

## LA INVESTIGACION SISMICA EN LA CAMOCHA (Gijón)

POR

JOSE GARCIA SIÑERIZ

Vicepresidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas

### ANTECEDENTES HISTORICOS

La competencia, laboriosidad y entusiasmo por la minería de los hermanos Felgueroso, les hizo pensar, al comienzo del siglo actual, en la conveniencia de iniciar los trabajos de reconocimiento de la posible cuenca carbonífera existente debajo de los depósitos triásicos del Sur de Gijón, pertenecientes al tramo superior del sistema, constituido por las margas irisadas o Keuper. Era posible que debajo de esta formación litoral, estuviese la marina del Muschelkalk y aún la inferior, también litoral, de la arenisca abigarrada y que, por consiguiente, la formación hullera estuviese a una profundidad excesiva desde el punto de vista de su explotación industrial. El lugar del emplazamiento de los sondeos de reconocimiento había que elegirlo de tal modo que, en él, los estratos triásicos tuviesen un espesor mínimo. En la zona de la parroquia de San Martín de Huerces la erosión producida por los agentes me-

teóricos ha sido muy intensa; como lo prueba la existencia de las margas irisadas a un nivel mucho más alto, en la falda meridional del cerro «Pico del Sol», recubiertas por las capas liásicas que allí se encuentran en posición horizontal; y por ello, aquella zona estaba muy indicada para practicar un sondeo, cuyo emplazamiento fijó el eminente geólogo Don Lucas Mallada, en el lugar denominado La Camocha y al que se designa con el número uno.

*Sondeo 1.*—El sondeo de La Camocha (1) efectuado el año 1901, tuvo un éxito completo. A los 160 metros cortó el terreno hullero, cuyos estratos tienen una inclinación de más de 65° y están dirigidos de SO al NE, según se ha comprobado posteriormente. En él se encontraron tres capas de carbón; una de ellas de más de un metro de potencia y de buena calidad. Se le terminó a los 287 metros.

El año 1902 se empezó la perforación de un pozo maestro de 3,10 metros de diámetro útil. Son muy conocidas las grandes dificultades que hubo que vencer para desaguar un volumen superior a 200 metros cúbicos por hora, que determinaron hasta el abandono de la obra y el comienzo de un segundo pozo, situado a 1.000 metros de distancia del primero que también fué abandonado.

*Sondeo 2.*—El año 1914, el Instituto Geológico, en colaboración con la Sociedad Felgueroso Hermanos, empezó el sondeo número 2, situado cerca de Caldones. Cortó 330 metros de la formación triásica y a continuación, 234 metros de pizarras y calizas carboníferas, con la dirección NE-SO, ángulo de inclinación muy pequeño y buzamiento NO.

A los 563 metros se produjo un desprendimiento súbito de gases combustibles que inutilizó el material de sondeo por un violento incendio.

Este sondeo y los números 3 y 4 que se practicaron en sus in-

---

(1) Luis Felgueroso Primer Congreso de la Asociación de Ingenieros de Minas del Noroeste de España.—1931.

