

*Revisado*

MINISTERIO DE INDUSTRIA

DIRECCION GENERAL DE MINAS

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

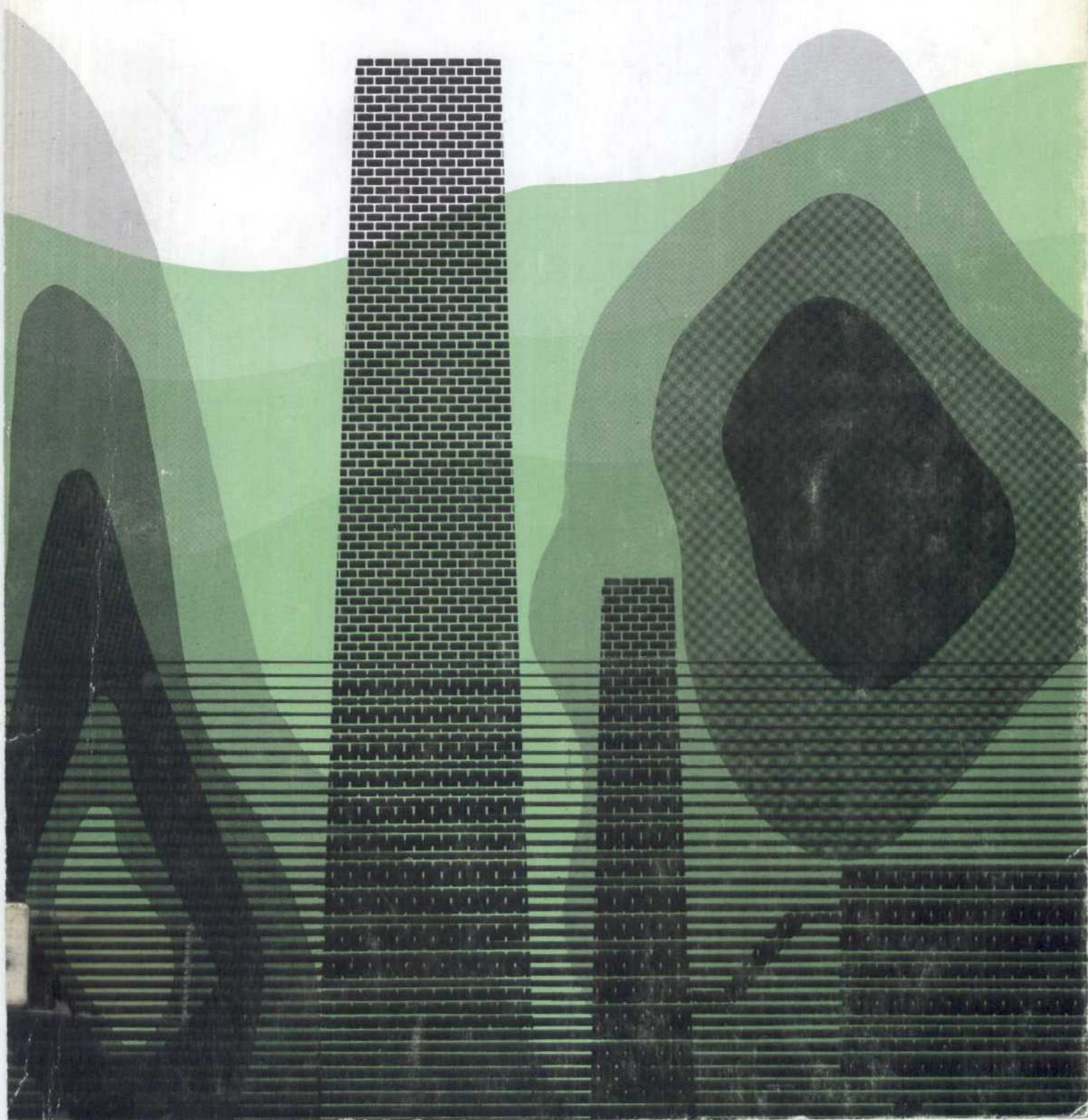
PLAN NACIONAL DE LA MINERIA

PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACION MINERA

00204

# CARACTERIZACION GEOMECANICA DE LA ZONA PIRITICA DE HUELVA

ANEJO V.— ENSAYOS SISMICOS EN LAS MINAS DE THARSIS Y SOTIEL



# **CARACTERIZACION GEOMECANICA DE LA ZONA PIRITICA DE HUELVA**

**ANEJO V.— ENSAYOS SISMICOS EN LAS MINAS DE THARSIS Y SOTIEL**

**DICIEMBRE 1.972**

El presente estudio ha sido realizado por la Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras, S.A. (ENADIMSA) en régimen de contratación con el Instituto Geológico y Minero de España.

MINISTERIO DE INDUSTRIA  
DIRECCION GENERAL DE MI  
NAS INSTITUTO GEOLOGICO  
Y MINERO DE ESPAÑA

---

PLAN NACIONAL DE LA MINERIA  
PROGRAMA NACIONAL DE INVE-  
STIGACION MINERA

---

GEOMECANICA DE HUELVA  
ANEJO - V  
ENSAYOS SISMICOS EN LAS  
MINAS DE THARSIS Y SOTIEL

### Fundamento Teórico

El objetivo de estos ensayos fue la determinación de las constantes elásticas de diferentes rocas, y comparar estos resultados con los obtenidos en el laboratorio mediante ensayos estáticos. La técnica empleada fue la siguiente: Una cuña metálica incrustada en la roca fue golpeado con un martillo de metal; las vibraciones en el terreno fueron recogidas a diferentes distancias por medio de geófonos. Una estimación de la velocidad sísmica de las ondas propagándose a través de la roca, puede obtenerse midiendo el tiempo transcurrido entre el impacto y la primera señal detectada por el geófono. Naturalmente, además, es necesario conocer la distancia entre la localización donde se produjo el impacto y el geófono. La velocidad generalmente dada empleando el tiempo de "primera llegada" es el de las ondas "P" (ondas de compresión), y que la teoría elástica define en función de las constantes elásticas como:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \times \frac{(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}}$$

Debe tenerse en cuenta que tanto la densidad como el módulo de Poisson son necesarios si el módulo de Young quiere evaluarse en función de  $V_p$ . Sin embargo, si la velocidad de las ondas "S" (ondas transversales) puede estimarse de los registros sísmicos, una estimación independiente de módulo de Poisson puede obtenerse

se por:

$$\gamma = \frac{\frac{1}{2} \left( \frac{V_P}{V_S} \right)^2 - 1}{\frac{V_P}{V_S} - 1}$$

### Consideraciones Fundamentales

Aunque en principio el método descrito parece simple y de fácil interpretación, existen generalmente un gran número de dificultades prácticas que oscurecen la interpretación. Estas, pueden quedar sintetizadas en las siguientes:

- (i) Inhomogeneidad de la roca y diferencias litológicas hacen que las ondas puedan seguir direcciones complicadas de propagación como consecuencia de la refracción y reflexión - que pueden sufrir. En general, estas direcciones de propagación son difíciles de establecer con exactitud dando lugar a errores en el cálculo de la velocidad.
- (ii) La presencia de una superficie libre, cercana a la dirección de propagación de las ondas, puede originar los siguientes problemas.
  - a.- La superficie de fractura, bien originada por voladuras, - desintegración por la acción atmosférica o por relajación de tensiones, origina reducciones desconocidas de la velocidad.
  - b.- La superficie de fractura puede dar lugar a formas no usuales de propagación a lo largo de la superficie ej: ondas - Love, cuya velocidad es diferente a la de las ondas "P" y

"S" y dependiente de la longitud de onda, lo cual, hace di  
fícil la interpretación basada en tiempos de llegada.

- c.- Incluso no existiendo superficie de fractura, pueden no obs  
tante existir tipos peculiares de ondas en una superficie,  
ej: para superficie plana, las ondas Rayleigh, que se propaga  
gan con velocidad ligeramente menor que las ondas "S". A  
lo largo de un cercano tunel circular, galería etc. "ondas  
tunel" pueden propagarse, pero, en este caso, la velocidad  
es marcadamente dependiente de la longitud de onda.
- (iii) El tiempo de llegada de las ondas "S" es siempre de difícil  
determinación debido a la superposición de estas ondas con  
las ya existentes ondas "P". Sin embargo, la existencia de  
inhomogeneidades o de estructuras cercanas tales como tunce  
les, pozos etc., la reflexión producida en estas estructu-  
ras puede ser erróneamente interpretada como ondas "S".
- (iv) Cuando estamos ante una situación dispersiva, la mayor parte  
de la energía de propagación viaja en el frente de veloci  
dad, el cual es función de la pendiente de la curva fase  
de la velocidad.

Con estas condiciones, la identificación de una "velocidad  
única" resulta considerablemente difícil, especialmente, si  
la propagación de bajas frecuencias es más rápida que la -  
de las altas. Además, el observado "first break" variará -  
con la estabilización de los amplificadores empleados. Una  
onda sinusoidal del foco sísmico es útil aquí para obtener  
las velocidades en función de la frecuencia.

(v) En muchas situaciones mineras existe a menudo un gran número de ruidos. Los acústicos, debido a bombas, sondeos, - equipo de excavación etc.

Los eléctricos, son de naturaleza dispersa (conmutadores) o continuos (líneas eléctricas).

Todos los factores enumerados, se combinan en los problemas reales dando lugar a una difícil determinación de "velocidad - única" de las ondas "P" y "S" en cada tipo particular de roca. El único medio de asegurar unos resultados significativos consiste en emplear un tiempo considerable buscando un lugar apropiado, con el fin de asegurar que las ondas propagadas son las del tipo requerido y que ninguno de los factores mencionados estén presentes en una extensión significativa.

