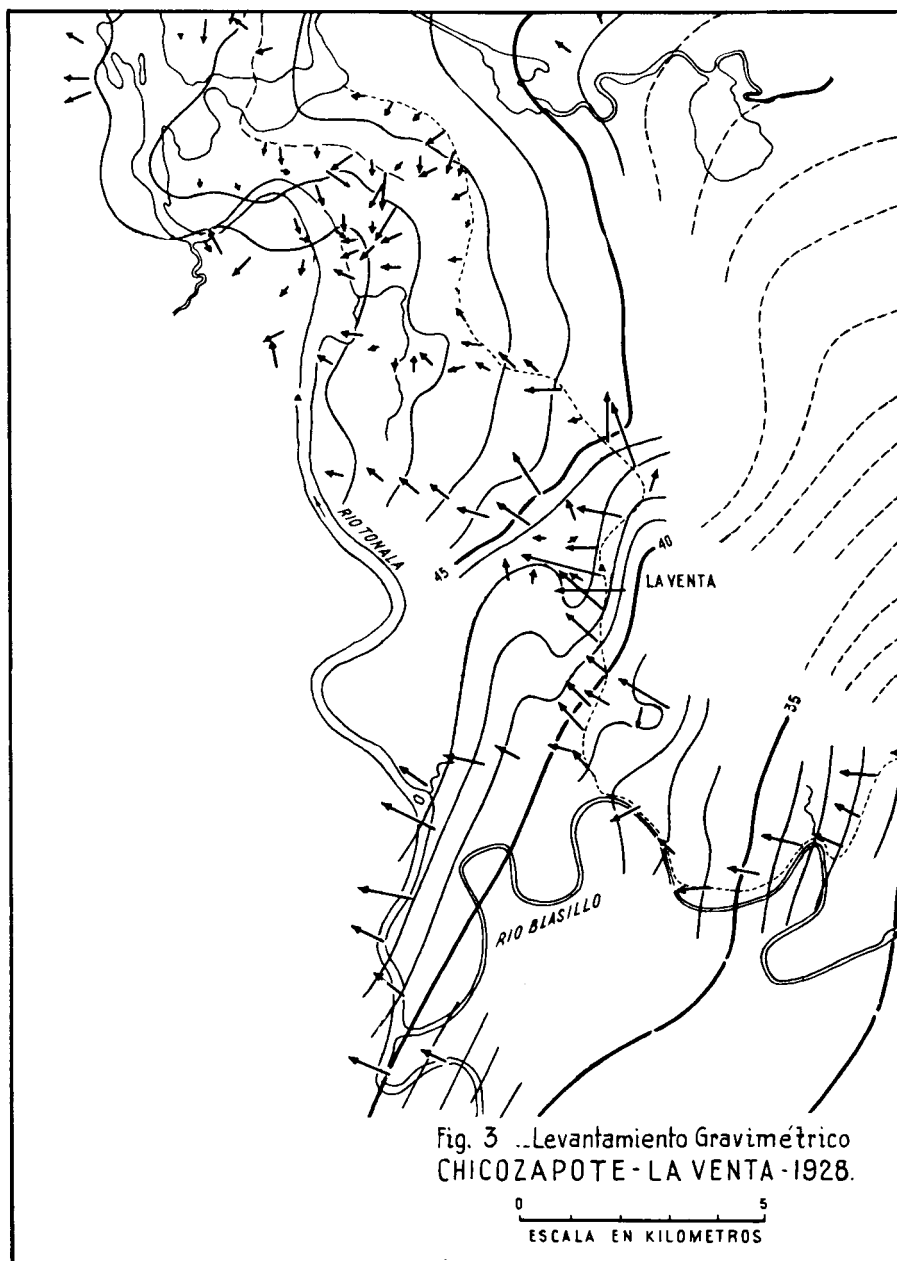
Durante los meses de abril y mayo de 1930 la "Cía. Mexicana de Petróleo El Aguila, S. A.", insistió con un programa de detalle con balanza de torsión sobre el área Punta Gorda-La Venta. Este programa tuvo que abandonarse recién iniciado al recibirse órdenes superiores en el sentido de no utilizar en lo sucesivo la Balanza de Torsión para efectuar trabajos de detalle.

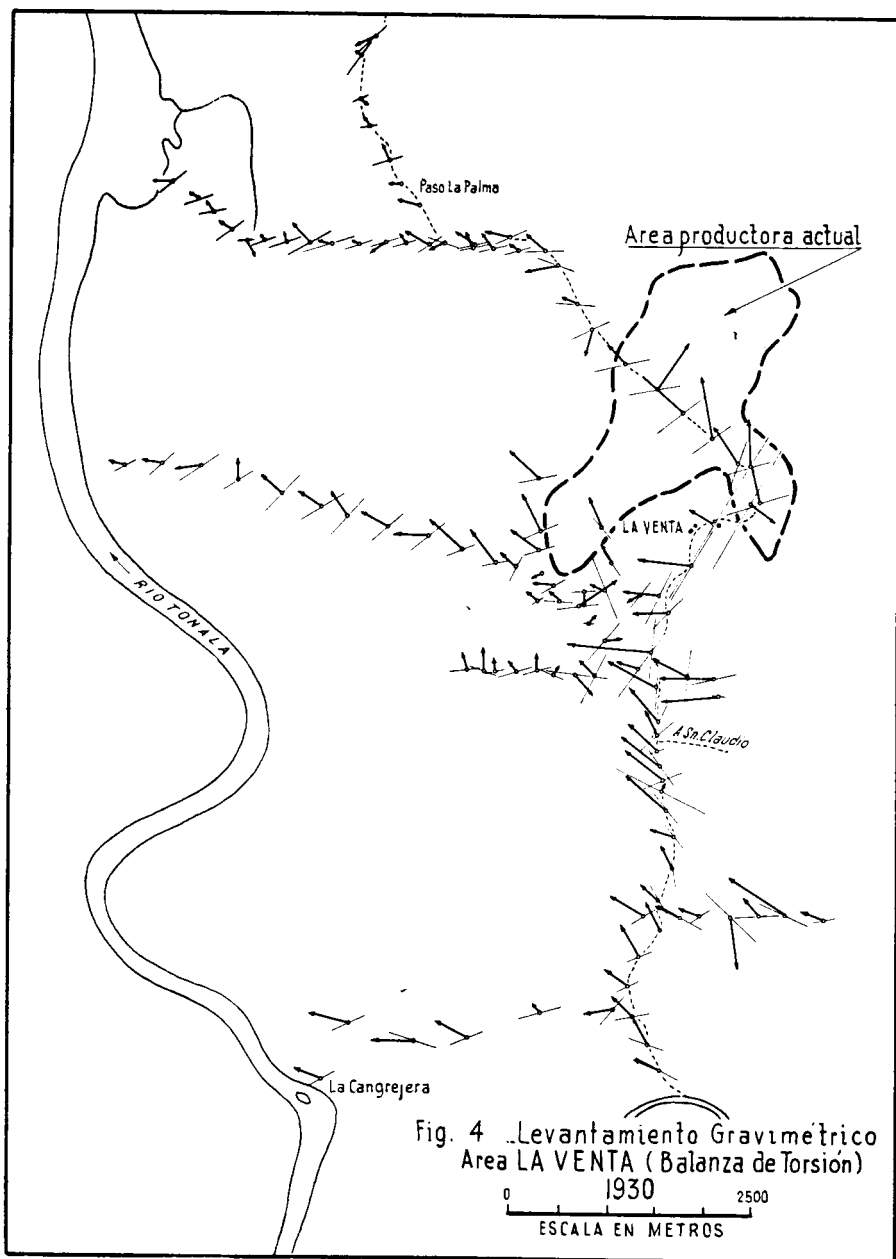
Debido a lo anterior, las observaciones adicionales sobre dicha área fueron relativamente pocas y las conclusiones a las cuales se llega sobre la base de estos nuevos datos continúan muy semejantes a las que se asentaron al efectuar el trabajo gravimétrico anterior, es decir, el flanco E-SE del alto estructural "Agua Dulce" se continúa interpretando como el origen del tipo de gradientes que se observan en el área Agua Dulce-La Venta (fig. 4).

#### *EXPLORACIONES POSTERIORES A 1938*

En este estado se encontraban los trabajos exploratorios sobre el área "LA VENTA" cuando ocurrió la expropiación de la Industria Petrolera en el año de 1938. La "Richmond" también efectuó trabajos sismológicos de de-









talle sobre esta área. sin embargo no se puede precisar nada concreto acerca de sus resultados por no tener ninguno de los planos que esta Compañía hizo del área.

En el año de 1939 se reanudaron ya por cuenta de PEMEX los trabajos entre Agua Dulce-La Florida y La Venta. Las configuraciones gravimétricas de "El Aguila" sirvieron como base para la elaboración de los nuevos programas exploratorios sobre el área.

Casi simultáneamente se iniciaron trabajos de geología superficial, magnetómetro, sismología y un estudio geoquímico. El reconocimiento geológico del área La Florida-La Venta tenía como objetivo estudiar la geología superficial del terreno como complemento a los trabajos sismológicos.

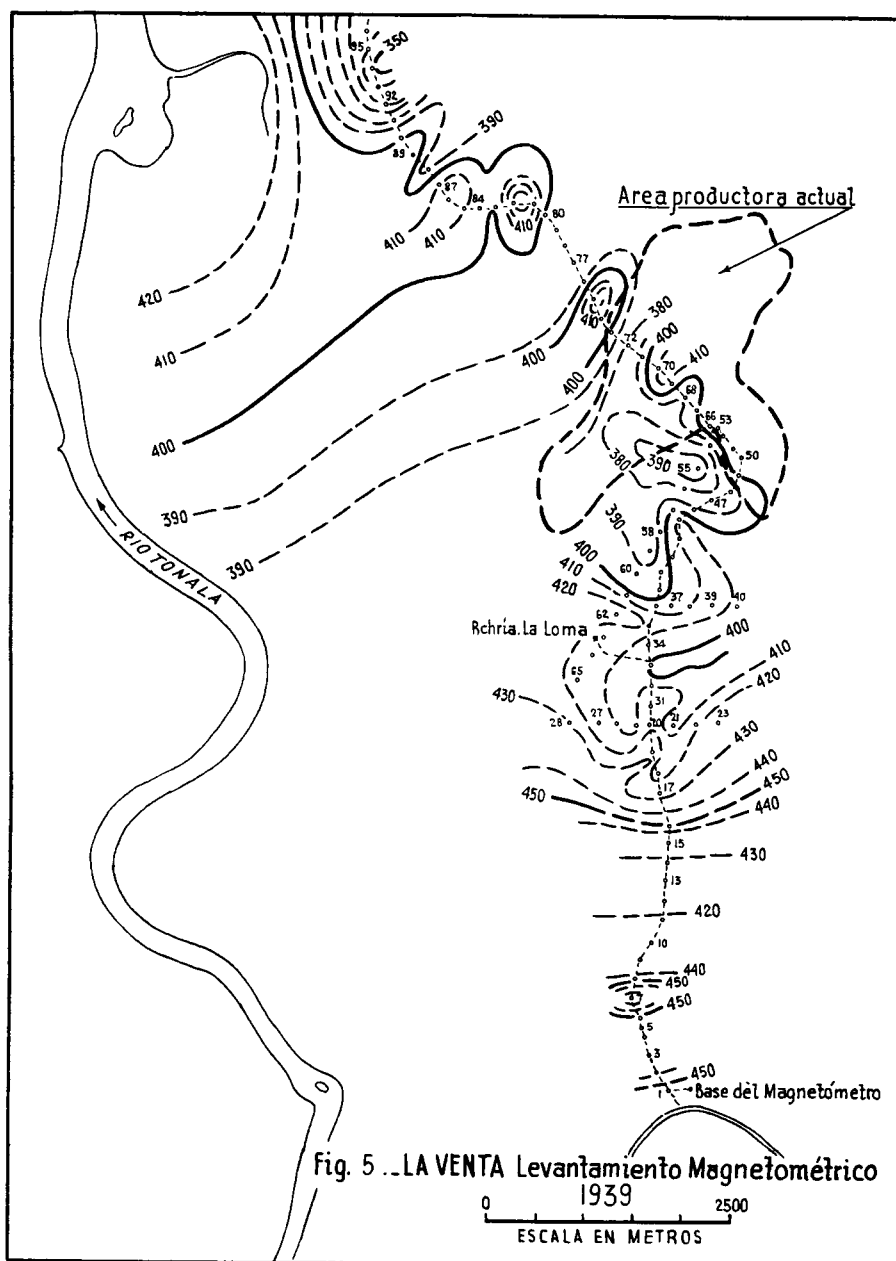
Ante la ausencia de afloramientos se decidió estudiar las muestras obtenidas de los pozos de tiro del grupo sismológico que trabajaba en el área. La mayor parte de dichos pozos fueron perforados en pantano, los cuales después de atravesar la capa de aluvión, encontraban arenas grises muy mal consolidadas y lutitas gris-azulado conteniendo abundancia de fósiles recientes. Los pocos pozos perforados en la tierra firme de la Isla de La Venta dieron muy poca información, lo cual limitó considerablemente las posibles conclusiones de este trabajo.

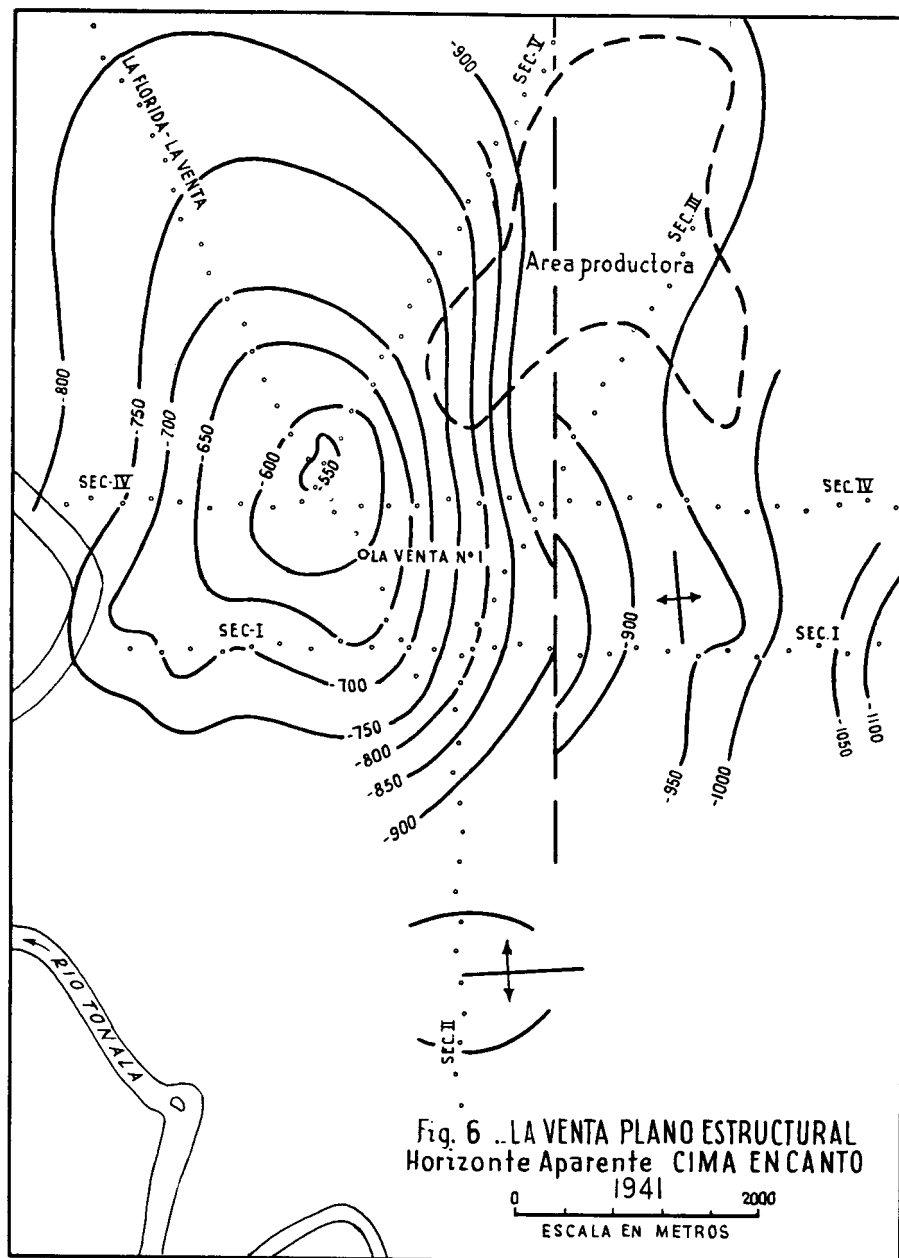
En septiembre de este mismo año se inició un levantamiento magnetométrico sobre esta misma área. En la figura No. 5 se muestra la relación entre las anomalías magnéticas resultado de este trabajo y el área productora actual.