Fig 1

esquema de La Camocha

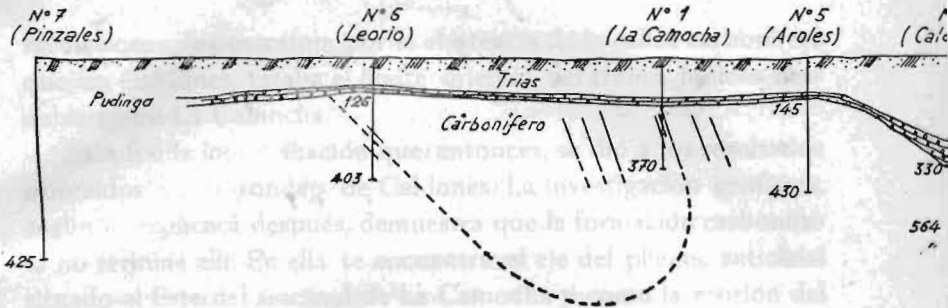


Fig 2

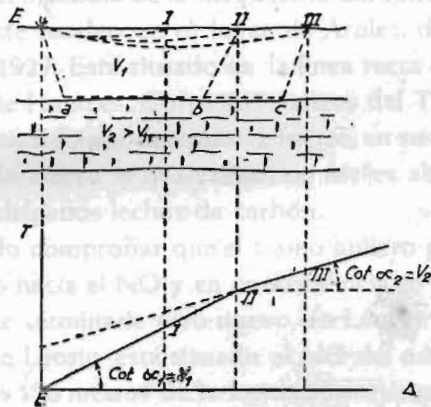
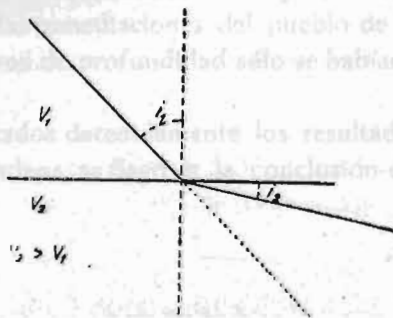


Fig 3



mediaciones demostraron, por la existencia de la caliza carbonífera que, en Caldones, estaba el límite oriental del tramo hullero descubierto en La Camocha.

Esta fué la interpretación que, entonces, se dió a los resultados obtenidos en el sondeo de Caldones. La investigación geofísica, según se explicará después, demuestra que la formación carbonífera no termina allí. En ella se encuentra el eje del pliegue anticlinal situado al Este del sinclinal de La Camocha y como la erosión del período carbonífero, ha suprimido toda la parte superior del pliegue, sólo han quedado los estratos estériles del carbonífero inferior y la caliza de montaña, cortado en el sondeo. Así se explica también la pequeña inclinación de los estratos y la acumulación de los gases que causaron el incendio de la maquinaria del sondeo.

*Sondeo 5.*—Se perforó este sondeo en el lugar de Aroles, de la parroquia de Vega, el año 1929. Está situado en la línea recta que une los de Caldones y el de Huerces. Cortó 145 metros del Trias y 285 de carbonífero, constituido por una pizarra fuerte, en su mayor parte, un conglomerado rojizo y una caliza con fósiles abundantes. A veces aparecían delgados lechos de carbón.

Con este sondeo se pudo comprobar que el tramo hullero productivo debía estar situado hacia el NO y en consecuencia se emboquilló inmediatamente de terminarle otro nuevo, en Leorio.

*Sondeo 6.*— El sondeo de Leorio está situado al NO del número 1. En él sólo se cortaron 126 metros de la formación triásica en la que no existía el conglomerado característico que le sirve de base y 277 del Carbonífero con tres capas de carbón de 0,30, 1,40 y 3 metros de espesor respectivamente y con una inclinación de 50°.

*Sondeo 7.*—En vista del éxito obtenido en Leorio, se trasladó la sonda más al NO, hasta las inmediaciones del pueblo de Pinzales, donde hasta los 425 metros de profundidad sólo se habían atravesado terrenos estériles.

*Pozo Maestro.*—Estudiados detenidamente los resultados obtenidos en los distintos sondeos, se llegó a la conclusión de que el

mejor lugar para la perforación del pozo maestro era el del sondeo La Camocha.

Conocidas las dificultades que había que vencer para pasar la zona acuífera en el primer trabajo realizado el año 1902, se dió comienzo a los nuevos el día 1 de julio de 1930 y se utilizó con éxito completo, el procedimiento de la cementación, no sin vencer, también, grandes obstáculos; llegando a terminar el pozo número 1 que, en el día de hoy, tiene la profundidad de 220 metro; y el número 2, de 370 metros que se emplea para la extracción de unas 300 toneladas diarias de hulla. Actualmente se procede a la construcción de otro pozo que ha de alcanzar la profundidad de 420 metros, para extraer, por él, medio millón de toneladas al año.

Según se indica en el esquema representado en la figura 1 se han cortado 28 capas de carbón, con potencias superiores a 0,85 metros, cada una de ellas. Es la formación que presenta mayor densidad de carbón de todas las conocidas en España.