Los ensayos realizados deberán ser considerados como respuesta aproximada de los objetivos seguidos, debido, principalmente, a la naturaleza del equipo empleado, el cual, aunque de excelente diseño y construcción era relativamente especializado e inflexible.

#### Equipo empleado

El equipo fue fabricado por Electro-Tech. de Houston, Texas, y estaba compuesto de amplificadores, cables y oscilógrafo registrador además de 12 geófonos verticalmente sensitivos con frecuencia de resonancia de 7 c.p.s. Dado que la mayoría de los registros eran de mayor frecuencia, puede considerarse que los geófonos estaban trabajando en un modo "output-proporcional a la velocidad". No se conocían la frecuencia de resonancia de los galvanómetros. La velocidad del papel fue de 12" por seg. siendo la



diferencia mínima en el tiempo de respuesta de 1 m sg. Los cables de conducción entre geófonos permitían a éstos estar espaciados en intervalos de hasta 15 m. La superficie rocosa fue siempre golpeada por el martillo y aproximadamente en dirección vertical.

#### Nota respecto al módulo de Poisson

Son muy pocos los casos en los que los tiempos de llegada de las ondas "S" pueden establecerse con cierto grado de exactitud. De esta forma, no es posible derivar un valor experimental significativo del módulo de Poisson. Sin embargo, como Farmer - señala ("Engineering Properties of Rocks").

"Invariablemente en un medio rocoso quasi-elástico o semielástico, un ensayo exacto proporciona valores del módulo de Poisson del orden de 0,25, cualquier valor menor que este o mayor que 0,33 en rocas elásticas es completamente irreal y únicamente puede indicar una inexactitud del ensayo o un comportamiento no elástico del medio.

Cuando un proyecto está basado en un comportamiento elástico del medio, la consideración, por tanto, de 0,25 como módulo de Poisson está enteramente justificada!

Es evidente que, como consecuencia de la pequeña magnitud de las tensiones inducidas por ensayos sísmicos, pueda considerarse el medio con un comportamiento elástico, por tanto, el valor de 0,25 como módulo de Poisson fue considerado en esta investigación. No obstante, incluso si los valores límites señalados por Farmer fuesen tomados, la diferencia en los valores calculados del módulo de Young no será mayor del + 11% (Fig. 38) y, verdaderamente, sería esperanzador si el resto de los factores pudieran establecerse con tal exactitud.

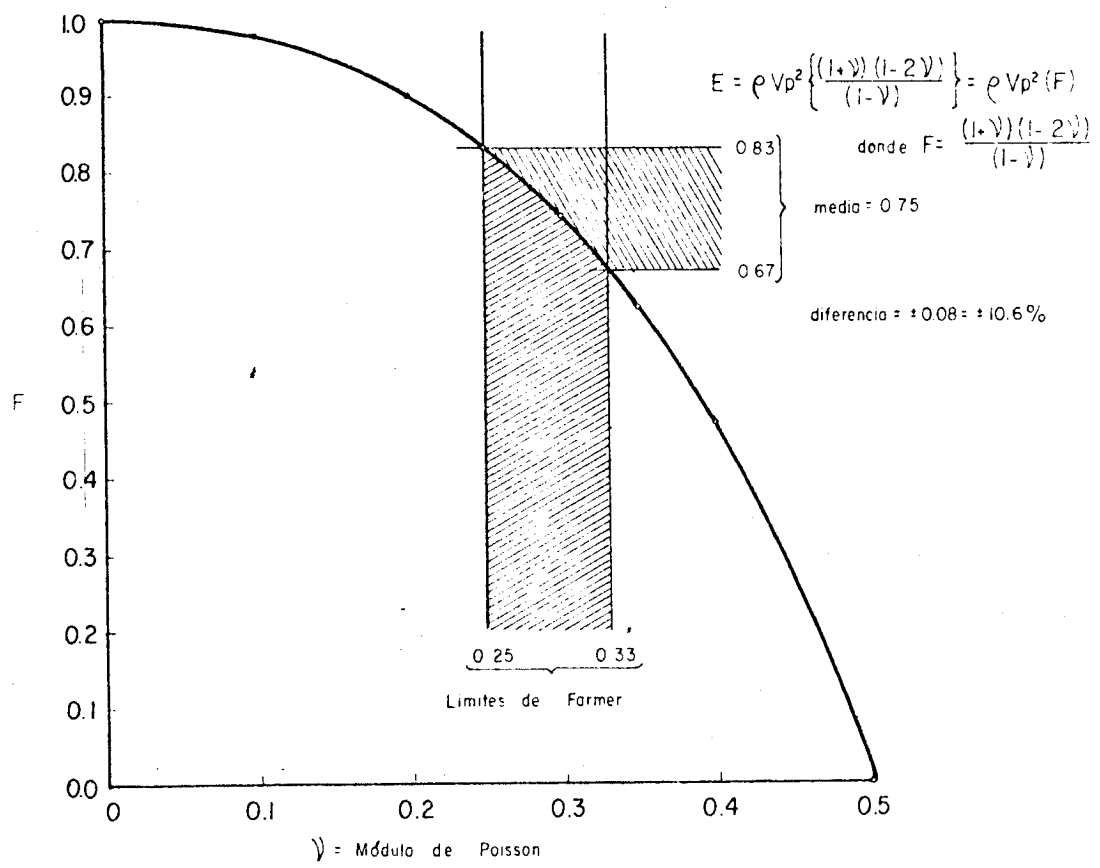


Fig.-3.8.- Efecto de variación del módulo de Poisson sobre el módulo de Young.

### Mina de Sotiel

Dos fueron los tipos de roca investigadas:

- (i) Pizarras
- (ii) Piritas

Donde fue posible, las líneas sísmicas se establecieron entre galerías de forma tal que la ondas se propagasen practicamente a través de roca intacta más que a lo largo de galerías (con las - desventajas mencionadas anteriormente). Los registros de cada en sayo son dados en el apéndice.

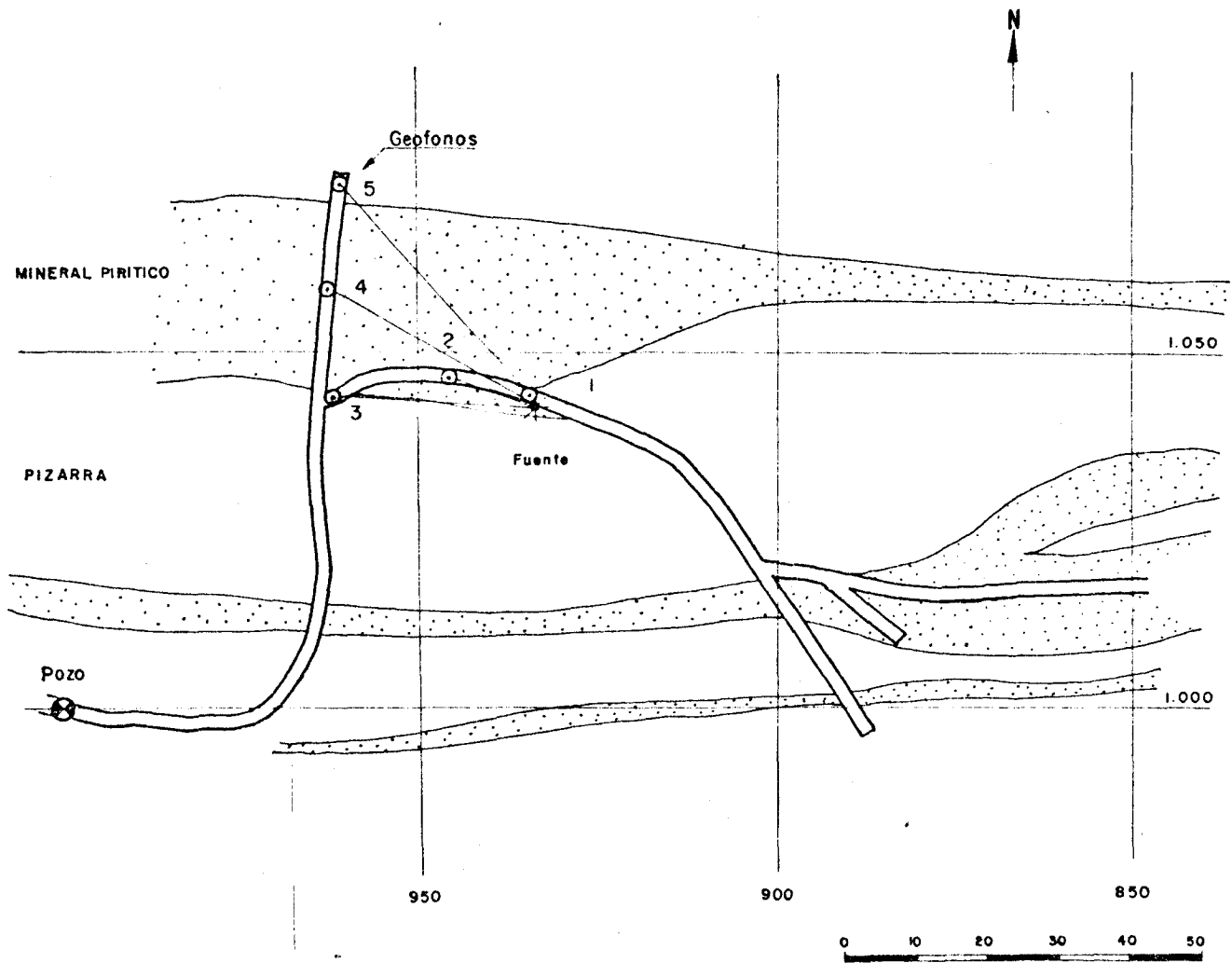
### Ensayo 2 - Sotiel

La localización de este ensayo se muestra en la Fig. 3.9 jun to con la tabla de resultados. Los primeros "breaks" son bastan te distintos, permitiendo una estimación exacta de la velocidad. No existe una clara diferenciación de las primeras llegadas de - las ondas "S"; así pues, un valor de 0,25 del módulo de Poisson fue considerado en el cálculo del módulo de elasticidad.