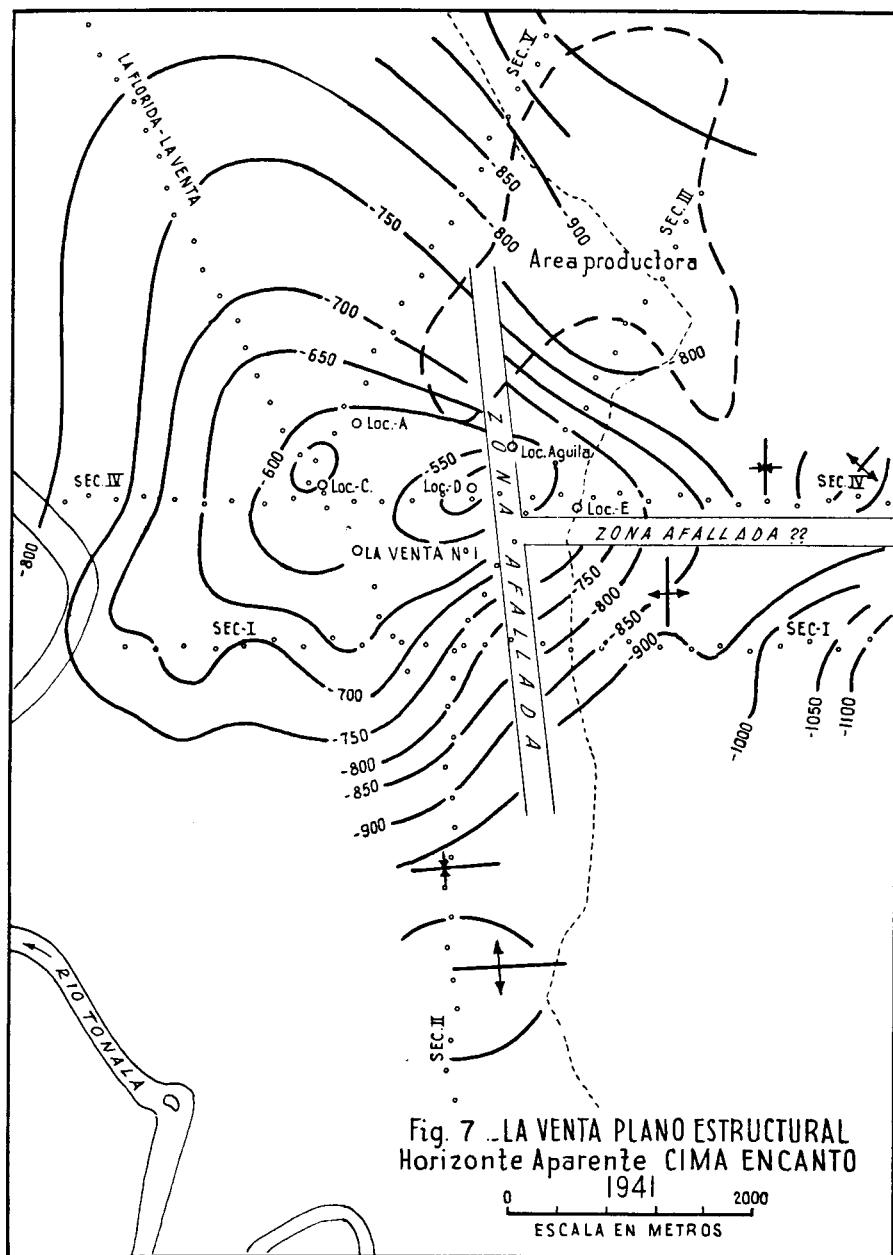
Durante los meses de julio a septiembre de este mismo año (1939) se iniciaron los trabajos sismológicos de reflexión sobre esta área adoptándose el sistema de echados y tratando en lo posible de correlacionarlos. Las limitaciones del método, principalmente en un área como ésta en donde no se tienen buenos horizontes reflectores, dió por resultado información pobre en su mayor parte.

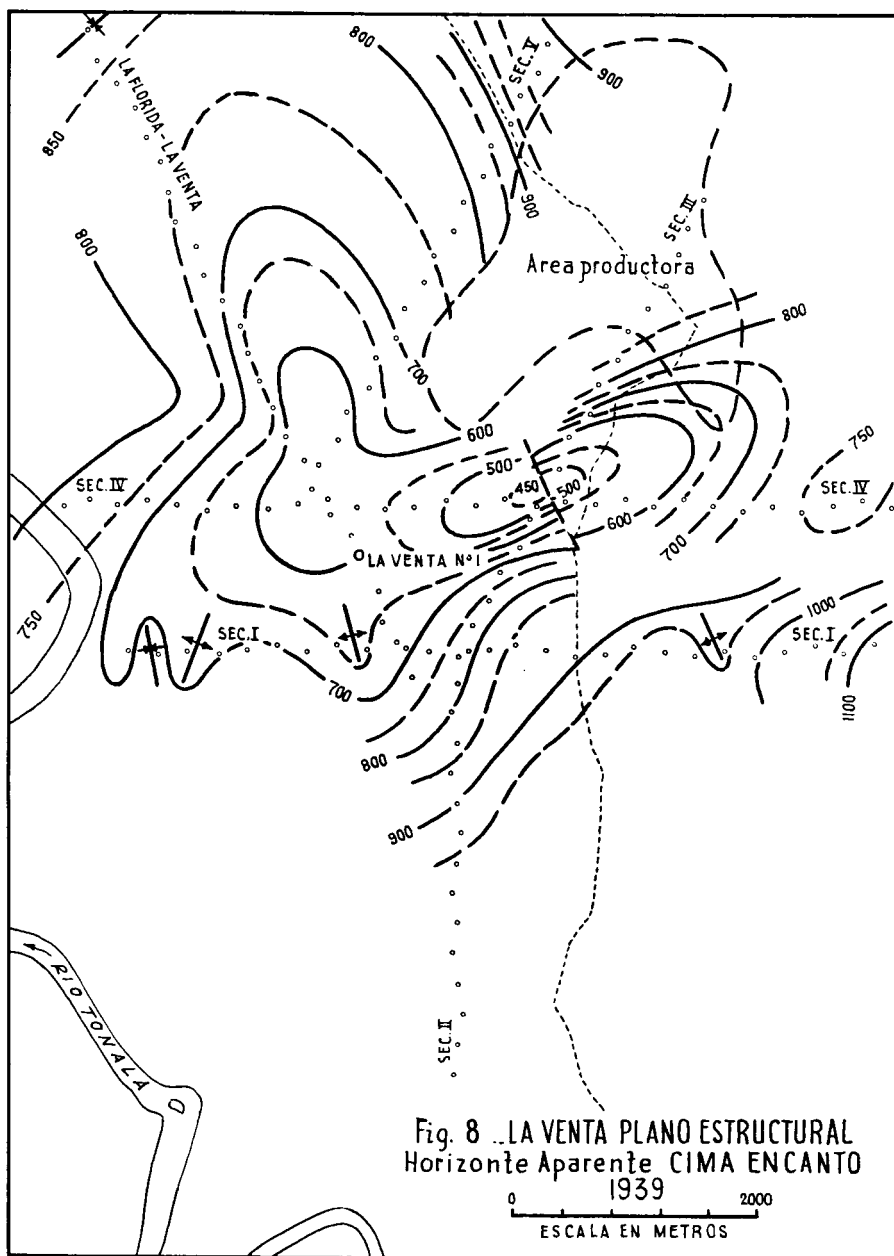
Las figuras 6, 7 y 8 muestran tres configuraciones obtenidas del trabajo arriba mencionado. La diferencia entre la interpretación de la fig. 6 y las otras (7 y 8) se basa principalmente sobre los resultados de las líneas III, IV; en la primera se desecha la mayor parte de la información de estas dos líneas por dudosa, quedando configurado un alto estructural que culmina en el cruce de la línea V con la línea La Florida-La Venta. Sobre la fig. 7 se pueden ver las diferentes localizaciones propuestas recomendándose principalmente La Venta 1 y las localizaciones D y E.

El estudio geoquímico programado durante los últimos meses de este mismo año (1939) tuvo como objetivo principal probar las posibilidades del









método, tanto como complemento de todos los trabajos ya efectuados como para planear programas semejantes en lo futuro.

Se aprovecharon las mismas líneas y los mismos puntos que el grupo sismológico tenía en observación. El muestreo se llevó a cabo haciendo uso de cavadoras bajo la supervisión del Jefe del grupo. Se escogió la profundidad de 4 Mts. para los pozos como la más recomendable en este caso.

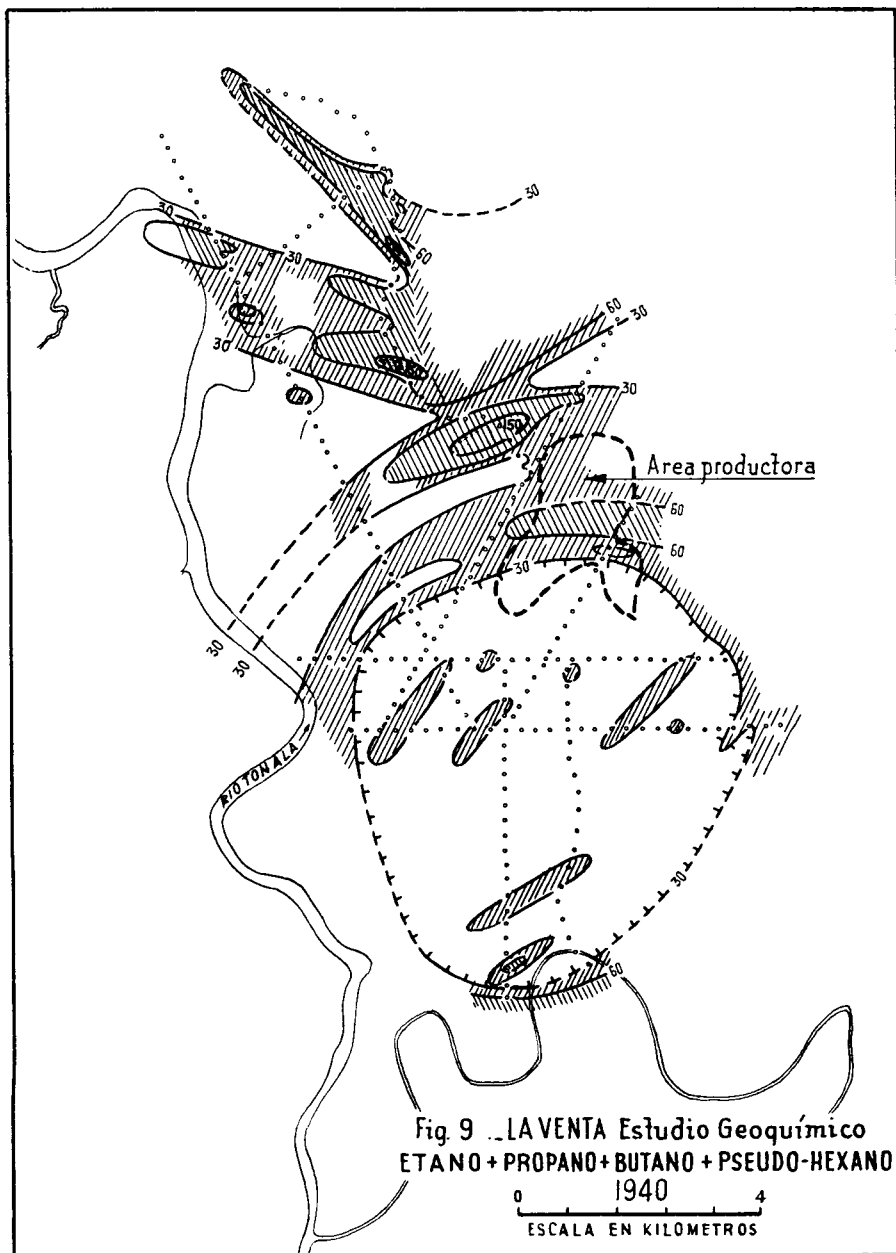
El estudio microscópico-litológico de las muestras solamente reveló la existencia de depósitos marinos de color azul o gris azulado compuesto de arcillas, arcillas arenosas y arenas con pequeñas cantidades de mica. Se reportan también manifestaciones de petróleo y gilsonita, indicios considerados entonces como indicativos de la presencia de hidrocarburos en el subsuelo.

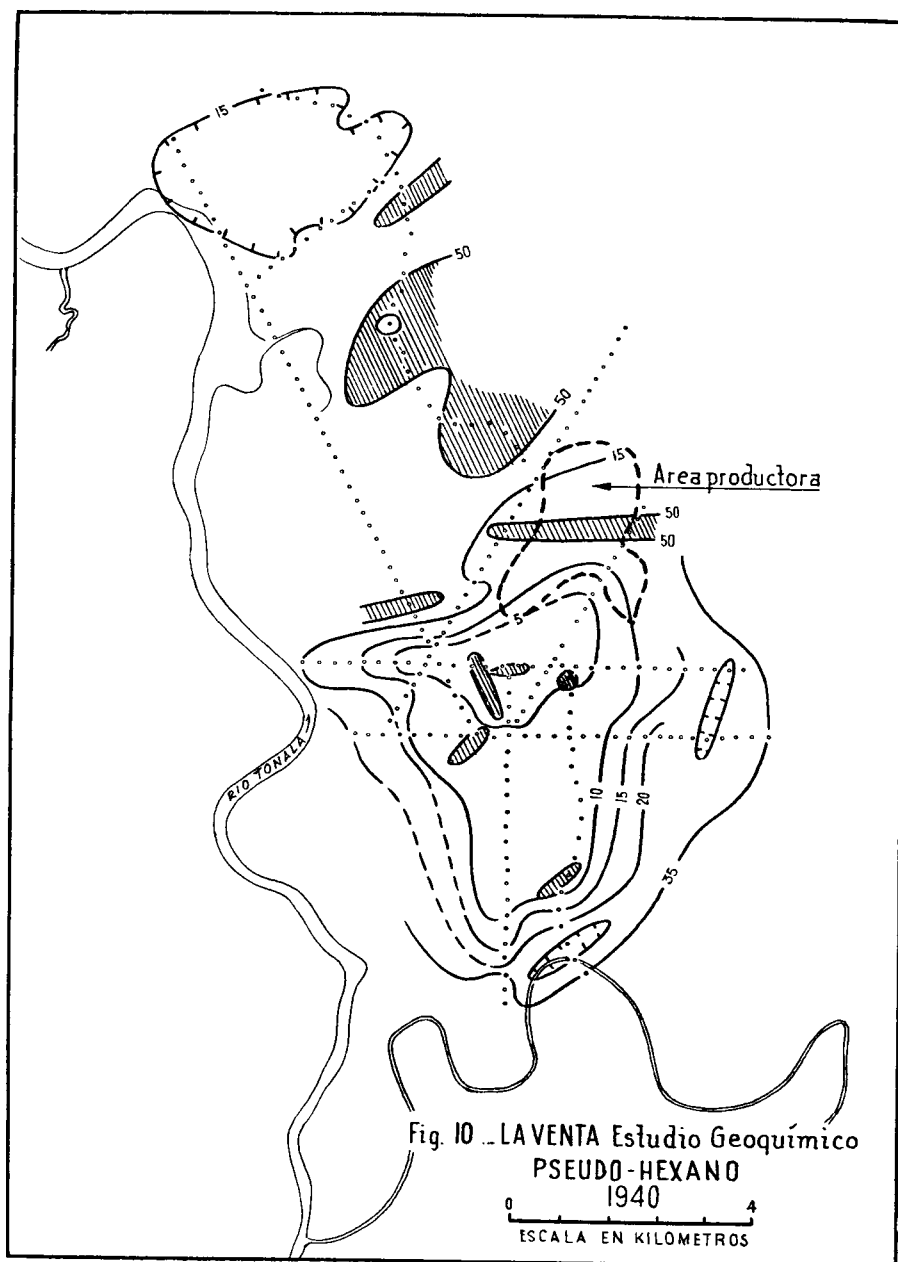
Todas las muestras obtenidas se enviaron a la Cía. Subterrex de Houston, Tex., para su análisis completo. Las figuras Nos. 9, 10 y 11 nos muestran los resultados de dichos análisis en los cuales se aprecia (punteada) la zona productora actual. Aunque la cantidad de observaciones no es muy grande, sin embargo, indudablemente se aprecia cierta relación entre las zonas de mayor concentración de hidrocarburos con el flanco productor de esta estructura.