Al conocer los valores del ángulo de dirección de las capas; del de inclinación; y el sentido del buzamiento, en el pozo de La Camocha y compararlos con los obtenidos en el sondeo de Leorio, se ha podido sentar la hipótesis de la existencia de una estructura sinclinal asimétrica, cuyas ramas se unen a gran profundidad. La galería transversal que se está practicando no tardará mucho en cortar la rama N. O. de ese sinclinal y, en ese caso, debe cortar también las 28 capas de carbón, encontradas en la rama S. E., duplicando el ya extenso campo de explotación.

## ORIGEN DE LA CUENCA

La cuestión del origen de la cuenca carbonífera de La Camocha, ha sido muy debatida. Adaro opina que es de origen simultáneo y común con la de Langreo—lo cual no quiere decir que sea la prolongación de la misma—aunque reconoce que pueden presentarse hiladas del Hullero superior.

Mallada, que sólo encontró un fósil clasificable en el sondeo

número 1, creyó, por el contrario, que pertenecía al Hullero superior.

Patac opina que es una cuenca estefaniense, completamente separada de la central.

Otros notables geólogos han emitido las más diversas opiniones, sin que, hasta ahora, les haya sido posible llegar a un acuerdo.

Una opinión muy digna de tenerse en cuenta es la de D. Secundino Felgueroso quien afirma, con arreglo a los datos obtenidos en la galería transversal practicada en el pozo de La Camocha que allí se han cortado, primeramente, el grupo de capas, llamado Las Generales, que como se sabe, están situadas en la parte alta del carbonífero inferior o pobre; después se cortaron las de San Antonio, Angelita, grupo de María Luisa, Sotón, etc., que constituyen el tramo inframedio o rico; llegando así al eje del pliegue sinclinal a partir del cual se espera volver a encontrar todas las capas mencionadas.

Con arreglo a estos datos, a los resultados de los sondeos y al estudio general de la cuenca, el carbonífero de La Camocha, creemos nosotros que contiene: el inframedio; el inferior y la caliza de montaña. Faltan completamente el supremedio y el superior.

Durán y Fernández (1) publicaron el año 1914, un corte estratigráfico detallado del Sistema Carbonífero de Asturias, en su cuenca central, hecho por Adaro, que coincide con los resultados presentados por Felgueroso.

El Instituto Geológico y Minero de España se ocupa ahora de esta importante cuestión, con el deseo de encontrar un abundante material de la flora fósil clasificable, que le permita opinar de una manera definitiva.



---

(1) Atlas geológico y topográfico de la provincia de Oviedo, por M. Durán y J. Fernández. Lámina X (1914)—(con los estudios de Schultz, Barrois y Adaro).—

Los antecedentes anteriores resumen todo lo que se conoce respecto a la cuenca carbonífera de «La Camocha». Por la gran importancia que, para la economía nacional, tiene la existencia de una cuenca carbonífera en las inmediaciones del puerto del Musel, es preciso estudiarla y reconocerla con la mayor rapidez posible y para ello está muy indicado ejecutar una investigación geofísica por el método sísmico de prospección que nos dé a conocer la profundidad de la formación carbonífera, considerada en conjunto, debajo de las más modernas que la ocultan, como objetivo más inmediato y después, si es posible, suministre indicaciones que permitan reconstituir su tectónica y como consecuencia, la continuación del sinclinal conocido y la posibilidad de existencia de nuevos senos hulleros productivos.

Una vez terminado este estudio previo, bastará un pequeño número de sondeos, cuyo presupuesto podrá ser calculado, de antemano, por conocer la profundidad que tienen que alcanzar para comprobar los resultados obtenidos en aquél, o en su caso, servir de base para modificar alguna de las interpretaciones efectuadas y llegar a un conocimiento seguro y completo del problema planteado.