Evidentemente, la velocidad más baja del propagación corres ponde a aquellas direcciones de propagación más próximas a las galerías, probablemente, porque allí exista una zona fracturada alrededor de la galería. El verdadero valor de la velocidad es seguramente mayor que 5 km/sg. dando un módulo de Young superior a  $8 \times 10^5 \text{Kg/cm}^2$ .

### Ensayo 3 - Sotiel

La mayoría de las direcciones de propagación fueron a tra- vés del conjunto pizarra-pirita, por tanto, un cuidado excesivo



DIRECCION DE PROPAGACION	LONGITUD EN METROS	TIEMPO ms	VELOCIDAD Km/s	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm <sup>2</sup>
S-1	2	(0.5)	(4.0)	
S-2	13	2.8 ± 0.5	3.9	5,61 × 10 <sup>5</sup>
S-3	27	6.2 ± 0.5	4.1	6,19 × 10 <sup>5</sup>
S-4	33	7.2 ± 0.5	4.4	7,05 × 10 <sup>5</sup>
S-5	42	8.2 ± 0.5	4.8	8,49 × 10 <sup>5</sup>

Fig. 3.9.- Planta del ensayo 2 con tabla de resultados (Sotiel)

debemos tener en la interpretación de este ensayo. La localización y tabla de resultados de este ensayo viene expresada en la Fig. 3.10.

#### Ensayo 4 - Sotiel

En este ensayo un intento fue hecho para registrar la velocidad de propagación a través, únicamente, de las pizarras. La localización de este ensayo junto con la tabla de resultados son dadas en el Fig. 3.11.

Como en el ensayo 2, la velocidad más alta ocurre cuando la dirección de propagación está más alejada de la galería. El módulo de Young para la pizarra intacta es claramente mayor que  $9 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>.

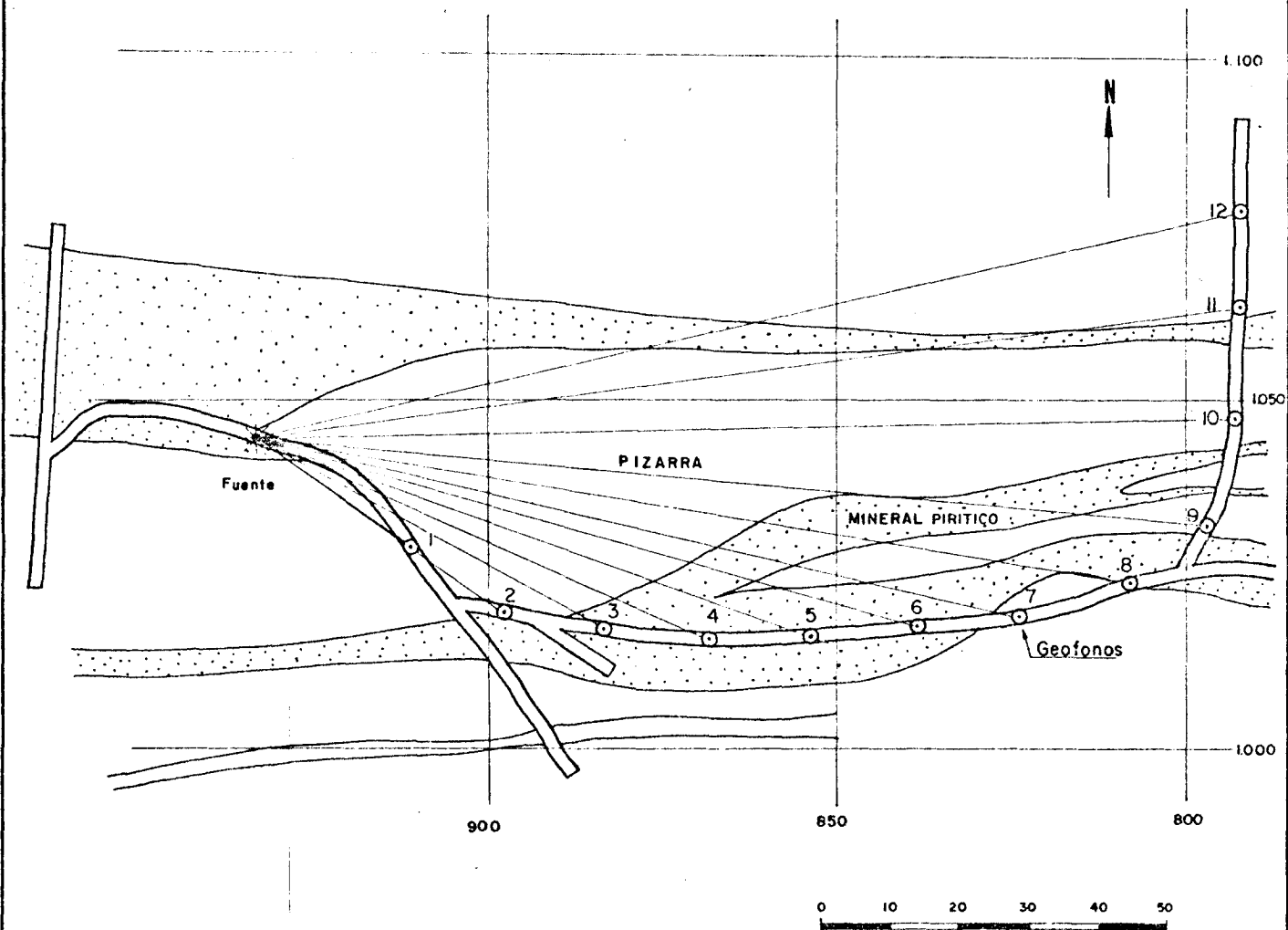
#### Ensayo 5 - Sotiel

El problema mayor en la realización de este ensayo fue la excesiva presencia de ruidos tanto eléctricos como acústicos, lo cual, hace difícil la interpretación del primer "break". La localización y tabla de resultados son expuestos en la Fig. 3.12.

Estos resultados debe tratarse con gran cautela dado que parece viable que alguna de la velocidades registradas son, en efecto, de ondas "S" debido a que las ondas "P" pueden perderse por el "ruido".

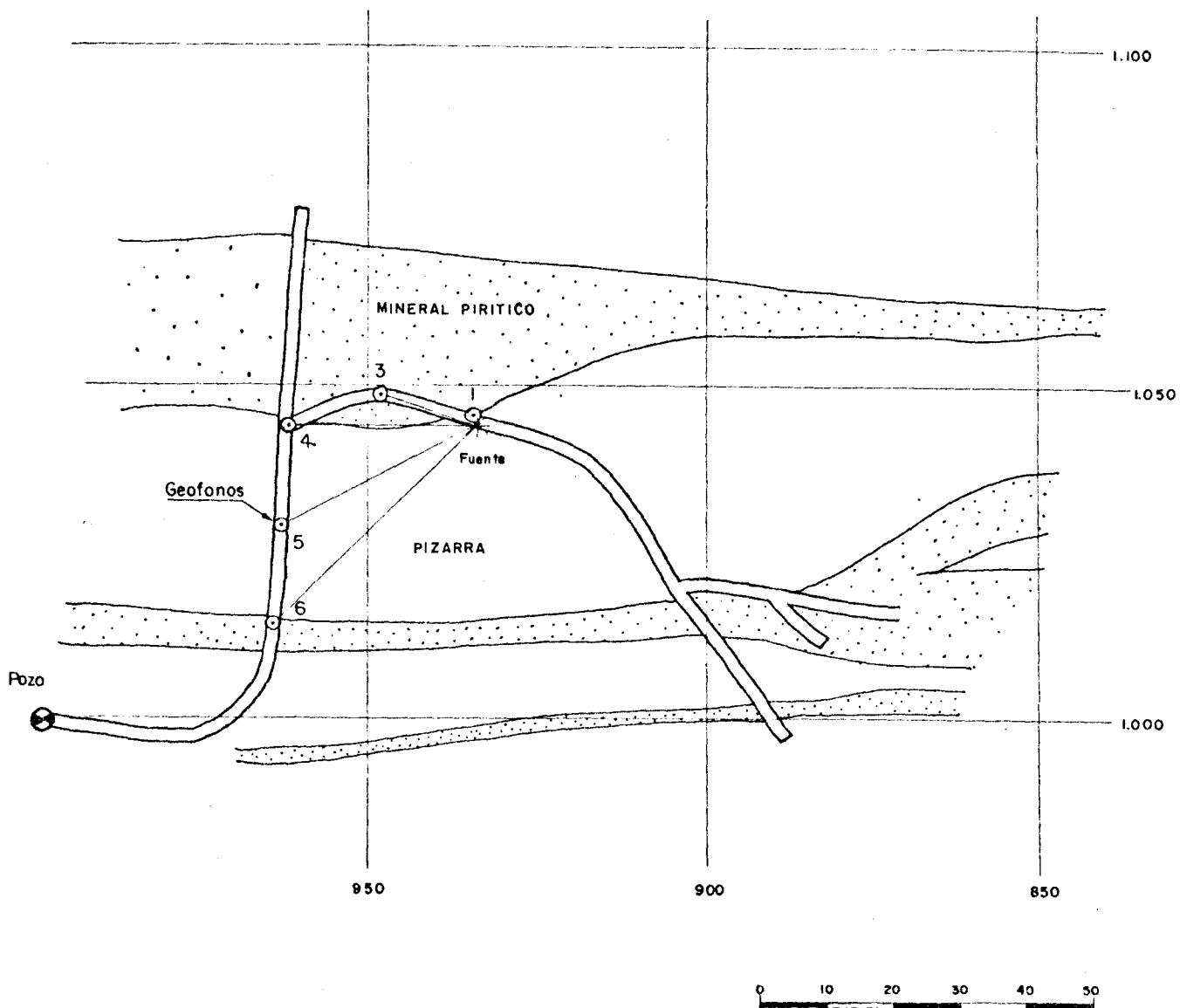
#### Resumen

Los ensayos 2 y 4 muestran definitivamente que los valores del módulo de Young, para la pizarra y pirita, son mayores que