Todos los datos hasta la fecha descritos sirvieron de base para ordenar la perforación del primer pozo de prueba (véase su localización en la fig. 12). Este pozo se inició el 30 de junio de 1941 y se cruzaron las siguientes formaciones:

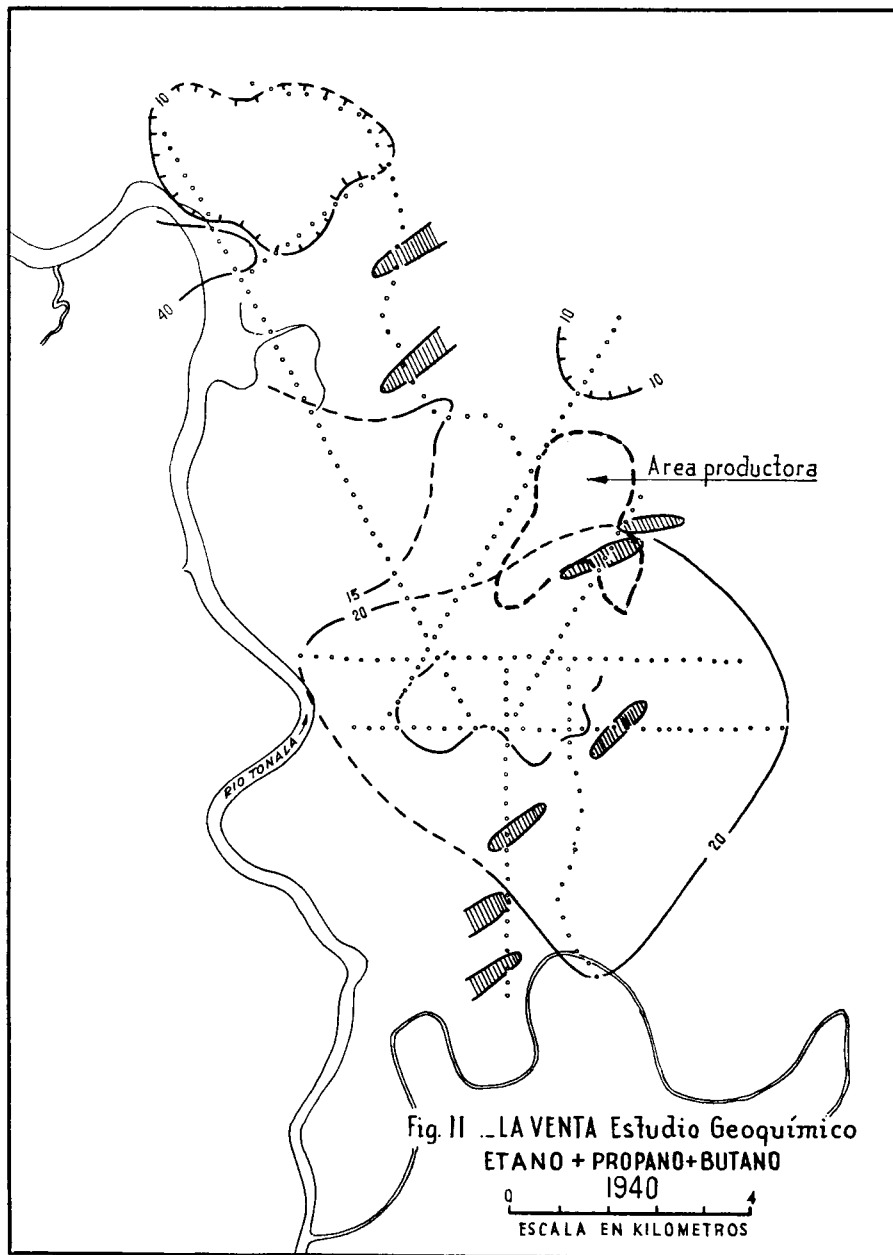
Cedral	Aflora
Lignítico	751 M.
Filisola	917 ..
C. Superior	1,287 ..
C. Inferior	1,385 ..
Encanto	1,615 ..
Depósito	1,754 ..
La Laja	1,784 ..
Prof. total	1,972 ..

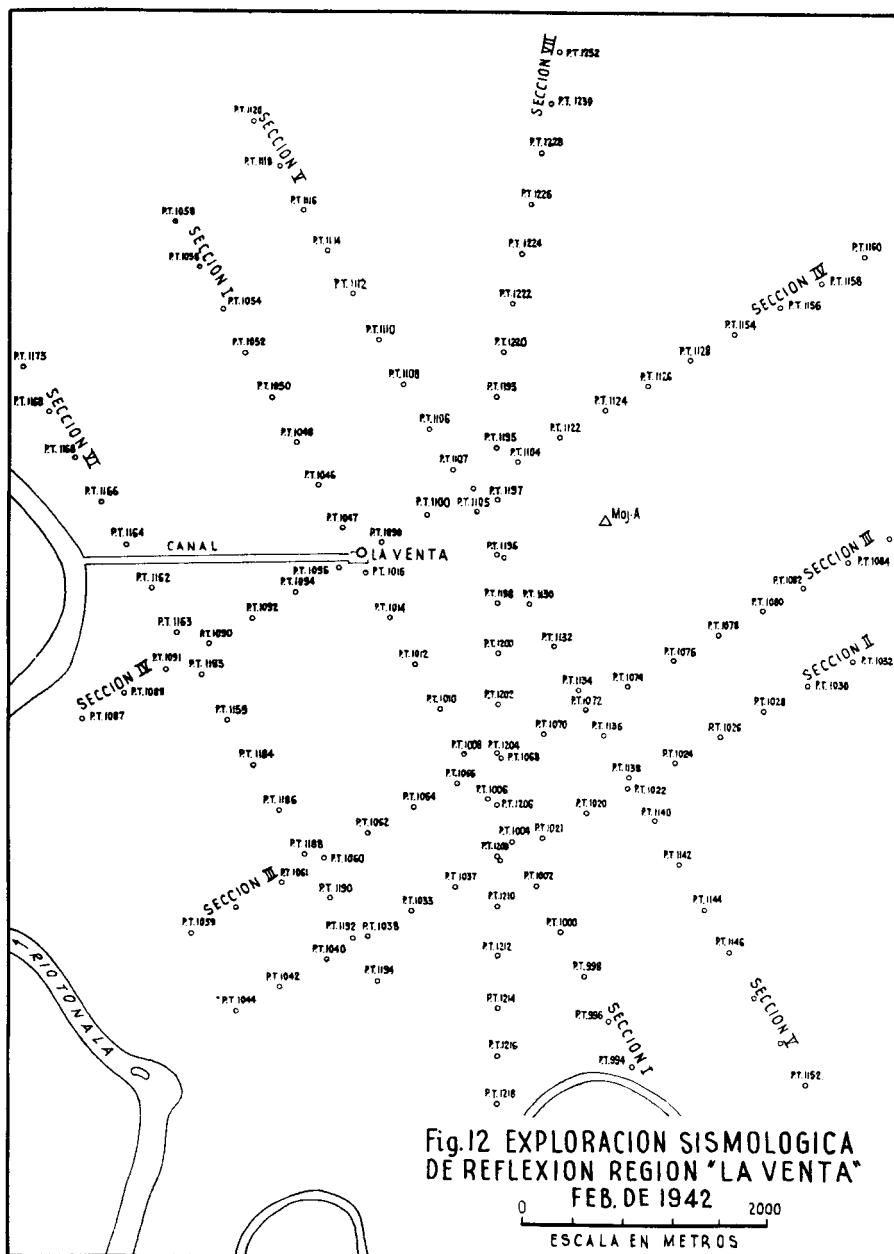
La recuperación que se obtuvo durante el muestreo fue de un porcentaje muy bajo, por lo tanto debe tomarse con cierta reserva la exactitud de dichos contactos.











Antes de que la perforación de este pozo llegara a la profundidad programada, ya se tenían evidencias de que los resultados del mismo diferían considerablemente de lo supuesto. Tanto los fuertes echados encontrados como la ausencia de las formaciones productoras conocidas en Tonalá y El Burro fueron factores que decidieron la programación de trabajos adicionales de sismología y geología cuyo objetivo principal era detallar y reinterpretar con mejor información la configuración estructural de este alto.

A fines del mes de enero de 1942 se inició una segunda exploración sísmológica de reflexión utilizando el método de "perfil continuo", con 400 M. entre puntos de tiro. Esta segunda exploración sísmológica también fue de resultados muy pobres sobre los cuales difícilmente se pueden sacar conclusiones aceptables. Las figuras Nos. 12 y 13 muestran el plano de localización y las secciones sísmológicas observadas durante este trabajo.

En virtud de los resultados tan pobres del trabajo sísmológico de reflexión se decidió continuar utilizando el método de sismología de refracción. La experiencia que con este método se tenía en la cuenca salina del Istmo hacía prever resultados mejores de los obtenidos hasta entonces.

Se programaron primeramente una serie de abanicos sobre los flancos Norte-Sur-Este y Oeste centrando en forma aproximada dicha estructura. Las aceleraciones obtenidas permitieron percibir el contorno y la magnitud aproximada de la masa salina en sus rasgos generales advirtiéndolo de inmediato que la localización del pozo La Venta 1. quedó francamente en el flanco Poniente de dicha estructura (fig. 14).

Seguidamente se programaron 3 líneas de refracción para verificar la profundidad de la sal. Las brechas utilizadas fueron las mismas que se usaron para los abanicos, lamentablemente muy cortas para determinar con suficiente aproximación la profundidad de dicha sal. La figura 15 nos muestra el tipo de secciones de refracción elaboradas para la interpretación de este trabajo y calculadas utilizando una distribución de velocidades de acuerdo con la siguiente fórmula  $V_z = 1800 + 0.77z$  obtenida posteriormente de los trabajos de refracción realizados en el área de Los Soldados.

La figura 16 es una reinterpretación cualitativa de los abanicos que bosquejan el domo y es el resultado de varios intentos para correlacionar los datos de los abanicos con los de las secciones de refracción. Estas curvas de igual aceleración sólo dan una idea cualitativa de las condiciones estructurales.

Por esta misma época (octubre de 1942), se programó un trabajo adicional de geología superficial intentando de una manera general correlacionar

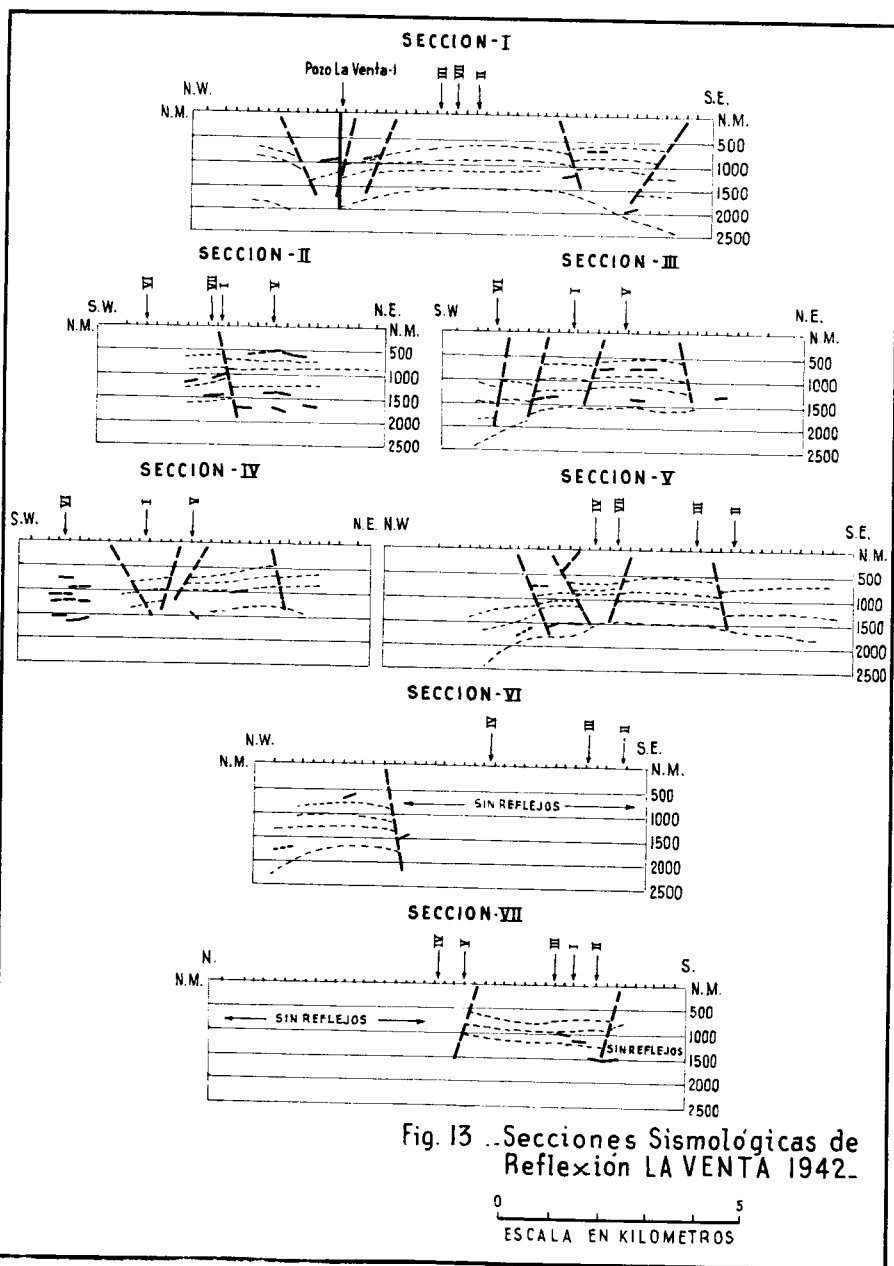
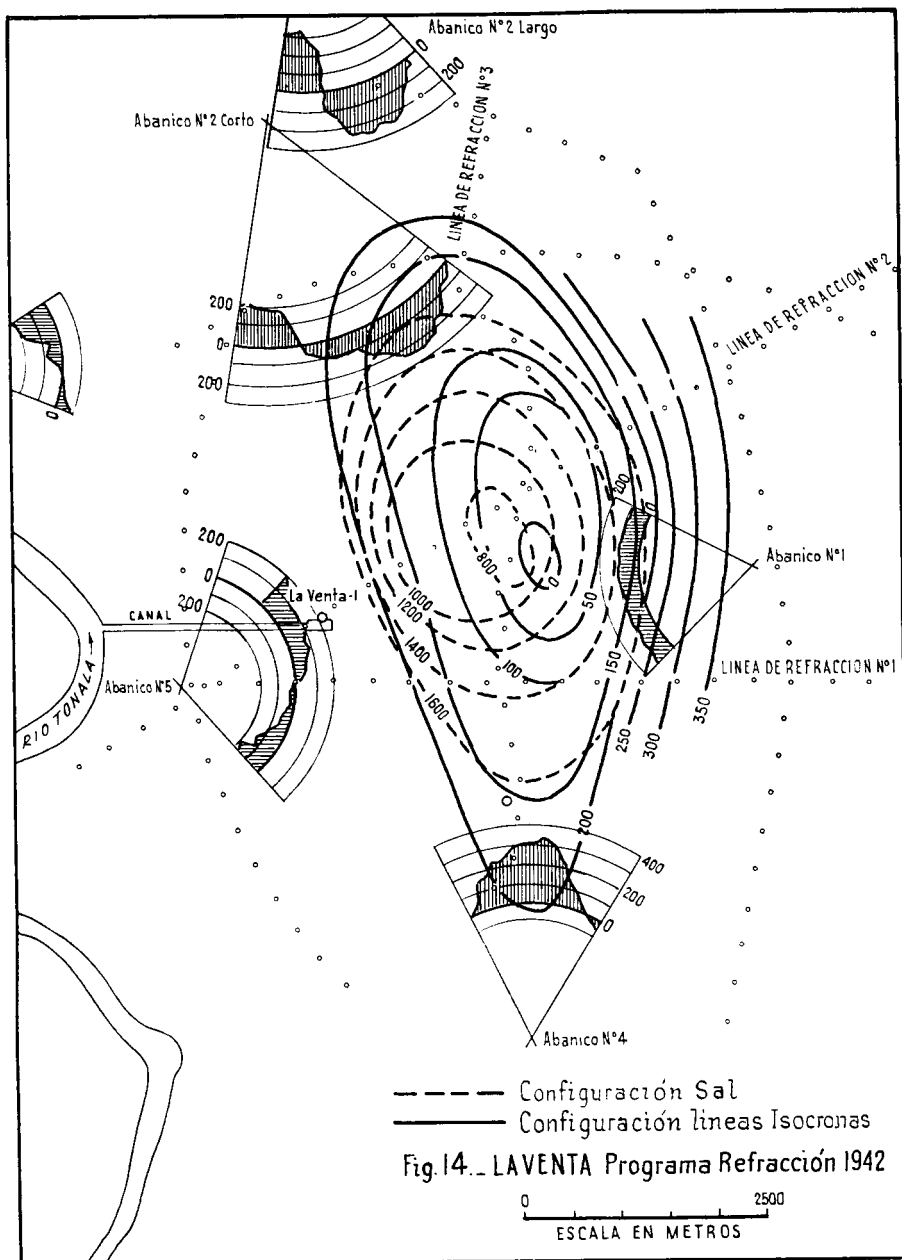


Fig. 13 Secciones Sismológicas de Reflexión LA VENTA 1942.