El método sísmico de prospección está muy indicado para la resolución del problema propuesto. Los sedimentos triásicos están en posición horizontal y en su base existe una capa de pudinga que se caracterizarán por su constante de velocidad sísmica, con toda claridad y que podremos considerar como un horizonte guía u *horizonte maestro*.

La formación carbonífera está plegada en la dirección SO—NE. Si se efectúan los perfiles sísmicos en esa dirección, obtendremos, unas veces, la constante sísmica correspondiente al tramo productivo; otras, la del inferior o pobre y también se encontrará la de la caliza carbonífera.

Se podrá emitir opinión, por consiguiente, sobre la constitución tectónica de aquélla y delimitar los pliegues sinclinales en que se encuentran los tramos productivos que buscamos.

## FUNDAMENTO DEL METODO

El empleo de los métodos sísmicos de investigación del subsuelo se funda en la medición de la velocidad de propagación de las ondas elásticas artificiales, a través de las distintas capas que le constituyen.

Cada grupo de rocas está caracterizado por una cierta velocidad de propagación de las ondas sísmicas, independiente de su edad geológica, aunque generalmente aumenta con ella.

Las investigaciones de Mohorovicic y Gutenberg (1) han puesto de manifiesto que a pequeñas distancias epicentrales, se registran dos clases de ondas longitudinales a la llegada del movimiento sísmico: las P, llamadas individuales, que se propongan por la superficie del suelo, en el caso de sismos producidos artificialmente, por medio de explosiones y van directamente desde el foco E a las estaciones I, II, III, etc. (Fig. 2) sin experimentar refracción alguna y las ondas normales  $\mathcal{P}$  que del epicentro se dirigen a la superficie de discontinuidad de los estratos, sufren en ella dos refracciones en a y b y después se remontan a la superficie exterior. El instante de la llegada de ambas clases de ondas al sismógrafo depende de la profundidad de los estratos, de la velocidad de propagación a través de los mismos y de la distancia epicentral elegida. Estas magnitudes se relacionan entre sí por medio de las curvas dromocrónicas, construídas por puntos en un sistema de ejes coordenados rectangulares, cuyas abcisas sean las distancias epicentrales, correspondientes a cada situación de los sismógrafos y cuyas ordenadas sean los tiempos de recorrido del rayo sísmico, al llegar a cada uno de ellos.

---

(1) A. Mohorovicic. Jahrbuch des meteorologischen Observatoriums in Zagreb.

B. Gutenberg. Neue Auswertung der Aufzeichnungen der Erdbibebenwallen, infolge der Explosion v. Oppen—Phys. Zeit—1925.



Supongamos, fig. 2, (") una capa exterior en que la velocidad de propagación de las ondas es  $V_1$ , y otra inferior a la que corresponde el valor  $V_2 > V_1$ .

Si el sismógrafo I, está bastante cerca de la estación, la onda directa EI llegará antes que la reflejada; y mientras esto suceda, la velocidad de propagación  $V_1$ , aparecerá constante y su representación gráfica en la curva dromocrónica será la resta EI II que forma con el eje de las X, el ángulo  $\alpha_1$ . Para una cierta distancia epicentral, por ejemplo E II, el rayo sísmico reflejado E a B II, tardará en llegar al sismógrafo el mismo tiempo que el directo E I II, puesto que la velocidad media del primero aumenta con el recorrido ab a la velocidad  $V_2$ . A partir de esa distancia epicentral, el rayo reflejado llegará siempre primero, y a una cierta distancia, por ejemplo, la de la estación III, la velocidad será, sensiblemente, igual a  $V_2$ . El trozo correspondiente de la curva, será la línea II III, que forma con el eje de las distancias el ángulo  $\alpha_2$ . En el punto II, se presenta el codo de la curva, determinado por la construcción gráfica y sus coordenadas son uno de los datos que se necesitan para el cálculo de la profundidad de la capa de velocidad sísmica  $V_2$ . El dato restante es la velocidad de propagación de las ondas que le suministra también la curva dromocrónica, puesto que  $V_1 = \cot \alpha_1$  y  $V_2 = \cot \alpha_2$ .