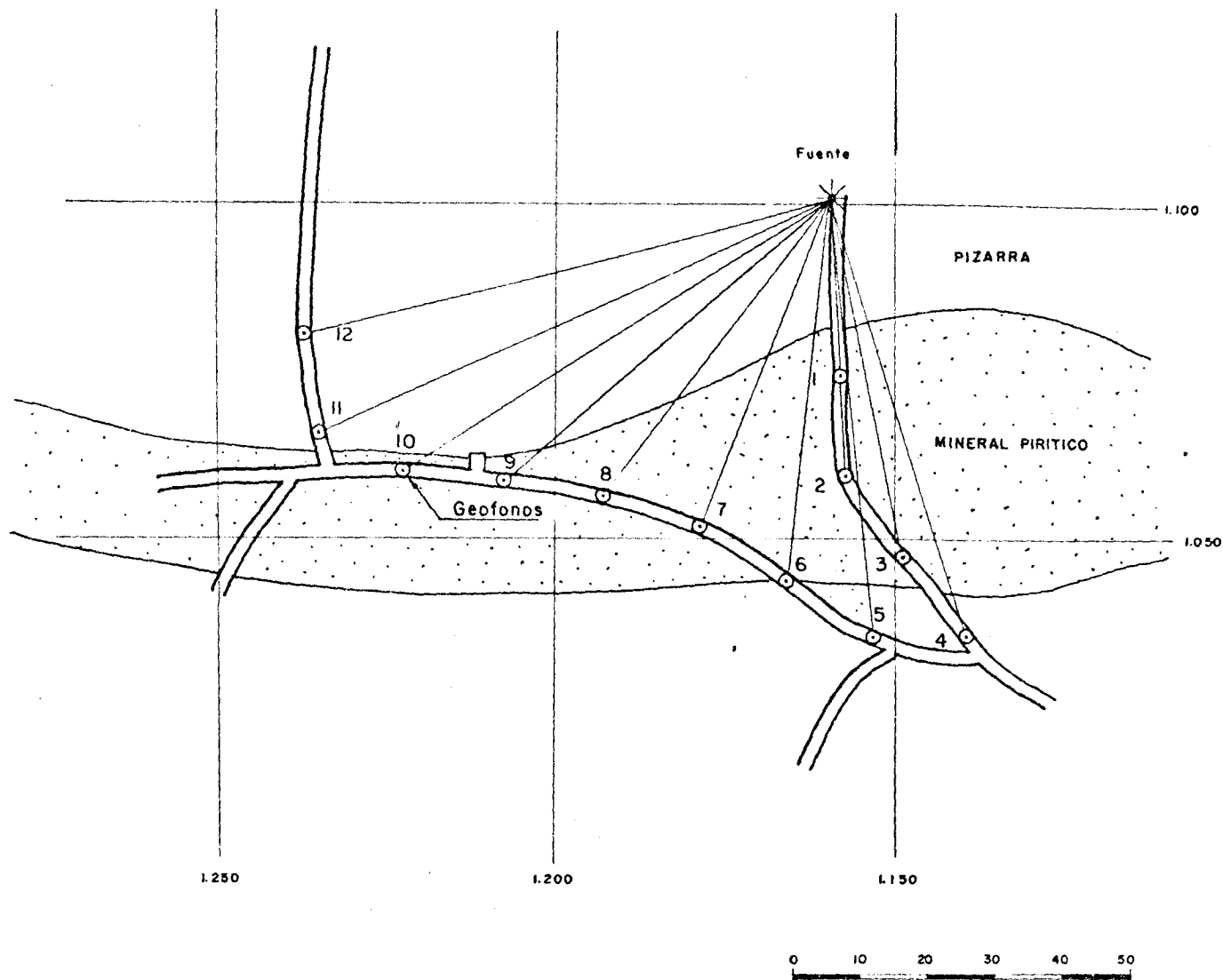
DIRECCION DE PROPAGACION	LONGITUD EN METROS	TIEMPO ms	VELOCIDAD Km/s	MODULO DE ELASTICIDAD kg/cm <sup>2</sup>
S-1	26	(9.0)	(3.0)	-
S-2	44	5.5 + 9.0	3.0	3,22 x 10 <sup>5</sup>
S-3	57	6.0 + 9.0	3.8	5,18 x 10 <sup>5</sup>
S-4	71	8.5 + 9.0	4.1	6,07 x 10 <sup>5</sup>
S-5	84	11.0 + 9.0	4.2	6,3 x 10 <sup>5</sup>
S-6	99	15.5 + 9.0	4.0	5,74 x 10 <sup>5</sup>
S-7	112	24.0 + 9.0	3.4	3,48 x 10 <sup>5</sup>
S-8	127	?	-	-
S-9	138	21.0 + 9.0	4.6	7,56 x 10 <sup>5</sup>
S-10	140	-	-	-
S-11	141	25.0 + 9.0	4.1	6,02 x 10 <sup>5</sup>
S-12	144	26.0 + 9.0	4.1	6,02 x 10 <sup>5</sup>

Fig. 3.10.- Planta del ensayo 3 con tabla de resultados (Sotiel)



DIRECCION DE PROPAGACION	LONGITUD EN METROS	TIEMPO m.sg	VELOCIDAD m.p.sg	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm <sup>2</sup>
S-2	2.0	(0.4)	(5.0)	-
S-3	15	2.5+0.4	5.2	7,72 x 10 <sup>5</sup>
S-4	27	4.5+0.4	5.5	8,62 x 10 <sup>5</sup>
S-5	32	5.5+0.4	5.4	8,34 x 10 <sup>5</sup>
S-6	42	6,5+0,4	6.1	10,43 x 10 <sup>5</sup>

Fig. 3.II.- Planta del ensayo 4 con tabla de resultados (Sotiel)



DIRECCION DE PROPAGACION	LONGITUD EN METROS	TIEMPO m/s	VELOCIDAD Km/s	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm <sup>2</sup>
S-1	26	(7.4)	(3.5)	-
S-2	42	2,5+7.4	4.2	6,3 x 10 <sup>5</sup>
S-3	55	7.0+7.4	3.9	5,40 x 10 <sup>5</sup>
S-4	68	8.0+7.4	4.4	6,86 x 10 <sup>5</sup>
S-5	64	6.5+7.4	4.6	7,56 x 10 <sup>5</sup>
S-6	56	?	-	-
S-7	50	?	-	-
S-8	55	10.5+7.4	3.1	3,5 x 10 <sup>5</sup>
S-9	63	?	-	-
S-10	74	?	-	-
S-11	81	18.0+7.4	3.2	3,64 x 10 <sup>5</sup>
S-12	78	-	-	-

Fig. 3.12.- Planta del ensayo 5 con tabla de resultados (Sotiel)



$10 \times 10^5$  y  $8 \times 10^5$  Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Estos resultados también indican, que la zona afectada por la galería debe extenderse como mínimo 3 ó 4 diámetros desde la galería.

### Mina de Tharsis

Cuatro ensayos superficiales fueron realizados en Tharsis sobre diferentes tipos de roca. Las dificultades asociadas con ensayos superficiales han sido ya descritas previamente. Los presentes ensayos deberían únicamente ser considerados como determinación de un límite inferior de la velocidad de propagación de las ondas "P" y, por tanto, del módulo de Young.

Estos ensayos fueron realizados sobre cuatro tipos de roca; la localización de los mismos se muestran en la Fig. 3.13.

Los registros correspondientes a estos ensayos son dados en el apéndice.

Los tipos de roca fueron:

- Ensayo 1.- Espiolita Pillow lavas + Tobas Espilíticas
- " 2.- Tobas Espilíticas
- " 3.- Pizarras siltíticas
- " 4.- Pirita.

Un problema asociado con estos ensayos fue la presencia de viento, lo cual, originó ruido que fue registrado por los geófonos.