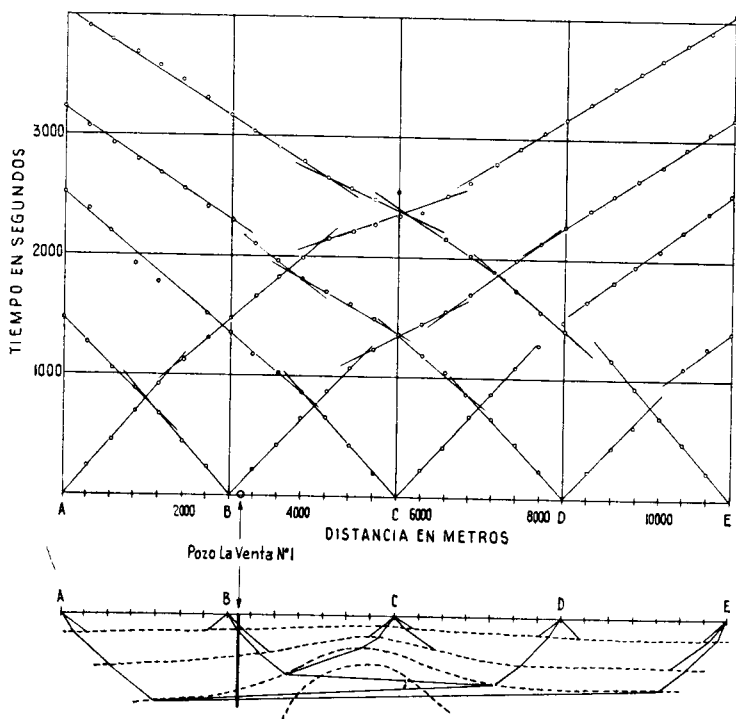
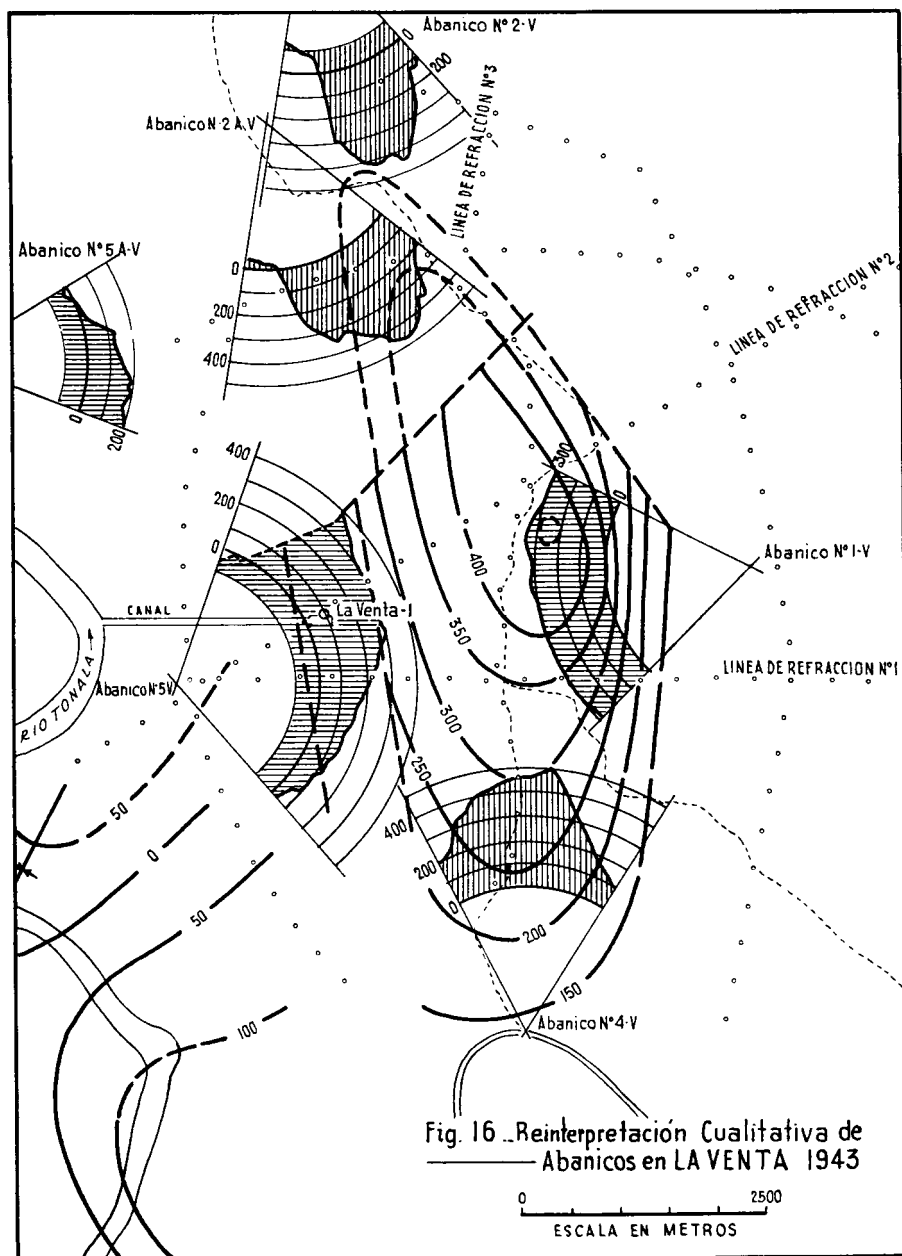


Fig. 15 Sección Sismológica de Refracción N°2 LA VENTA 1942

0 4  
ESCALA EN KILOMETROS



y trazar el relieve estructural aprovechando los contactos geológicos establecidos en el pozo La Venta 1 (ver fig. 17).

Ni las fosas ni los afloramientos observados suministraron la información deseada; la falta de fósiles y horizontes característicos no permitieron el establecimiento de bases sobre las cuales poder calcular secuencias y espesores de las formaciones superficiales.

Con los datos obtenidos se intentó una interpretación general por medio de dos secciones que cortan el alto estructural (ver fig. 18) las cuales muestran el alto y algunas fallas cuya posición y desplazamiento relativo no fué posible definir.

En la figura 19 se presenta otra de las interpretaciones estructurales que se efectuaron entonces y que incluye un intento de correlacionar toda la información disponible. Aunque sumamente afallada la culminación estructural coincide con los resultados del trabajo de refracción.

#### *TRABAJOS DESCUBRIDORES DEL CAMPO DE LA VENTA*

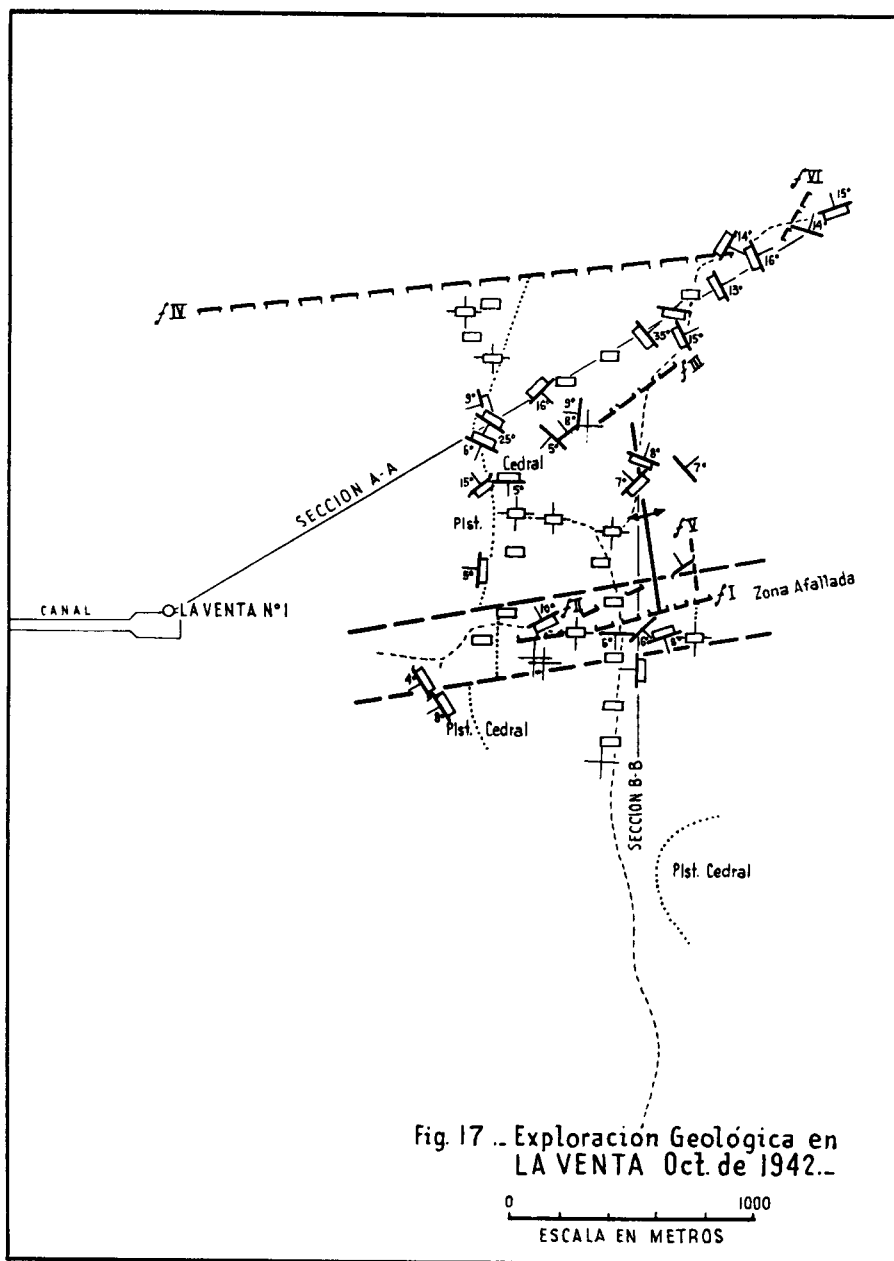
Con todo el trabajo efectuado hasta la fecha (1943) se define un alto estructural de origen salino con su eje mayor orientado Norte-Sur y con su culminación bien definida a 1,800 M. aproximadamente al NE del pozo de La Venta 1; en estas condiciones la localización del segundo pozo quedó definida sobre la culminación salina, estimándose la profundidad de la sal entre los 800 y 1,000 M. aproximadamente. La perforación del pozo La Venta 2 comenzó el 13 de julio de 1944 y con ella se inició una nueva exploración de geología superficial con suficiente detalle, insistiendo sobre la necesidad de medir echados de confianza y verificar los posibles afallamientos ya bosquejados en trabajos previos. La figura 20 muestra la magnitud de este trabajo y los resultados del mismo.

Durante la perforación de este pozo (La Venta 2) se encontraron algunas impregnaciones de aceite en la formación Concepción superior pero al hacer las pruebas de productividad de las arenas los resultados fueron negativos.

Al verificar la profundidad de la sal con la perforación de este pozo, dentro de la aproximación que permite el método sismológico de refracción, se programaron los siguientes hacia el flanco Sur del domo en donde se suponía que las formaciones Concepción y Encanto se encontrarían más desarrolladas ya que este flanco se presentaba con una pendiente ligera y uniforme.

En la figura 21 se ven las nuevas localizaciones de las cuales la No. 4 resultó estéril. En el pozo No. 6 se encontraron varias capas de arena de





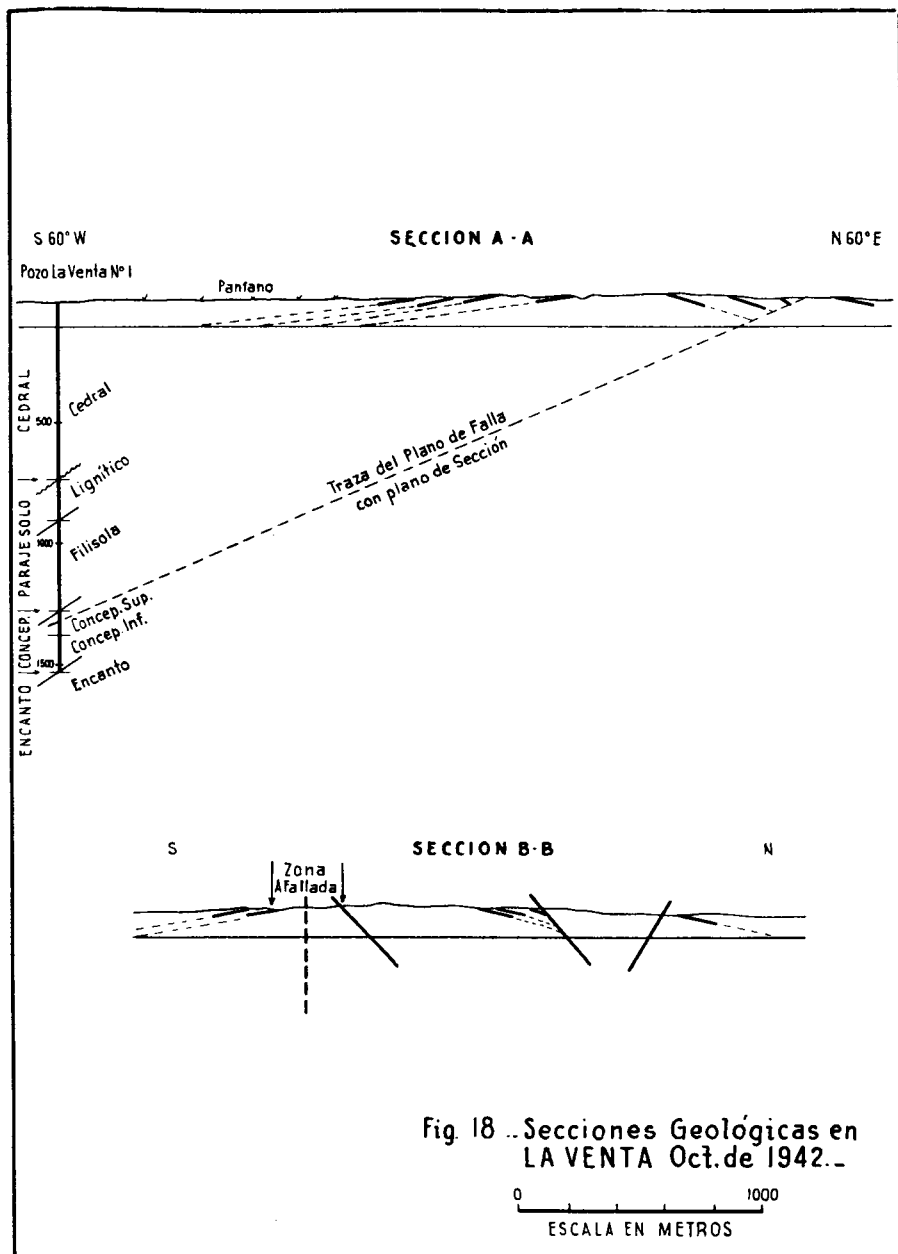
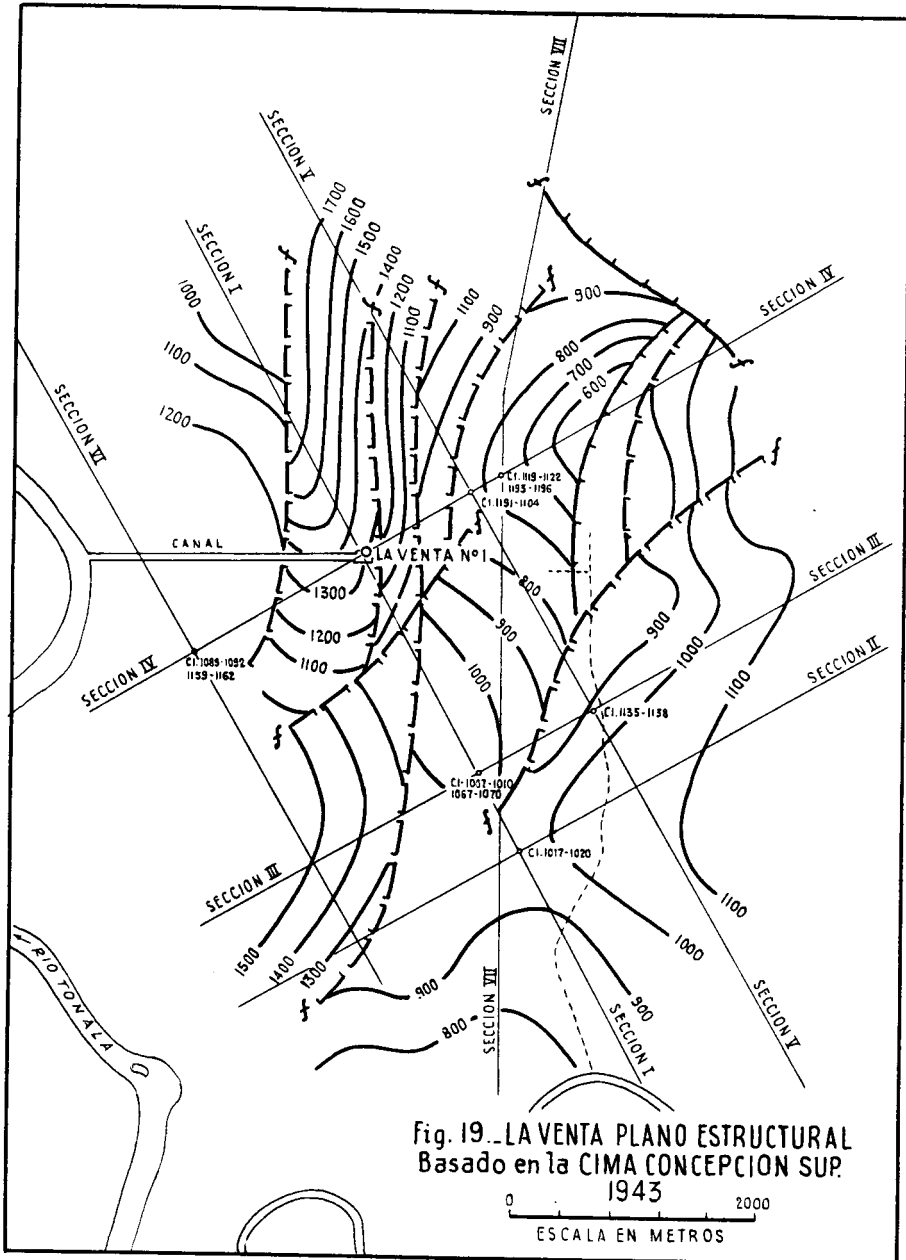
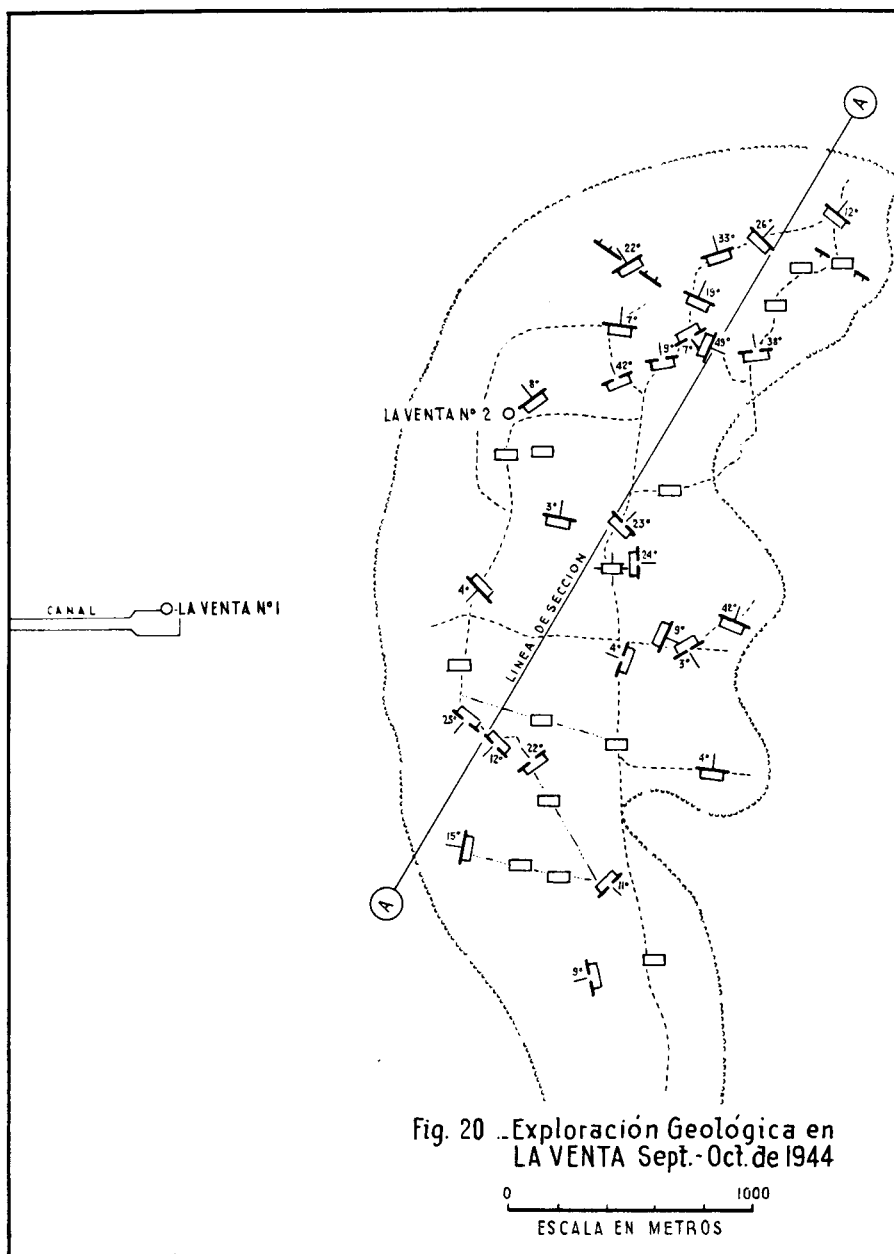