### Resultados

Debido a que los geófonos fueron colocados en línea, tiene -

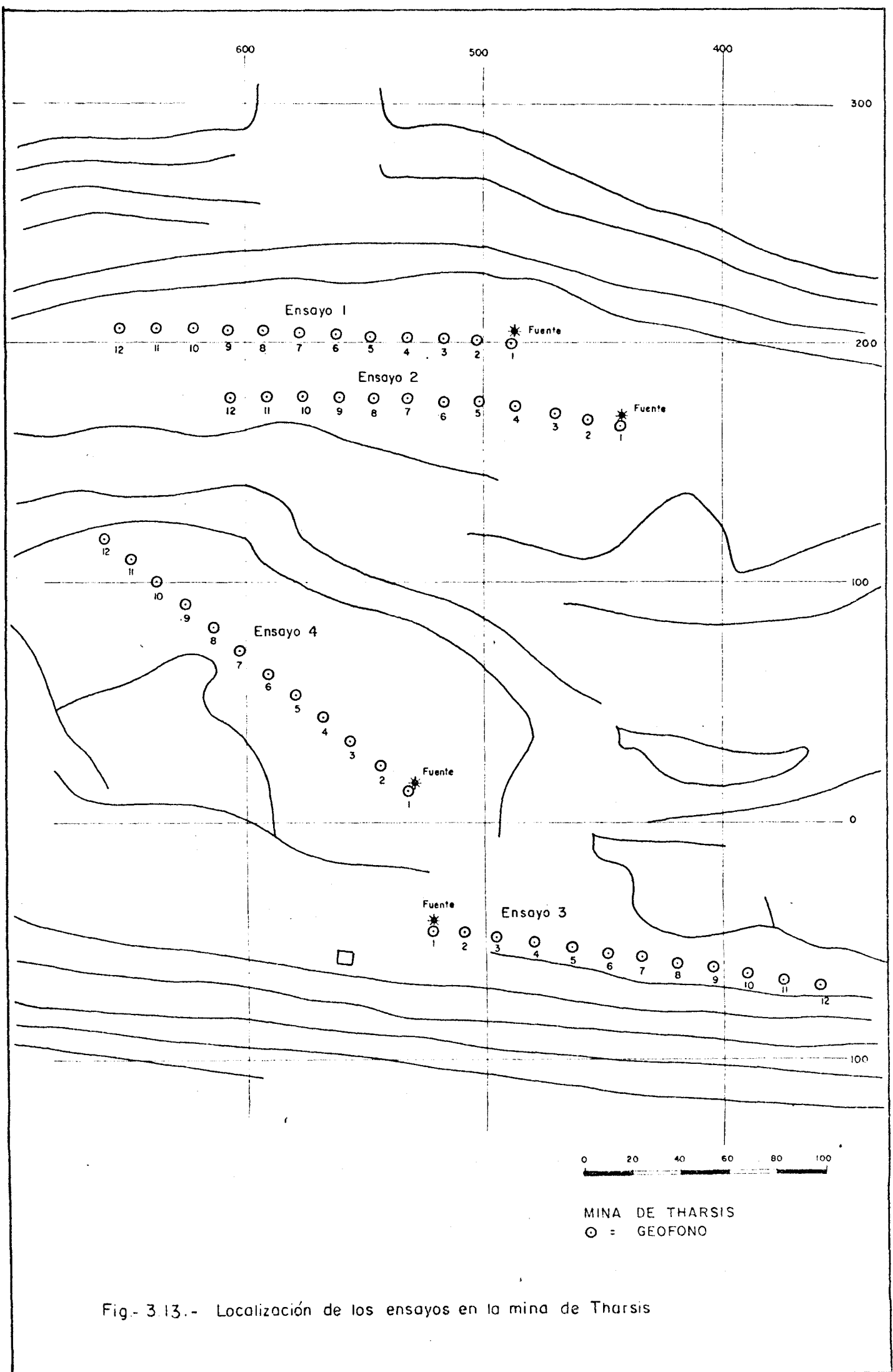


Fig- 3.13.- Localización de los ensayos en la mina de Tharsis

un valor significativo presentar los resultados de forma gráfica. Este gráfico viene representado en la Fig. 3.14.

Resulta difícil obtener una figura para las velocidades dado que las direcciones de propagación de las ondas es desconocida, por tanto, también lo es la distancia recorrida. No obstante, puesto que en este caso las ondas casi con seguridad siguen direcciones de propagación a lo largo de la superficie, hemos obtenido el gráfico mencionado, con la consideración de propagación de ondas "P", para la obtención del módulo de Young. Los resultados son los siguientes:

Ensayo 1.-	V	5 km/seg;	E= 7,16x10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>
"	2.-	V 2,7 km/seg;	E= 2,12x10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>
"	3.-	V 4,1 km/seg;	E= 4,3x10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>
"	4.-	V 1,5 km/seg;	E= 1,7x10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>

Debe también recordarse la presencia de material de carretera compactado (1-2 m), separando los geófonos de la roca en los ensayos 1 y 2. Sin embargo, de los registros, podemos observar la presencia de frecuencias del orden de 100 c.p.s., lo cual, corresponde a longitudes de onda entre 50 y 27 m. Así pues, la superficie de material debió ser invisible a tales ondas.

### Resumen

Las cifras dadas para la velocidad y módulo de Young representan límites inferiores de tales parámetros, como consecuencia de que las ondas registradas fueron más lentas y no más rápidas que las de las ondas "P".

metros  
Geofond

### MINA DE THARSIS

165 - 12  
150 - 11  
135 - 10  
120 - 9  
105 - 8  
90 - 7  
75 - 6  
60 - 5  
45 - 4  
30 - 3  
15 - 2  
0 - 1