Fig. 18 .. Secciones Geológicas en  
LA VENTA Oct. de 1942..





grano medio y grueso en la formación Encanto pero todas ellas contenían agua salada.

En el pozo No. 8 no aparecieron las arenas encontradas en el pozo No. 6 y tampoco se registraron manifestaciones aceítíferas; este pozo se terminó el día 2 de julio de 1946 y termina también lo que pudiéramos llamar la primera etapa de perforación.

En los años siguientes hubo varias opiniones y comentarios respecto a las posibilidades petroleras de La Venta y las razones por las cuales no se encontró producción en los pozos antes mencionados. En general se estaba de acuerdo en que se tenía una estructura positiva de origen salino y con buen cierre, por otra parte esta estructura se encontraba en una región indiscutiblemente petrolera y entre dos campos de producción comercial: El Plan y Agua Dulce.

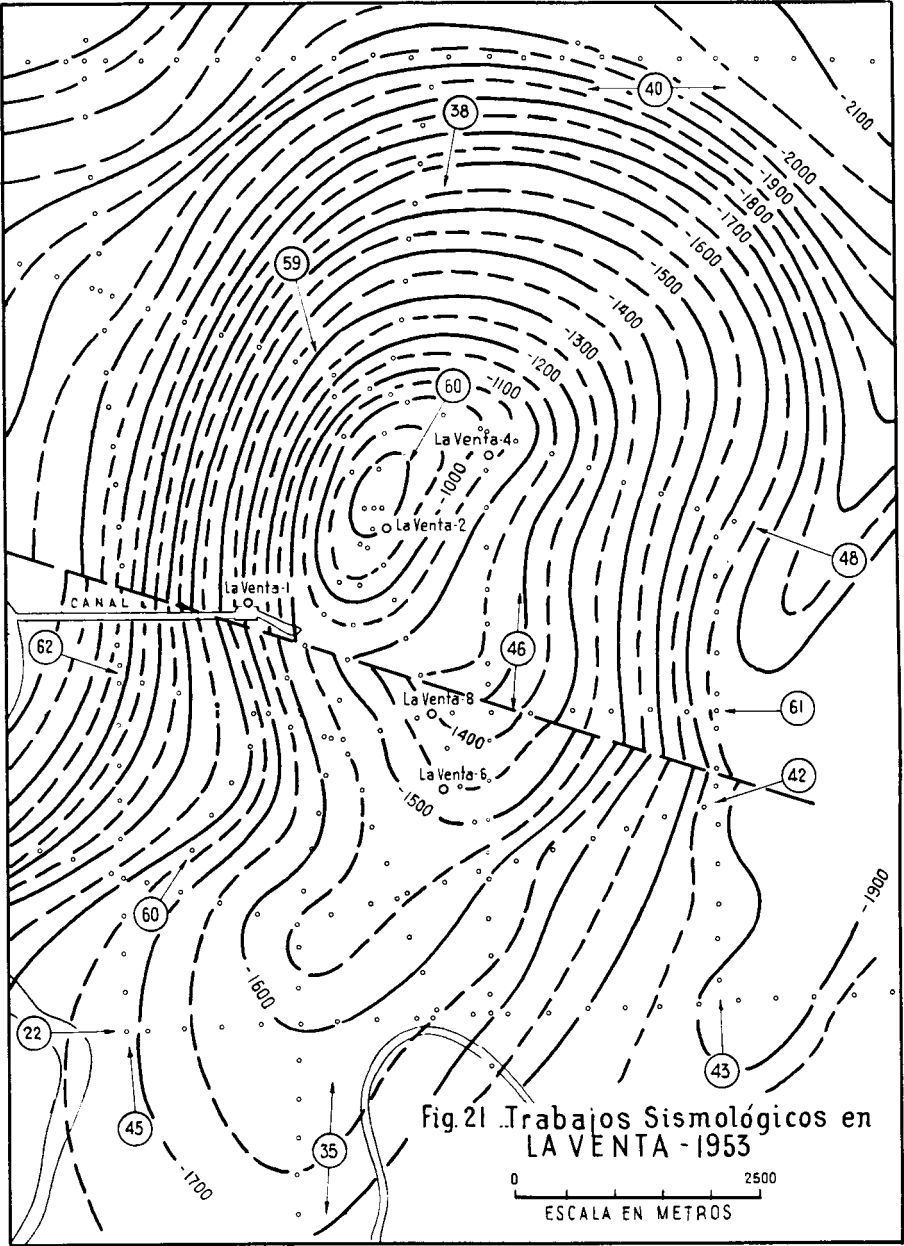
Se discutieron las posibilidades de que el levantamiento de La Venta fuera una columna de sal aislada y que en la periferia del domo se tuviera un sinclinal anular que diera lugar a un hundimiento de las formaciones superiores en esa zona principal. La zona exterior al sinclinal anular cobró interés suponiendo que esta depresión rodeando al levantamiento salino fuera la causante de que el petróleo no haya tenido acceso a la parte alta.

Por otra parte también se tenían los ejemplos de los campos de Agua Dulce y El Plan en donde las condiciones de acumulación aceítífera estaban concentradas en un solo flanco. Con los pozos perforados en La Venta se podían dar por probados como improductivos los flancos Sur y Poniente, además de la culminación de la estructura. Faltaba por buscar en los flancos Norte y Este en donde era posible perforar con éxito.

Fue hasta el año de 1953 en que el programa de exploración sísmológica sobre el área del río Blasillo se extendió con algunas líneas sobre el alto estructural "LA VENTA". En esta nueva exploración sísmológica se utilizó el método de reflexión (perfil continuo), con instrumentos muy mejorados con relación a los usados en las exploraciones sísmológicas anteriores.

Se usó un sísmógrafo con 18 trazas, de dos a tres sismos por traza, especiales para pantano, puntos de tiro cada 200 Mts. y con una profundidad promedio de 18 m, obteniendo generalmente sísmogramas mezclados. Se obtuvieron reflejos aislados difícilmente correlacionables los cuales se dibujaron en la sección en su verdadera posición utilizando la migración por rayo rectilíneo.

En la figura 21 se muestra la configuración de un horizonte fantasma representativo de la formación Encanto solamente en las proximidades de los



pozos 4, 6 y 8; en la culminación estructural los reflejos obtenidos son muy pobres por lo cual este horizonte representa una extrapolación dentro de la masa salina.

### *POZO DESCUBRIDOR*

Considerando la falta de información geológica superficial por ausencia de afloramientos y las limitaciones de los métodos geofísicos para realizar una interpretación aceptable de las condiciones generales de la estructura, independiente de la sal, se insistió sobre la conveniencia de continuar la perforación de pozos como el medio más efectivo de investigación.

El 6 de septiembre de 1954 se inició la perforación del pozo La Venta No. 9, ocho años después de haberse perforado La Venta 8. A los 1.020 Mts. se tocó la cima del Concepción Superior y a los 1.120 Mts. penetró en el Encanto con ausencia por afallamiento del Concepción Inferior. Durante su perforación se advirtió de los 1.000 Mts. hacia abajo la presencia de varios cuerpos arenosos con posibilidades de producir hidrocarburos en cantidades comerciales. Cuatro de estos cuerpos arenosos pertenecientes a la formación Encanto fueron sometidos a pruebas de formación con éxito. Finalmente el pozo se terminó como productor con buenas presiones en el intervalo de 1432-1456 Mts.

En la figura 22 vemos una interpretación tentativa recopilando la información de todos los pozos hasta la fecha de perforarse el No. 9 y en la figura 23 se bosqueja la sal con los mismos datos hasta entonces obtenidos.

### *DESARROLLO DEL CAMPO*

La producción inicial del pozo descubridor fue de 32 Mts. cúbicos diarios de aceite con un peso específico de 0.853 a 20° C. A la fecha (abril 1961) se llevan perforados 223 pozos, 72 de los cuales son productores con una producción mensual de 33,338 M<sup>3</sup> de aceite y 5.655,445 M<sup>3</sup> de gas; la producción acumulativa de aceite hasta la fecha es de 2.887,659 M<sup>3</sup>.

Las figuras 24 y 25 nos muestran la última configuración de las arenas "B" de la formación Encanto y la configuración de la sal. Es interesante cotejar todas las configuraciones anteriores a la luz de estos nuevos datos.

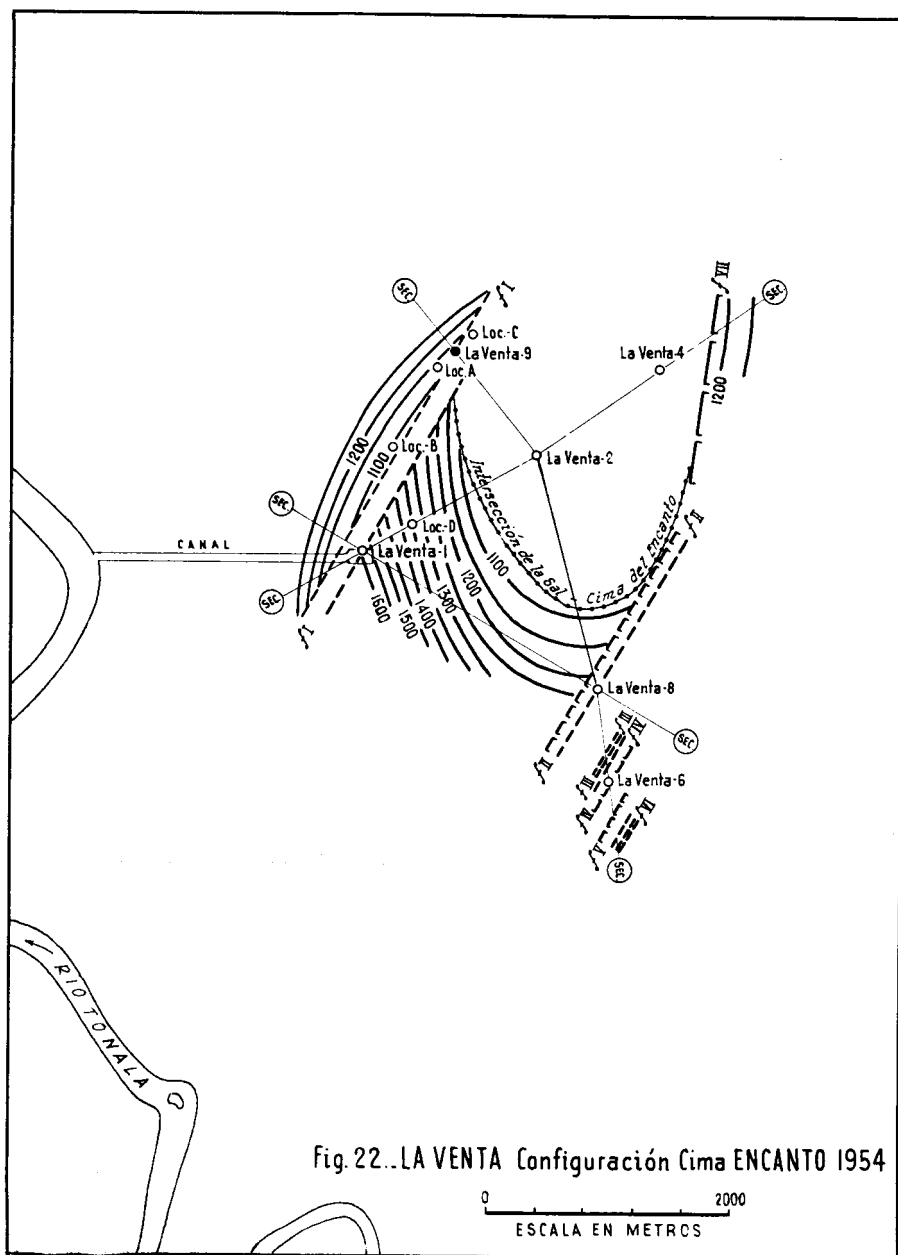
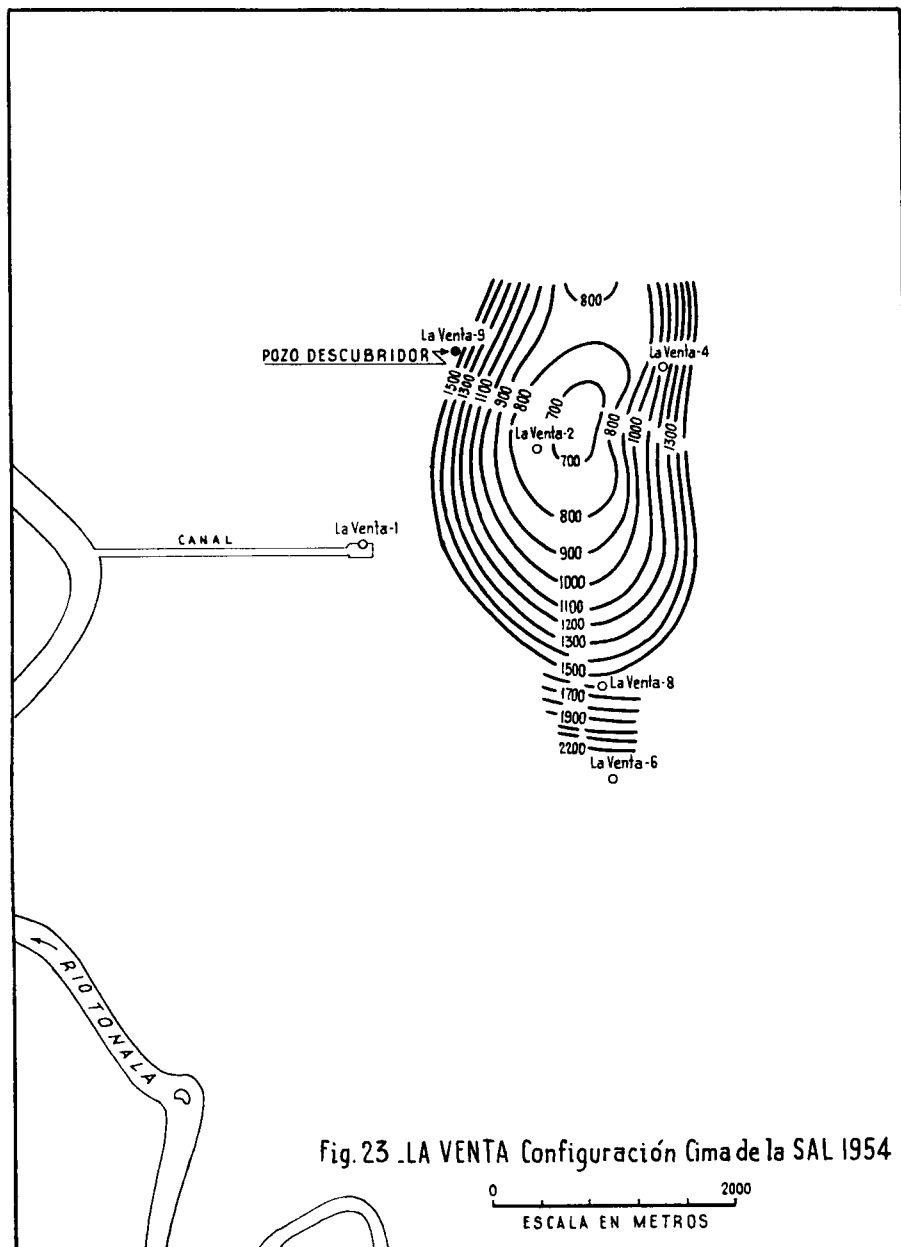
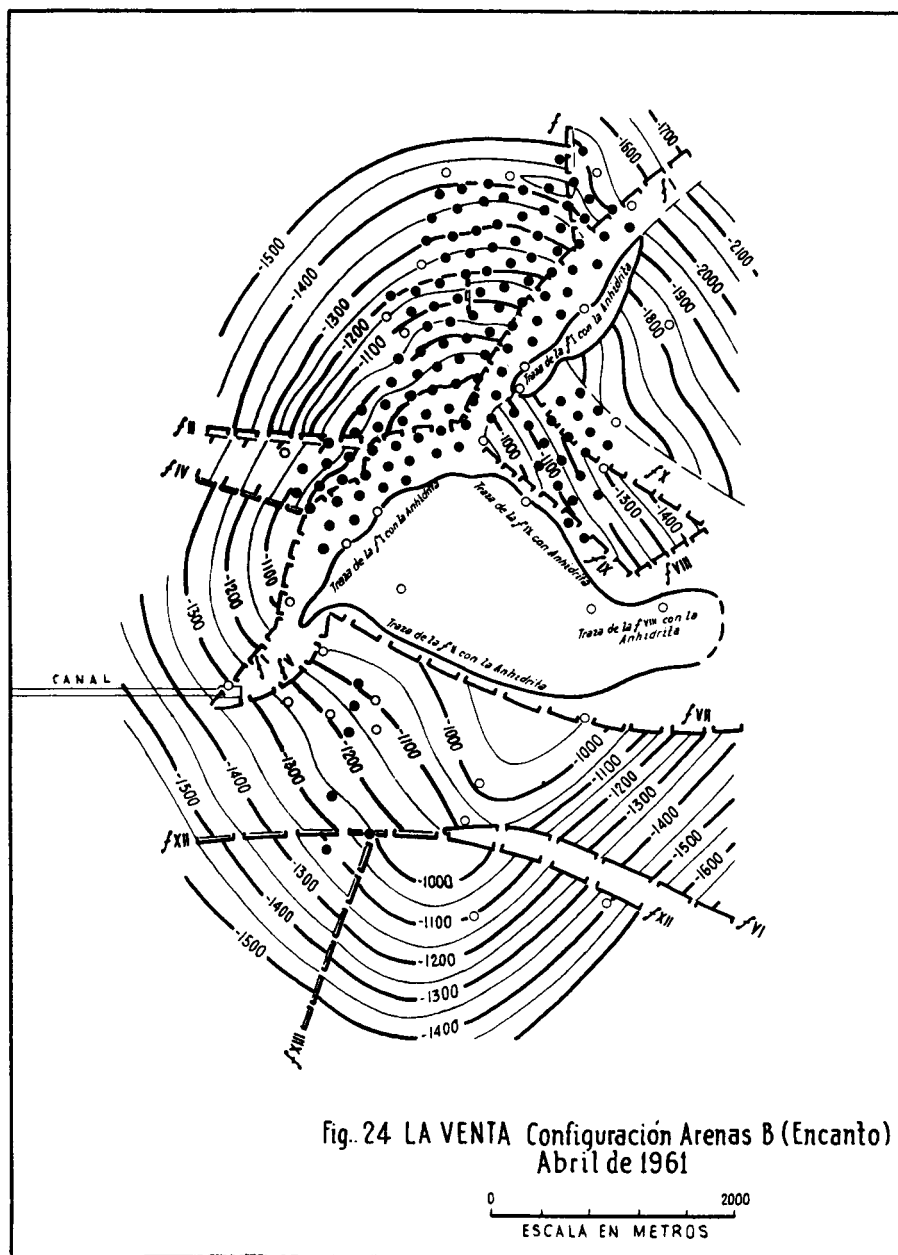
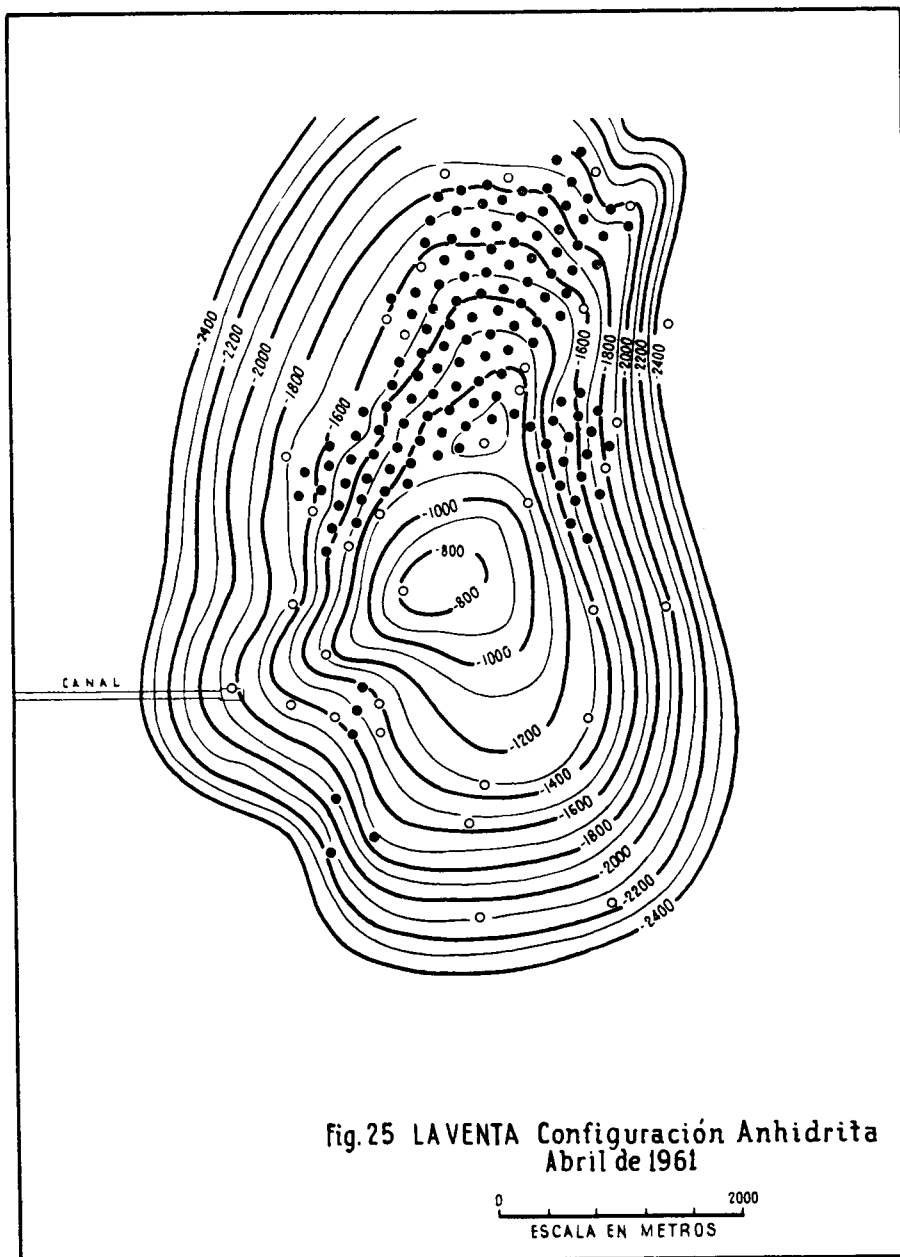


Fig. 22..LA VENTA Configuración Cima ENCANTO 1954









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

INFORMES SISMOLOGICOS ZONA SUR Nos. 19-21-25-58.

INFORMES GRAVIMETRICOS ZONA SUR Nos. 94-123.

INFORME MEGNETOMETRICO ZONA SUR No. 183.

INFORME GEOQUIMICO ZONA SUR No. 17.

INFORMES GEOLOGICOS ZONA SUR Nos. 119--346-351.

INFORME POZOS ZONA SUR Nos. 1-2-4-6-8-9.

DATOS SUPERINTENDENCIA PRODUCCION ZONA SUR.

# DETERMINACION GRAVIMETRICA DEL ELIPSOIDE QUE MAS SE AJUSTE A LA REALIDAD MEXICANA

Por el *Dr. Honorato de Castro* \*

Comencemos hablando de las relaciones que se considera existen entre la pesantez y la figura de la Tierra.

La fuerza de atracción ejercida por la Tierra sobre los cuerpos sometidos a su acción gravitacional recibe el nombre de *gravedad*, y a la resultante de esta fuerza de atracción con la fuerza centrífuga, producida por la rotación diurna de la Tierra en torno del eje del mundo, se le ha dado el nombre de *pesantez*. La acción de la pesantez sobre la unidad de masa situada en un punto de la superficie terrestre de latitud  $\varphi$  tiene un valor numérico que se representa siempre por el símbolo  $g\varphi$ .

Como la acción de la gravedad está regulada por la ley de la gravitación universal de Newton que nos dice que es directamente proporcional al producto de las masas (atrayerente y atraída), e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias, resulta que la gravedad tendrá valores diferentes en aquellos puntos situados a distancias desiguales del centro de atracción, y, sucederá otro tanto, si es diferente la distribución de los materiales que atraen en los diferentes puntos de la superficie de nuestro globo. De esta dualidad en la variación de  $g$ , arranca el interés que tiene la determinación de su valor para los geodestas cuando tratan de determinar la figura de la Tierra, y, para los geólogos, al investigar la naturaleza del subsuelo.

Partiendo de la hipótesis de que la figura de equilibrio de la Tierra es la de un elipsoide de revolución, llegó Clairaut a deducir la fórmula aproximada

$$\frac{g_p - g_e}{g_e} = \frac{5}{5} m - \alpha \quad (1)$$

---

\* Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos.

que enlaza los valores de la pesantez en el polo y en el ecuador con la relación  $m$  entre la fuerza centrífuga y la gravedad en el ecuador, y con el achatamiento

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \quad (2)$$

El valor  $m$  de la fórmula (1) es, aproximadamente,  $m = \frac{1}{289}$ , y con él y los de  $g_p$  y  $g_e$  (de cuya determinación hablaremos después) se podrá, mediante la misma fórmula (1) determinar el valor  $\alpha$  del achatamiento. Por medio de  $\alpha$  y de medidas sobre la superficie se puede determinar, por medio de la fórmula (2) el valor de cada uno de los semiejes  $a$  y  $b$ .

Para determinar los valores de  $g_p$  y de  $g_e$  se pueden seguir dos caminos distintos que nos dan tales valores con un grado diferente de precisión.

El primero de tales caminos utiliza una fórmula deducida por Laplace en la hipótesis de ser la Tierra un elipsoide de revolución. La referida fórmula es

$$g = A + B \operatorname{sen}^2 \varphi \quad (3)$$

que para  $\varphi = 0$  y  $\varphi = 90^\circ$  da valores de la pesantez en el ecuador y en el polo por las expresiones:

$$g_e = A \quad , \quad g_p = B + A \quad (4)$$

El segundo de los indicados caminos que podemos seguir para obtener los valores de la pesantez en el ecuador y en el polo, es el de utilizar la llamada fórmula internacional de la pesantez, que tiene la forma siguiente:

$$g = A' - B' \operatorname{sen}^2 \varphi - C' \operatorname{sen} 2\varphi \quad (5)$$

Los valores de las constantes  $A$  y  $B$  de la fórmula (3), así como los de las  $A'$ ,  $B'$  y  $C'$  han sido determinados por medio de observaciones de pesantez realizadas en lugares diferentes de la superficie total de la Tierra, y con ellos y las fórmulas (4), (1) y (2) se obtuvo el valor del achatamiento.

Pero de tales cálculos se deducen los valores que más se ajustan a la superficie total de la Tierra y no el de los valores que definan un elipsoide que se ajuste a la realidad mexicana.

En territorio mexicano se ha determinado el valor de la pesantez en un considerable número de estaciones igual a 3519, cubriendo una superficie de 29,750 kilómetros cuadrados.

Me propongo en este trabajo exponer la teoría matemática que habríamos de seguir para obtener los valores de los semiejes del elipsoide que más se ajuste a la realidad mexicana, haciendo además un ensayo de cálculo mediante el empleo de los valores de la pesantez determinados en veinticinco estaciones mexicanas.

Las observaciones que utilizaremos en este cálculo se han realizado en las estaciones que figuran en la siguiente relación en la cual aparecen, además de los nombres de las respectivas estaciones con los números con que han sido numeradas en una relación general, los valores de las latitudes de cada una de ellas, los observados de la pesantez, las correcciones llamadas de aire libre y topográficas y por último los de la pesantez reducida al nivel del mar.