m. Segundos

Tiempo

milisegundos

ENSAYO 3

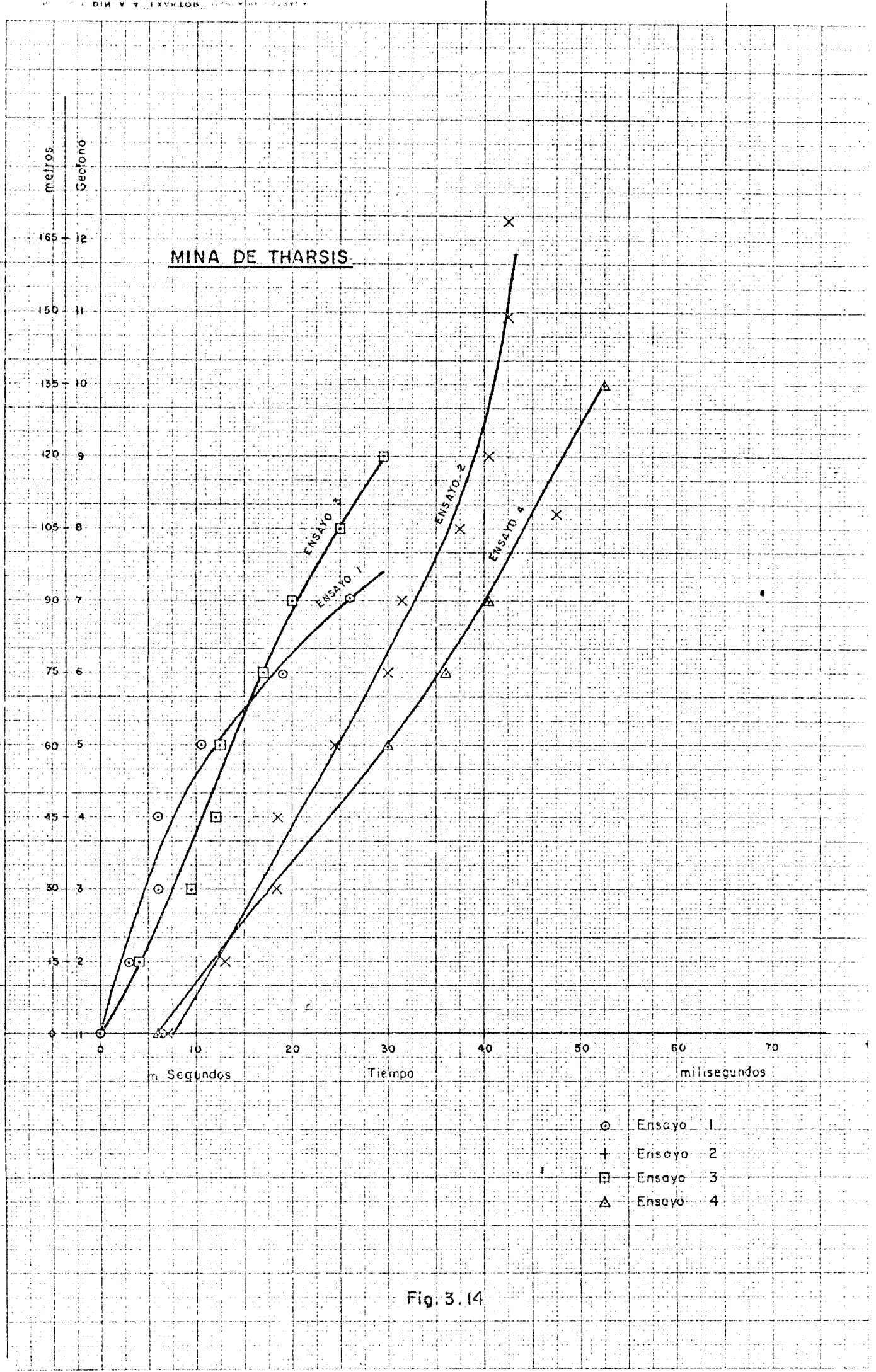
ENSAYO 1

ENSAYO 2

ENSAYO 4

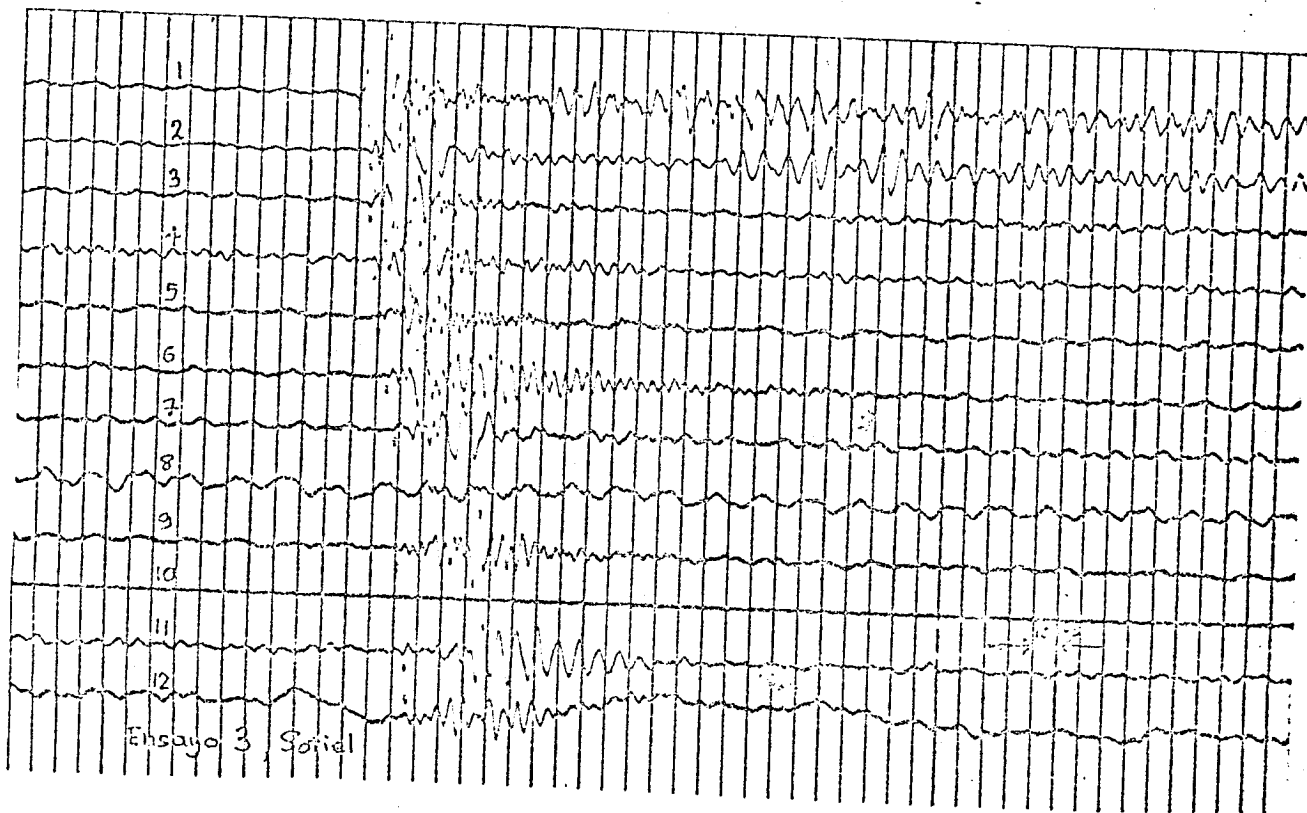
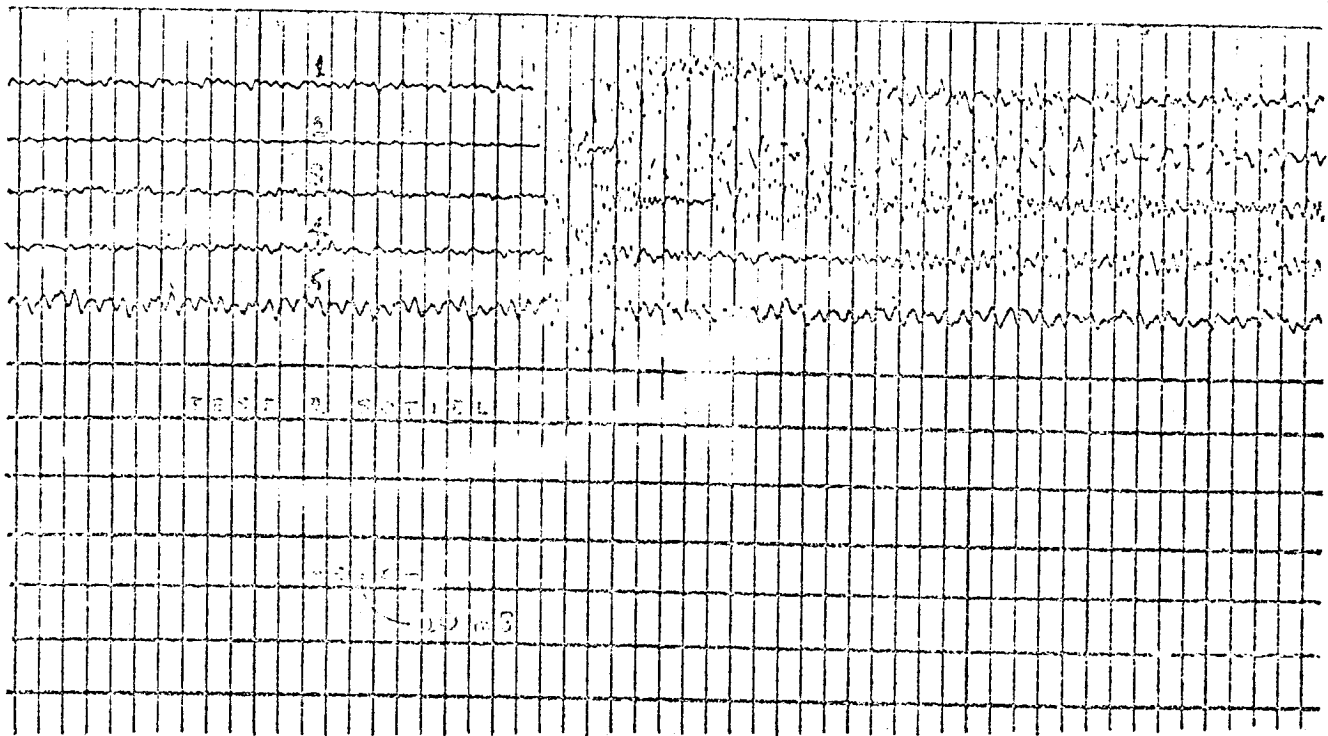
- Ensayo 1
- + Ensayo 2
- Ensayo 3
- △ Ensayo 4

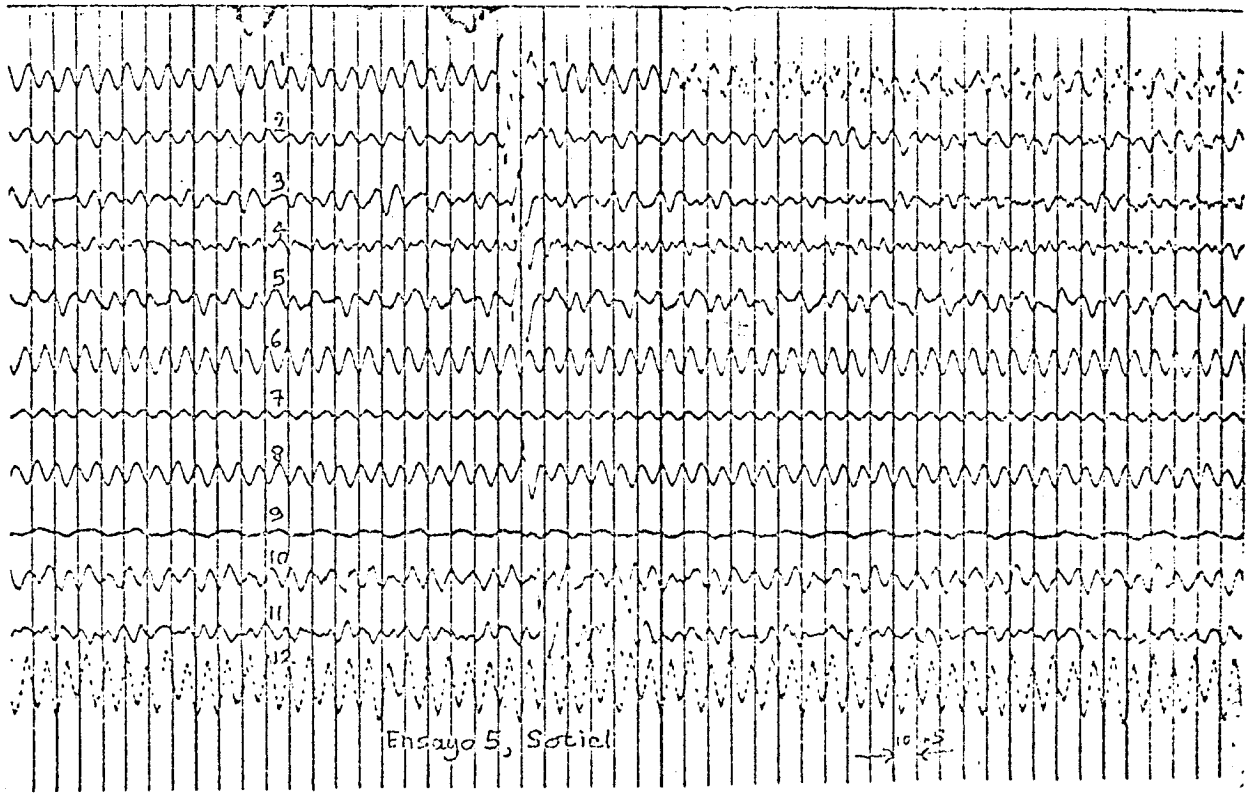
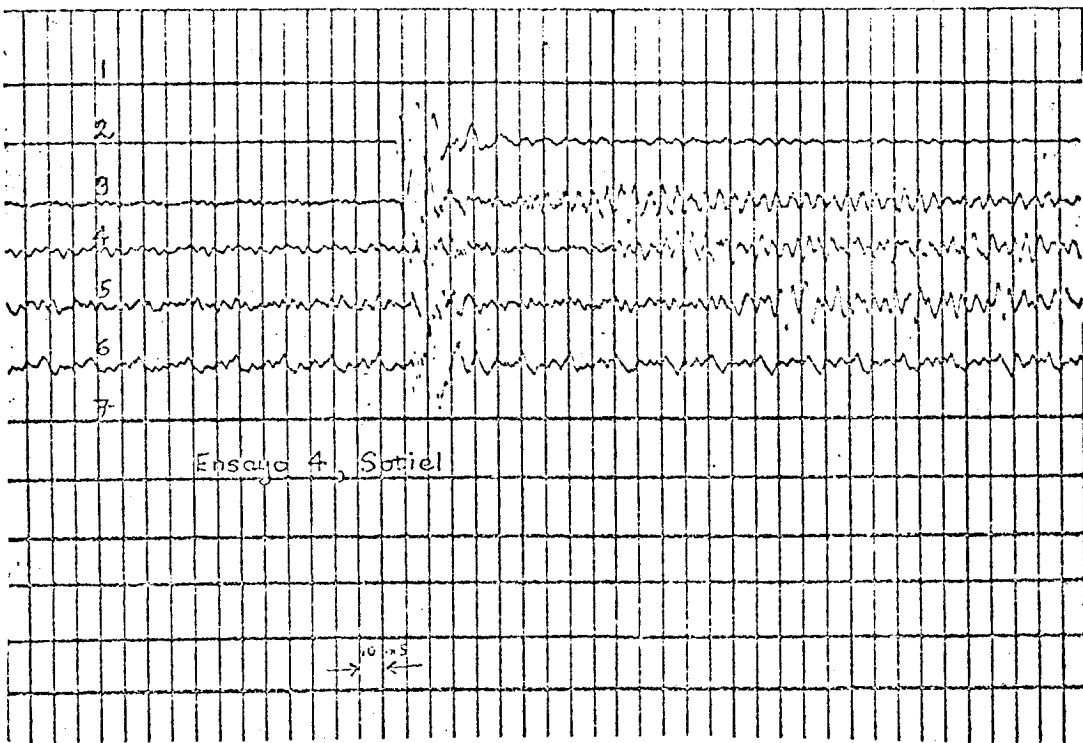
Fig. 3.14