Estaciones	Latitud	Pesantez observada	Correcciones de aire libre topográfica			Pesantez reducida al nivel del mar
4 Tacubaya, D. F.	19°24'.3	977.936	+	709	— 70	978.575
5 Puebla, Pue.	19 2.7	.992	+	664	— 69	.587
6 Tehuacán, Pue.	18 28.5	978.079	+	498	— 55	.522
7 Orizaba, Ver.	18 50.9	.201	+	383	— 21	.563
8 Jalapa, Ver.	19 32.0	978.243	+	437	— 71	978.609
9 Veracruz, Ver.	19 12.0	978.587	+	1	+ 3	978.591
11 Durango, Dgo.	24 1.7	.318	+	576	— 52	.842
15 Colima, Col.	19 14.6	.426	+	141	— 20	.547
17 Pachuca, Hgo.	20 7.7	977.990	+	748	— 79	.659
18 Querétaro, Qro.	20 35.6	978.160	+	562	— 35	978.687
19 León, Gto.	21 7.5	978.182	+	557	— 38	978.701
20 Guanajuato, Gto.	21 1.0	.111	+	627	— 55	.683
21 Aguascalientes, Ags.	21 52.8	.202	+	577	— 26	.753
22 San Luis Potosí, S. L. P.	22 9.2	.210	+	576	— 46	.740
24 Iguala, Gro.	18 21.1	978.262	+	226	— 4	978.484
25 Acapulco, Gro.	16. 50.4	978.527	+	1	— 37	978.491
28 Guadalajara, Jal.	20 40.8	.203	+	489	— 60	.632
29 Tepic, Nay.	21 30.8	.469	+	285	— 57	.697
30 San Blas, Nay.	21 32.5	.710	+	1	+ 12	.723
31 Mazatlán, Sin.	23 11.3	978.850	+	2	+ 14	978.866
32 Topolobampo, Sin.	25 36.0	978.999	+	3	— 7	978.955
34 Tulancingo, Hgo.	20 5.0	.034	+	665	— 86	.613
35 Mina "T. H." Piso 500	20 8.4	977.984	+	699	— 18	.665
36 Mina "T. H." Boca	20 8.4	.906	+	884	— 141	.649
39 Amecameca, Méx.	19 7.6	977.900	+	762	— 94	978.568

Aplicando cada uno de estos valores a la relación (3) obtendremos el siguiente sistema de ecuaciones de condición.

$$\left. \begin{array}{l} A + B \operatorname{sen}^2 \varphi_4 - g_4 = 0 \\ A + B \operatorname{sen}^2 \varphi_5 - g_5 = 0 \\ \dots\dots\dots \\ A + B \operatorname{sen}^2 \varphi_{39} - g_{39} = 0 \end{array} \right\} \quad (6)$$

de cuyo sistema deduciremos el siguiente de ecuaciones normales:

$$\left. \begin{array}{l} A [\operatorname{sen}^2 \varphi] + B [\operatorname{sen}^4 \varphi] - [g \operatorname{sen}^2 \varphi] = 0 \\ n A + B [\operatorname{sen}^2 \varphi] - [g] = 0 \end{array} \right\} \quad (7)$$

Los valores de las constantes A y B deducidos del sistema (7) serán:

$$A = \frac{\begin{vmatrix} [g] & [\operatorname{sen}^2 \varphi] \\ [g \operatorname{sen}^2 \varphi] & [\operatorname{sen}^4 \varphi] \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & [\operatorname{sen}^2 \varphi] \\ [\operatorname{sen}^2 \varphi] & [\operatorname{sen}^4 \varphi] \end{vmatrix}} = \frac{[g] [\operatorname{sen}^4 \varphi] - [\operatorname{sen}^2 \varphi] [g \operatorname{sen}^2 \varphi]}{n [\operatorname{sen}^4 \varphi] - ([\operatorname{sen}^2 \varphi])^2} \quad (8)$$

$$B = \frac{\begin{vmatrix} n & [g] \\ [\operatorname{sen}^2 \varphi] & [g \operatorname{sen}^2 \varphi] \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & [\operatorname{sen}^2 \varphi] \\ [\operatorname{sen}^2 \varphi] & [\operatorname{sen}^4 \varphi] \end{vmatrix}} = \frac{n [g \operatorname{sen}^2 \varphi] - [g] [\operatorname{sen}^2 \varphi]}{n [\operatorname{sen}^4 \varphi] - ([\operatorname{sen}^2 \varphi])^2} \quad (9)$$

donde se representan por paréntesis cuadrados sumas de términos semejantes, del modo siguiente:

$$\begin{aligned} [g] &= g_4 + g_5 + g_6 + \dots\dots\dots + g_{39} \\ [\operatorname{sen}^2 \varphi] &= \operatorname{sen}^2 \varphi_4 + \operatorname{sen}^2 \varphi_5 + \operatorname{sen}^2 \varphi_6 + \dots\dots\dots + \operatorname{sen}^2 \varphi_{39} \end{aligned}$$

Determinados los valores de las constantes A y B, las expresiones (4) nos permitirán obtener los de la pesantez en el ecuador y en el polo, y con ellos se obtendrá el valor del achatamiento por la expresión (1).

Si para determinar los valores de la pesantez en el ecuador y en el polo se utiliza la fórmula internacional (5), se obtendrá el siguiente sistema de



ecuaciones normales del que se pueden deducir los valores de las constantes A, B, C.

$$\left. \begin{aligned} A n + B [\sin^2 \varphi] + C [\sin^2 2\varphi] - [g] &= 0 \\ A [\sin^2 \varphi] + B [\sin^4 \varphi] + C [\sin^2 \varphi \sin^2 2\varphi] - [g \sin^2 2\varphi] &= 0 \\ A [\sin^2 2\varphi] + B [\sin^2 \varphi \sin^2 2\varphi] + C [\sin^4 2\varphi] - [g \sin^2 2\varphi] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

y los valores de las referidas constantes serán:

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{d} \begin{vmatrix} [g] & [\sin^2 \varphi] & [\sin^2 2\varphi] \\ [g \sin^2 \varphi] & [\sin^4 \varphi] & [\sin^2 \varphi \sin^2 2\varphi] \\ [g \sin^2 2\varphi] & [\sin^2 \varphi \sin^2 2\varphi] & [\sin^4 2\varphi] \end{vmatrix} \\ B &= \frac{1}{d} \begin{vmatrix} n & [g] & [\sin^2 2\varphi] \\ [\sin^2 \varphi] & [g \sin^2 \varphi] & [\sin^2 \varphi \sin^2 2\varphi] \\ [\sin^2 2\varphi] & [g \sin^2 2\varphi] & [\sin^4 2\varphi] \end{vmatrix} \\ C &= \frac{1}{d} \begin{vmatrix} n & [\sin^2 \varphi] & [g] \\ [\sin^2 \varphi] & [\sin^4 \varphi] & [g \sin^2 \varphi] \\ [\sin^2 2\varphi] & [\sin^2 \varphi \sin^2 2\varphi] & [g \sin^2 2\varphi] \end{vmatrix} \end{aligned}$$

donde  $d$  tiene el valor:

$$d = \begin{vmatrix} n & [\sin^2 \varphi] & [\sin^2 2\varphi] \\ [\sin^2 \varphi] & [\sin^4 \varphi] & [\sin^2 \varphi \sin^2 2\varphi] \\ [\sin^2 2\varphi] & [\sin^2 \varphi \sin^2 2\varphi] & [\sin^4 2\varphi] \end{vmatrix}$$

Utilizando los 25 valores de la relación preinserta hemos calculado por el primero de los métodos indicados los siguientes valores:

$$A = 977.261 \quad .. \quad B = 8.060$$

y con ellos

$$g_e = 978.049 \quad .. \quad g_p = 983.221 \quad (11)$$

Es de advertir, antes de comparar estos resultados con los admitidos y calculos con observaciones realizadas en toda la superficie terrestre, que los valores (11) son no más que el resultado de calcular, como ensayo, con los 25 datos anotados

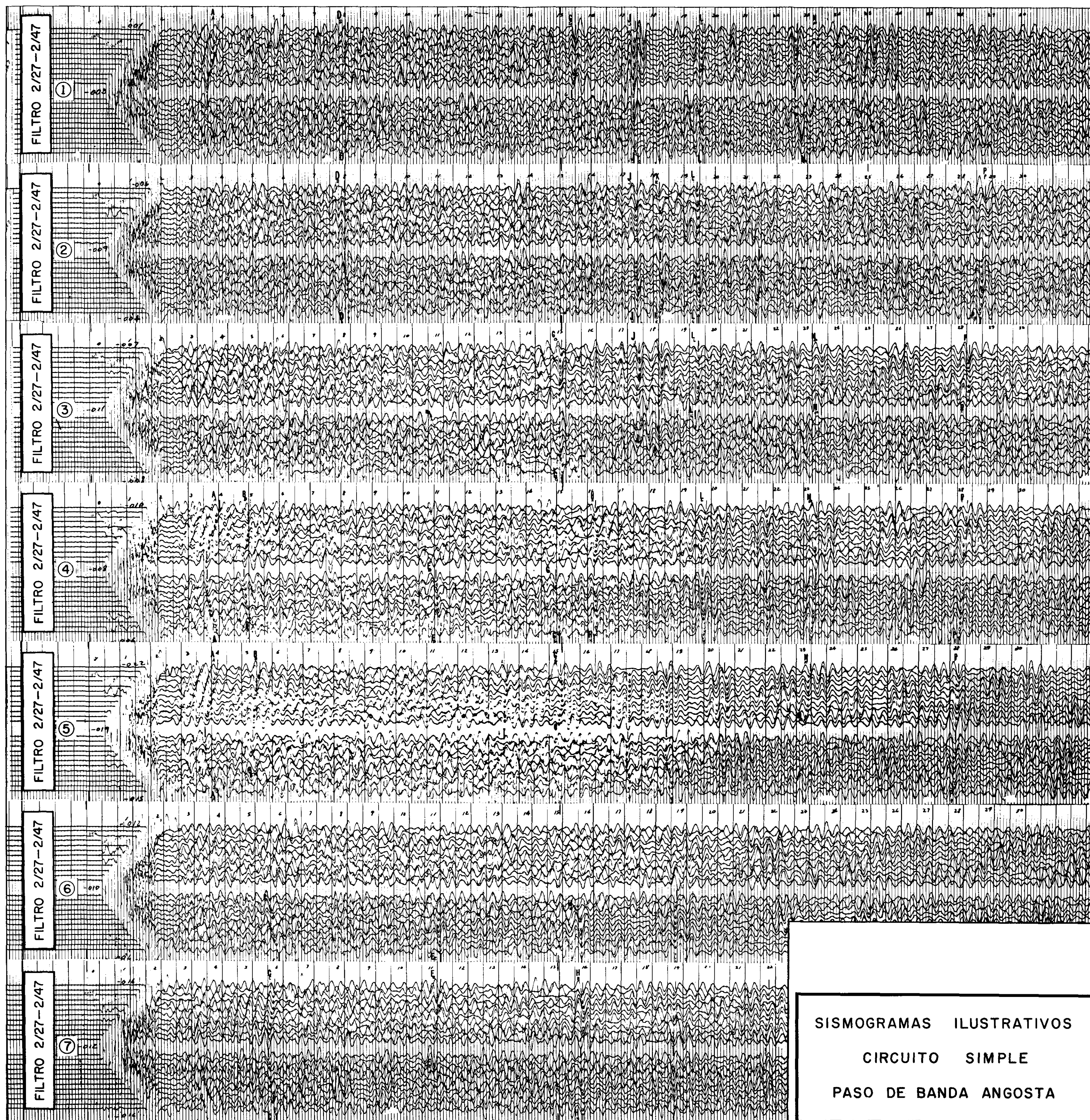


Figura No. 1

# “FORO ABIERTO”

## USOS Y PELIGROS DE LOS FILTROS DE PASO DE BANDA ANGOSTA

Por el Ing. F. Nery España \*

Sabemos que en el método sísmico de reflexión, la energía que arriba a los detectores es de un nivel muy bajo y que lleva mezcladas tanto señales sísmicas provenientes del subsuelo como interferencias procedentes del suelo.

Las señales sísmicas son las que nos indicarán las condiciones del subsuelo (que es precisamente lo que busca el método de reflexión), por lo cual se hace necesario amplificarlas y depurarlas, a fin de poder analizarlas.

El proceso de amplificación corre a cargo de un equipo electrónico convencional, cuya ganancia total generalmente es de 120 db.

En el proceso depurador (tema del presente artículo) existe la tendencia de filtrar la energía, tratando de eliminar las interferencias, pero tal sistema entraña algunos peligros, ya que si el filtraje es demasiado, puede también eliminar las señales del subsuelo. Es preferible tratar de cancelar las interferencias por diversos sistemas, como: taponamiento del pozo, entierro o disposición adecuada de los detectores, sismómetros múltiples, etc. y sóloamente usar los filtros instrumentales cuando dichas interferencias todavía conserven un alto nivel de energía.

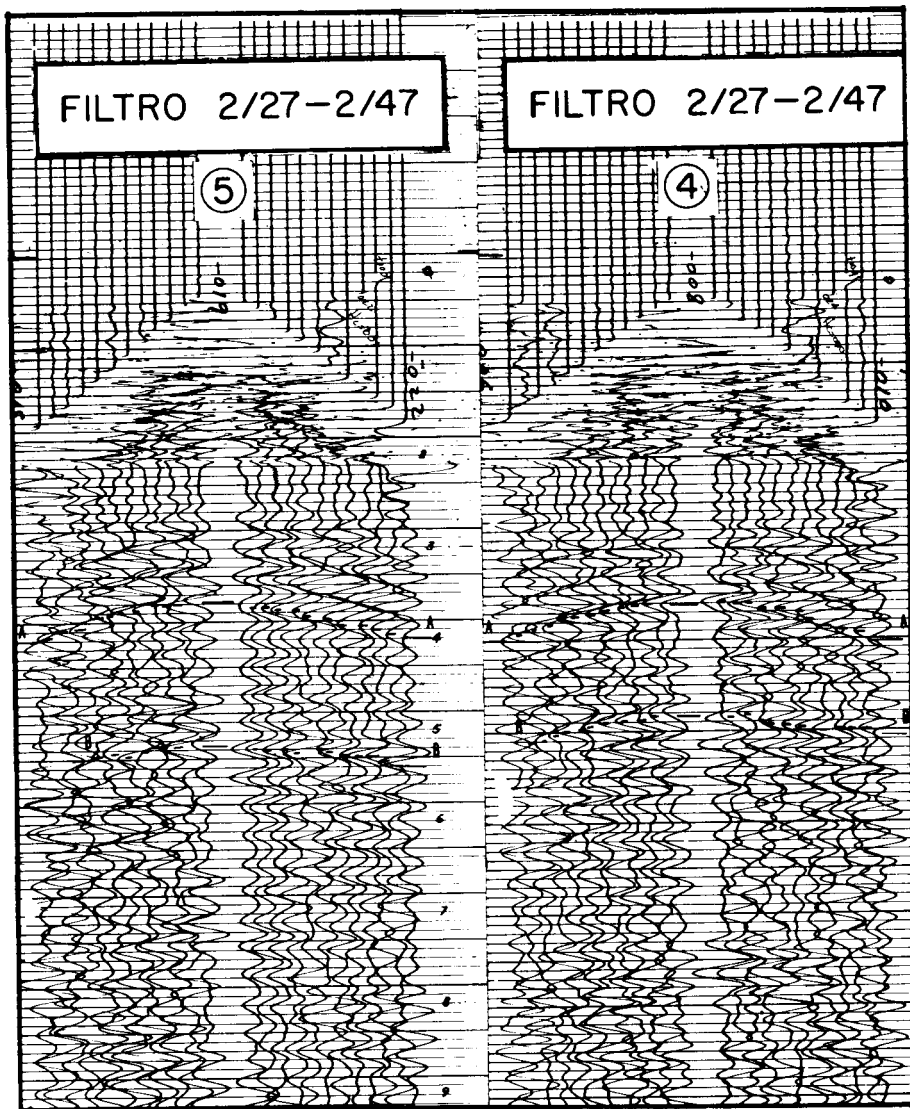
Al empezar el estudio sísmico de un área, es recomendable utilizar filtros de paso de banda amplia y conforme avance la exploración ir seleccionando aquel ancho de banda que disminuya el nivel de interferencia y permita la registración de las señales del subsuelo.

En general, el paso de banda no debe ser muy angosto pues sabemos que los sismogramas presentan reflexiones de alta y baja frecuencia (aún para la misma formación geológica), dependiendo de las constantes elásticas y de las trayectorias recorridas por las ondas sísmicas. Además, las reflexiones

---

\* Servicios Geofísicos.





Detalle de sismogramas con paso de banda angosta.