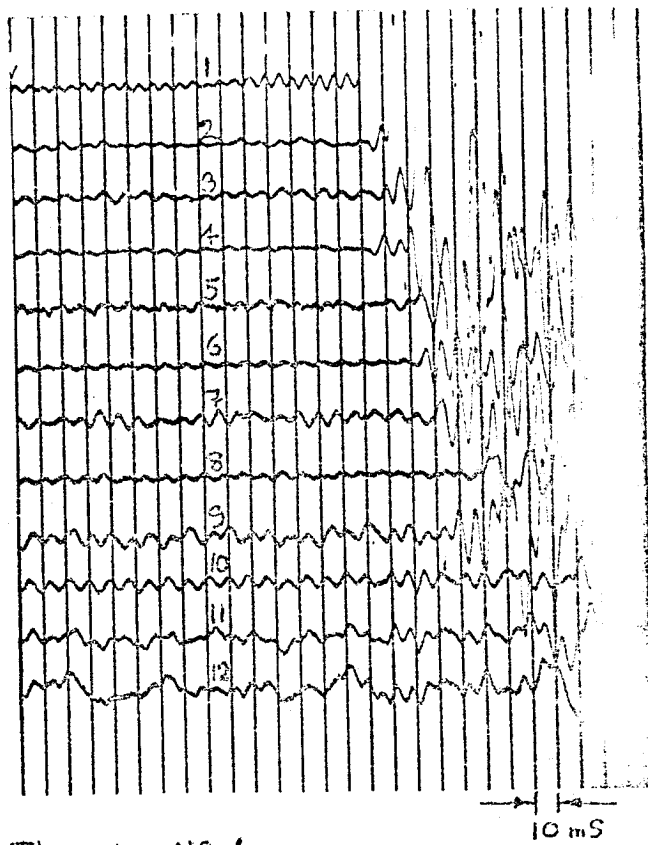
Una investigación más exhaustiva hubiese necesitado establecer valores más precisos para las cts. elásticas, debido a que los factores de alteración anteriormente mencionados necesitarían su completa evaluación.

A P E N D I C E

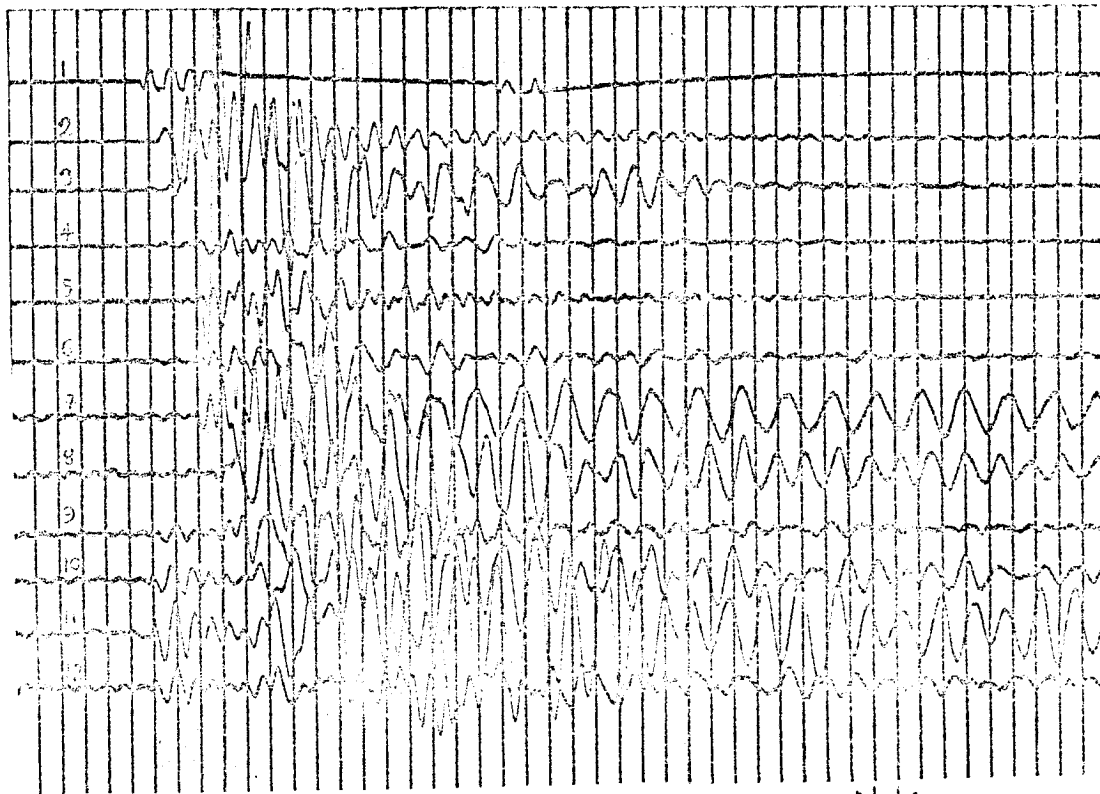




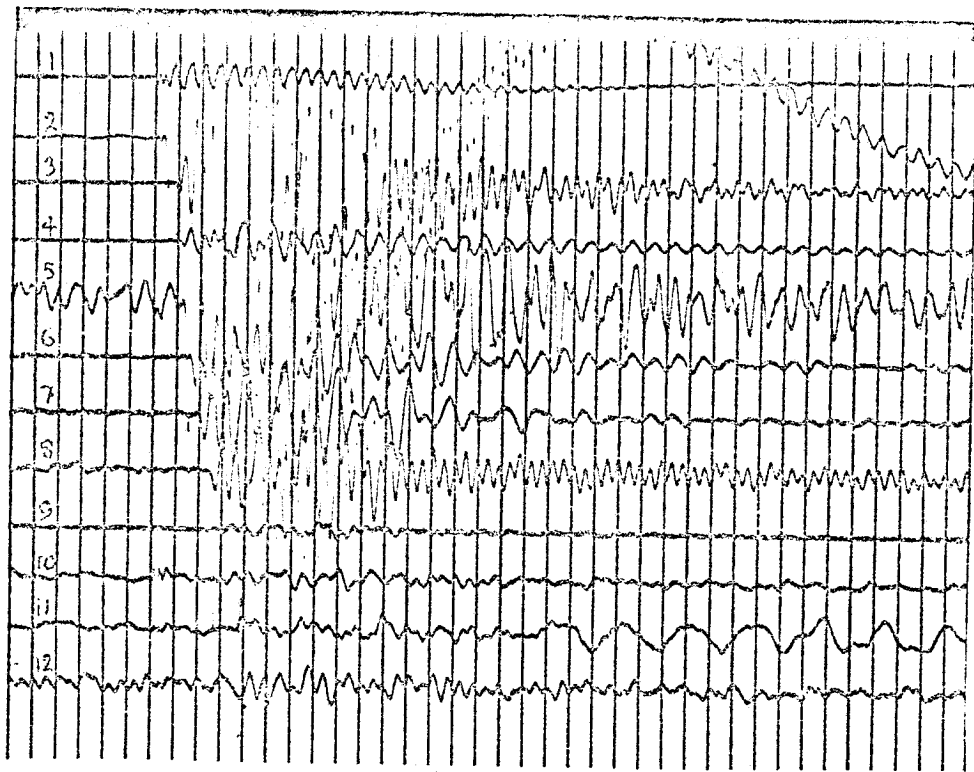




Tharsis, № 1

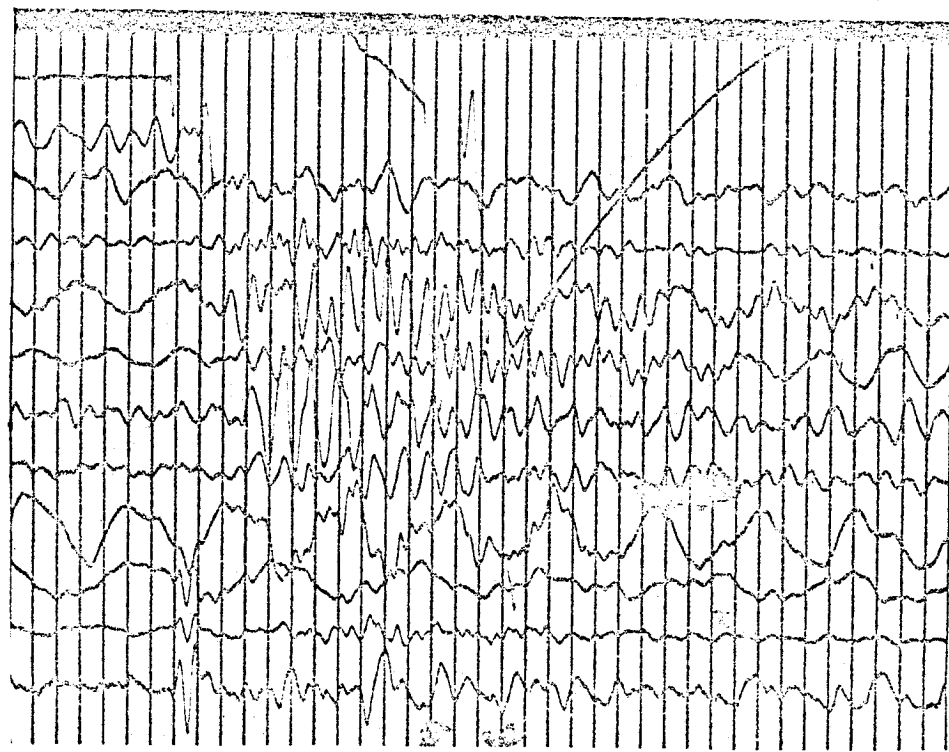


Tharsis, № 2



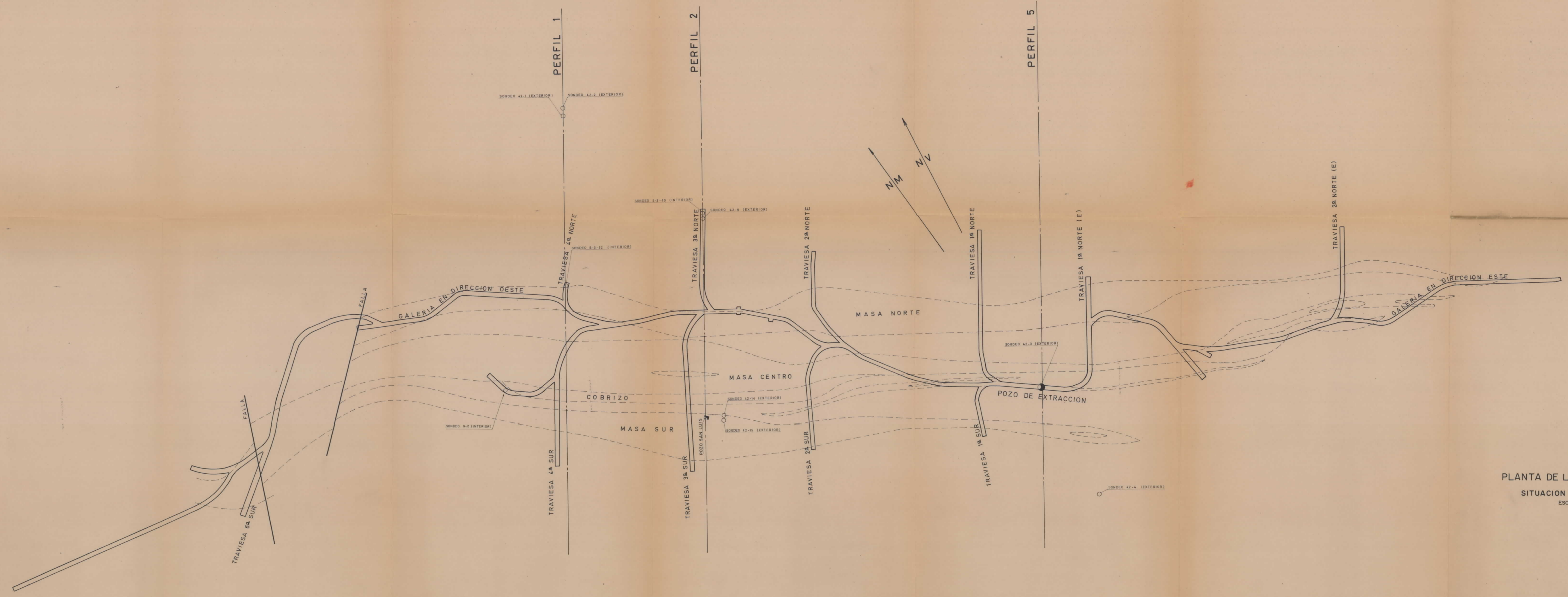
Tharsis, № 3

10ms



Tharsis, № 4

10ms

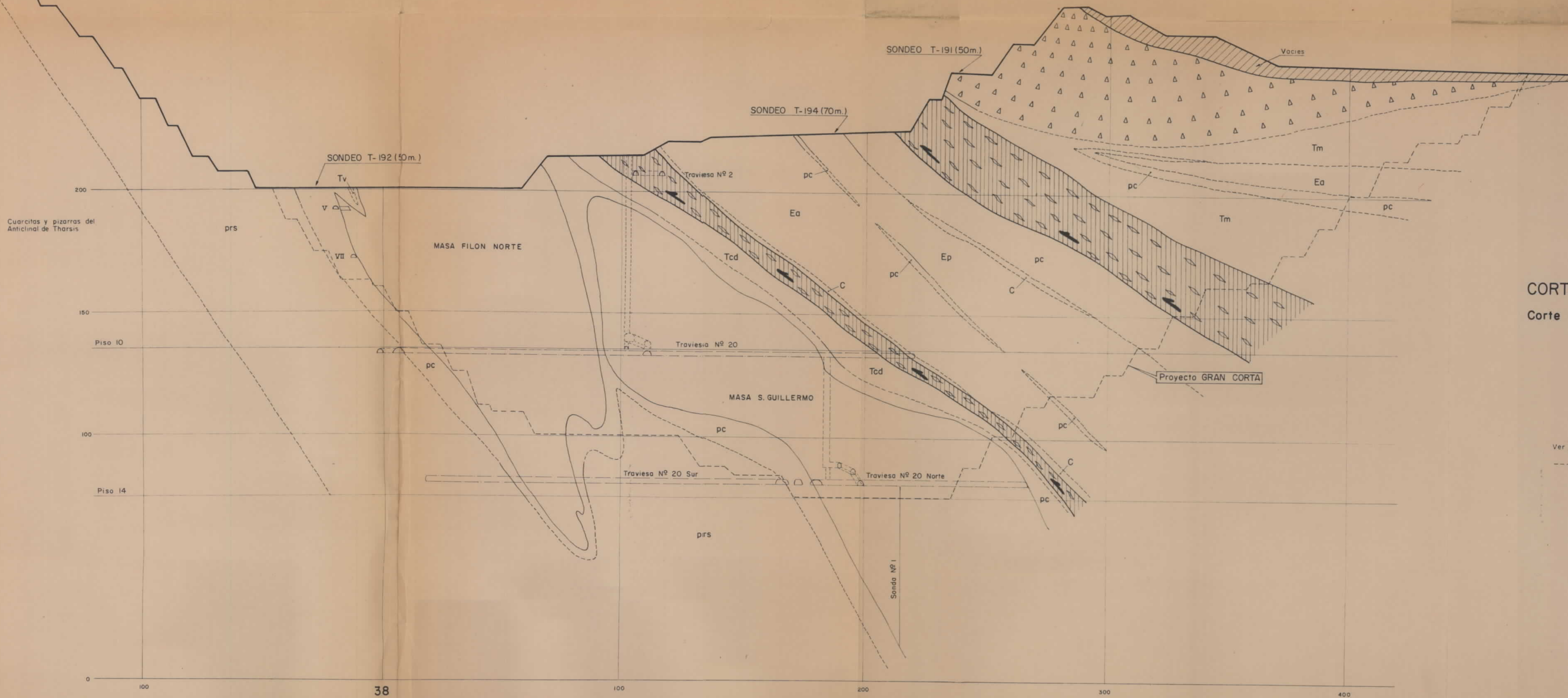


000204

PLANTA DE LA MINA DE SOTIEL

SITUACION DEL SONDEO G-2

ESCALA= 1: 1.000



CORTA DE FILON NORTE  
 Corte geológico - Sección 38  
 Escala 1:1.000



**LEYENDA**

- Ver síntesis geológica
- Contacto probable

000204