Figura N° 3

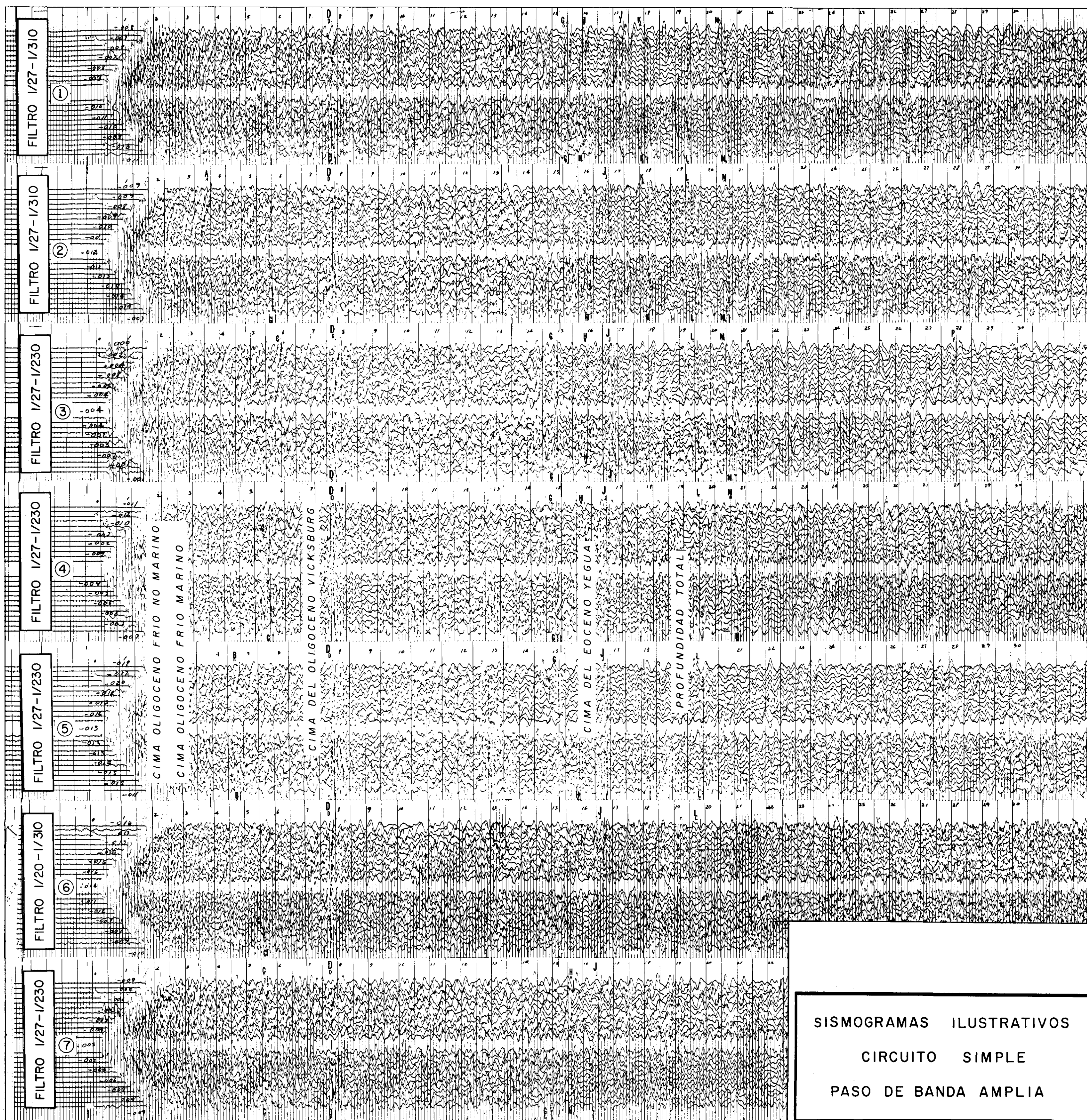
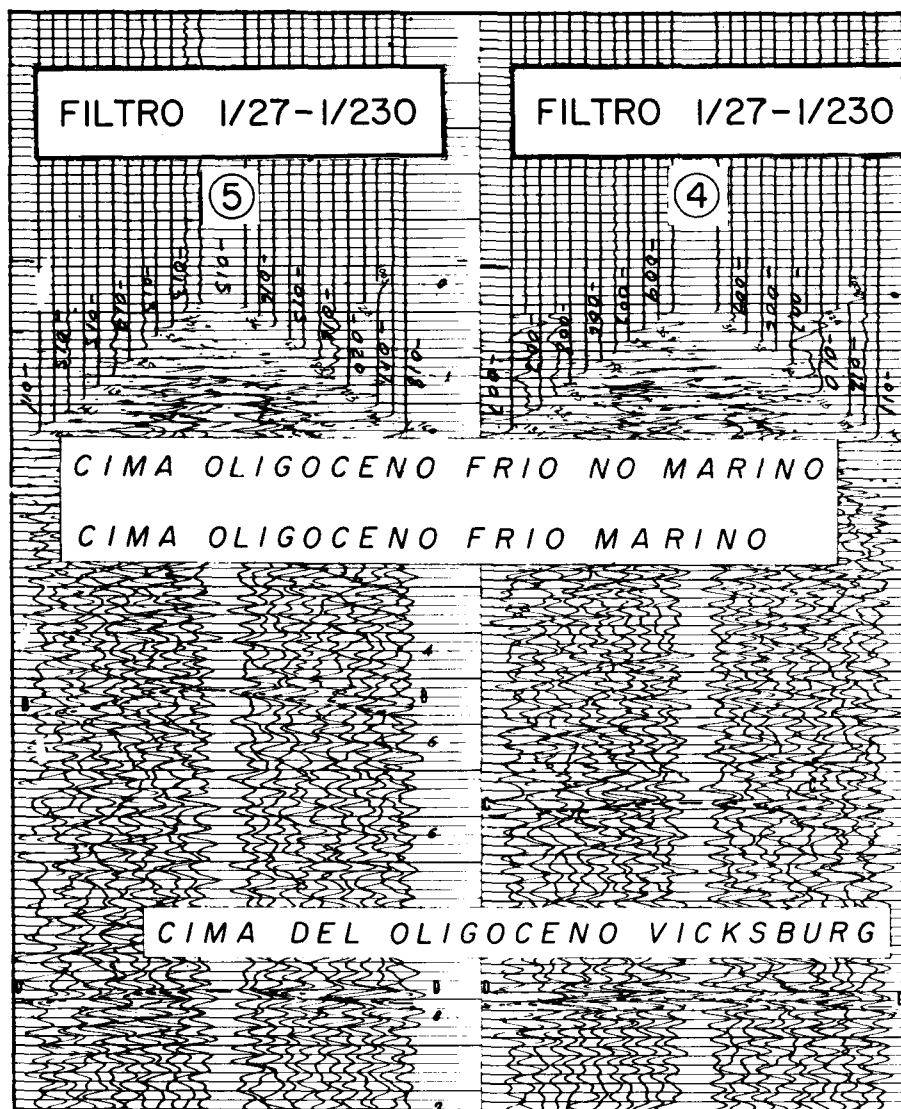


Figura No. 2





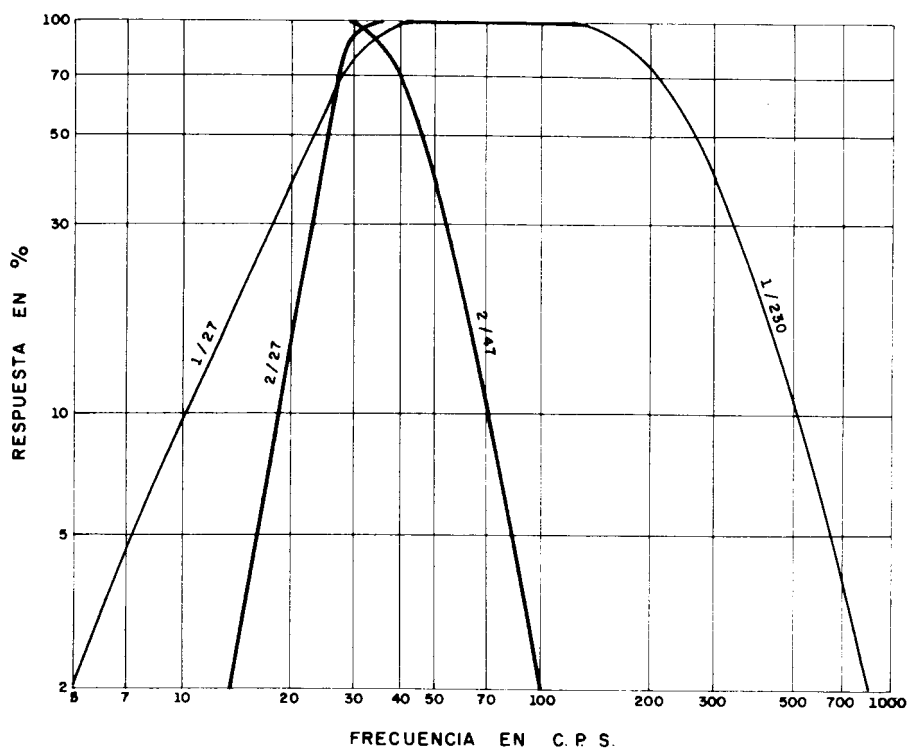
Detalle de sismogramas con paso de banda amplia.

Figura N° 4

en banda angosta tienden a presentar varias “piernas” que dificultan su correlación y si la banda está muy cerrada, las curvas características de los filtros se cortan, sin permitir respuestas de 100% en los amplificadores (según enseña la figura No. 5 que muestra el comportamiento de los filtros).

Ilustrando los anteriores conceptos, se anexan dos placas de sismogramas y dos Detalles, que corresponden a los mismos pozos de tiro (del No. 1 al

### AMPLIFICADOR SISMOLOGICO GA - 33



### COMPORTAMIENTO DE LOS FILTROS

Figura Nº 5

No. 7), observados el mismo día, con cargas explosivas idénticas (de 15 a 20 libras de dinamita Geomex 60%) detonadas a iguales profundidades (del No. 1 al No. 3 a 36 metros y del No. 4 al No. 7 a 30 metros). En ambos casos, se observó un pozo de tiro con filtro de paso de banda angosta ( $2/27 - 2/47$  cps.) y cambiando solamente los controles de filtros (al  $1/27 - 1/310$ ,  $1/20 - 1/310$ ,  $1/27 - 1/230$  cps.) se efectuó otro disparo, aprovechando el tendido de sismómetros ya plantados, dejando el resto de controles instrumentales en la misma posición.

Meses después, una perforación profunda (pozo La Esquina No. 1) cercana a los mencionados puntos de tiro, permitió conocer la situación aproximada de los diferentes contactos geológicos (convirtiendo los tiempos a profundidades, según ley deducida de un pozo profundo cercano).

El estudio de las placas anexas de sismogramas permite apreciar los peligros que involucra el uso excesivo del filtraje, las dificultades en correlacionar los datos y la aparición de numerosos alineamientos que falsamente dan idea de reflexiones (sin serlo, por no satisfacer las condiciones de curvatura). Nótese que el mejor horizonte reflector (cima del Oligoceno Vicksburg) prácticamente ha desaparecido en la placa de banda angosta y que la cima del Eoceno Yegua ha perdido continuidad.



## NUEVOS SOCIOS

Ing. Daniel Muñoz Garduño.

Sucre No. 102.

Col. Moderna.

México 13, D. F.

Ing. Guillermo Gómez López.

Dr. Vértiz No. 134 Depto. 3.

México 7, D. F.

Ing. Jorge Suárez Rodríguez.

Pisagua No. 579.

Col. Valle del Tepeyac.

México 14, D. F.

Ing. Nicolás Ramírez Pérez.

Bolivia 1205 Pte.

Cd. Madero, Tamps

Oscar B. Irizarry

211- South Cheyene.

P. O. Box 1260.

Tulsa -1 Oklahoma, E. U. A.

# SCHLUMBERGER SURENCO - S. A.

---

A G E N C I A   E N   M E X I C O

Av. Morelos 98, Desp. 201

MEXICO 1, D. F.

Tels.: 46-85-25 y 46-13-85

## I. - CONVENCION DE LA ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

---

Fecha - Noviembre de 1961

---

Agradeceremos su Cooperación enviándonos  
con oportunidad Artículos Técnicos.

# EL ORO NEGRO SE DESCUBRE CON DINAMITA "GEOMEX 60%"

OTRA VALIOSA CONTRIBUCION DE LA CIA. MEXICANA DE  
EXPLOSIVOS, S. A., AL PROGRESO INDUSTRIAL MEXICANO.

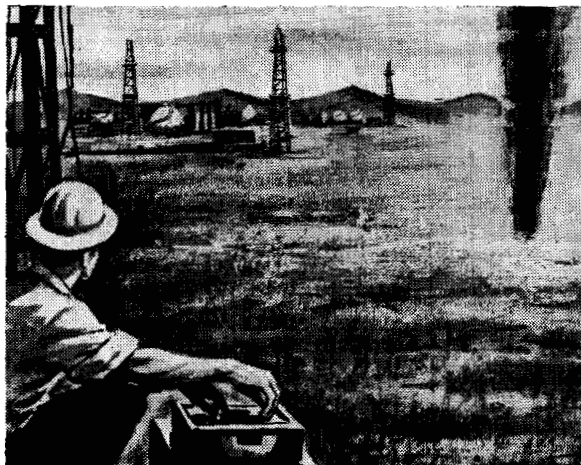
La progresista industria petrolera de México tiene uno de sus más valiosos aliados en los explosivos especiales, como el "Geomex 60%" de la Cia. Mexicana de Explosivos, S. A.

El "Geomex 60%" es una dinamita gelatinosa especialmente preparada para los delicados trabajos de exploración sísmológica previa a la perforación del pozo petrolero.



*Por brechas abiertas en pleno monte, los explosivos de la Cia. Mexicana de Explosivos, llegan hasta el sitio preciso para la exploración sísmológica.*

*La dinamita "Geomex 60%" viene en cartuchos rígidos y resistentes, que facilitan la carga en los barrenos profundos; los cartuchos se unen entre sí cuando se requiere una larga columna continua.*



Está especialmente recomendada para trabajos en que se usen barrenos profundos, o cuando el explosivo permanecerá por largo tiempo en el agua, y también para trabajos donde estará sujeta a un prolongado almacenamiento o bajo adversas condiciones de calor o humedad.

Para cada necesidad, hay un explosivo industrial C.M.E. que cumple todos los requisitos de seguridad y eficiencia. Pida informes más detallados a:

**CIA. MEXICANA DE EXPLOSIVOS, S. A.**

Ave. Juárez 117, 6o. Piso

México 1, D. F.

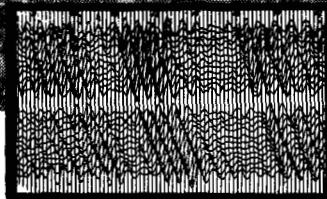


MARCA REGISTRADA

**Cosas mejores para vivir mejor... gracias a la Química**



MARCA REGISTRADA



*La explosión de cada carga produce vibraciones que el sismógrafo capta y registra, indicando las condiciones geológicas características de los mantos petrolíferos.*



SOCIOS

\$100.00

NO SOCIOS

\$150.00

ADQUIERA UD. SU VOLUMEN CON  
LOS 4 BOLETINES DEL AÑO 1960,  
EMPASTADO EN KERATOL, CON SUS  
INICIALES GRABADAS EN ORO

PEDIDOS A LA  
ASOC. MEX. DE GEOF. DE EXPL.

# GEOEXPLORACIONES, S. A.

SERVICIOS:

GEOFISICOS

GEOLOGICOS

RADIATIVOS

TOPOGRAFICOS

FOTOGEOLOGICOS

AVE. JUAREZ 117 - 502      TEL. 46 - 11 - 81  
APDO. 20902                      MEXICO 1. D. F.

# EXPLORACIONES, S. A.

AVE. JUAREZ 100                      DESP. 315

TEL. 10 - 15 - 64

MEXICO 1, D. F.

# PERFORACIONES, S. A.

Av. Juárez 119 Desp. 53      Tel. 21-36-42

México 1. D. F.

## "ROTENCO"

ROTARY ENGINEERING DE MEXICO, S. A.

AL SERVICIO DE PETROLEOS MEXICANOS

Av. Juárez 119 Desp. 31-32

Tels. 46-44-19  
21-58-36

México 1. D. F.

**...SISMOLOGIA... GRAVIMETRIA... GEOQUIMICA... MAGNETOMETRIA...**

**...SUE \***

**...PROCESADO DE DATOS**

**MAE.\*\***

**AREAS:—**Grandes o pequeñas, marinas o terrestres.

**PROBLEMAS:—**Técnicos u operacionales.

**INFORMACION:—**Superficial o profunda.

**FORMA:—**Utilizando los métodos y equipos más modernos compatibles con áreas y presupuestos.

**GEOPHYSICAL**

**SERVICE**

**INCORPORATED**

Exchange Bank Bldg.,  
100 Exchange Park North,  
DALLAS 35, TEXAS.  
Tel. FLEetwood 7-4311

Avenida Juárez No. 119,  
Despacho 42,  
Tels. 46-37-20 - 21-74-67  
MEXICO 1, D. F.

\* Seismic Underwater Exploder

\*\* Multiple Analyzer Eliminator.

# CURSO DE SISMOLOGIA APLICADA

Por el Ing. V. A. OLHOVICH



En las principales librerías

o directamente en la

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

Av. Juárez 97. Desp. 302.

México 1, D. F.