Siguiendo los razonamientos y cálculos expuestos en mis obras ya citadas se obtienen las fórmulas siguientes para la profundidad de la capa geológica de velocidad  $V_2$ ,

$$h = \frac{t}{2} \frac{V_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}} \quad \text{en función del}$$

(") Los Métodos geofísicos de prospección por José G. Siñeriz, 1928.

La Interpretación geológica de las modiciones geofísicas, ídem. 1934. Tomo 1.°

La ídem ídem ídem ídem, 1940. Tomo 2.°

tiempo  $t$ , correspondiente a  $\Delta = 0$ , es decir, el interceptado en el eje por la prolongación del lado de la dromocrónica II III y

$$h = \frac{\Delta}{2} \sqrt{\frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2}} \text{ en función de la}$$

distancia epicentral del codo de la dromocrónica.

La aplicación de estas fórmulas exige que las velocidades sísmicas  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  vayan aumentando hacia abajo.

Sino sucede así el rayo refractado no puede llegar al exterior. Las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, están relacionadas con los ángulos de incidencia y de refracción  $i_1$ , e  $i_2$ , por la expresión

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\text{Sen } i_1}{\text{Sen } i_2}$$

Si  $V_2$  es menor que  $V_1$ ,  $i_2$  es también menor que  $i_1$  y el rayo refractado se aproxima a la normal a la superficie de separación de los dos medios en el punto O (Fig. 3) y nunca podrá llegar al exterior.

Entonces es preciso admitir la teoría llamada del rayo normal (1) y aplicar la fórmula correspondiente.

$$h = \frac{\Delta}{2} \left( 1 - \frac{V_n}{V_n + 1} \right) = K$$

siendo  $\Delta$  la distancia epicentral del sismógrafo. Al factor K le hemos dado el nombre de *factor de multiplicación*. Si se dispone de los resultados obtenidos en un sondeo, se le determina directamente y entonces, los valores deducidos son muy satisfactorios. Cuando no sucede así, se consideran los valores medios de  $V_n$  y  $V_n + 1$ .

Si  $V_2$  es mayor que  $V_1$ , llegan al sismógrafo, tanto el rayo re-

(1) La interpretación geológica de las mediciones geofísicas Tomo 1.º página 29—por José G. Siñeriz.—

fractando como el normal, el primero es el más rápido y el segundo; el de mayor intensidad. He ahí la necesidad de efectuar explosiones muy potentes, para evitar el error de tomar el segundo por el primero, cuando éste no se marque, con claridad, el el sismograma.

### LINEA SISMICA EN EL SONDEO DE AROLES

Para conocer el valor de la constante de profundización, hemos utilizado los resultados obtenidos en todos los sondeos mecánicos efectuados. Describiremos, como ejemplo, el perfil sísmico efectuado en el llamado de Aroles.

En él, la sonda cortó, según se indica gráficamente en la lámina I, un grupo de capas margosas, hasta la profunnidad de 37 metros; de arenisca roja hasta los 60; de calizas hasta los 86; un nuevo paquete de areniscas rojas, hasta los 127; la capa característica del conglomerado triásico, hasta los 145 y las margas situadas en el contacto con la formación carbonífera, hasta los 168 metros.

El valor de K resulta:

$$K = \frac{145}{700} = 0,21$$

El promedio obtenido entre todos los sondeos ha sido  $K = 0,23$  que es el que aceptaremos para los cálculos.

El trabajo de investigación en curso, comprende ya 20 líneas sísmicas cuyos resultados estudiamos para efectuar su interpretación. Aún serán precisas muchas más, para darle por terminado. Como ejemplo de este estudio, presentaremos el de la línea I, efectuada en el sondeo de Aroles, que ya hemos mencionado.

El barreno de la línea I, se ha situado a 100 metros al Sur del sondeo denominado Aroles y a un kilómetro, próximamente, al Este del pozo número 1 de La Camocha. Las estaciones avanzan de 100 en 100 m. en sentido O-10°S hasta una longitud de 1.400 m. Hubo que prescindir, sin embargo, de las 5 últimas posiciones,

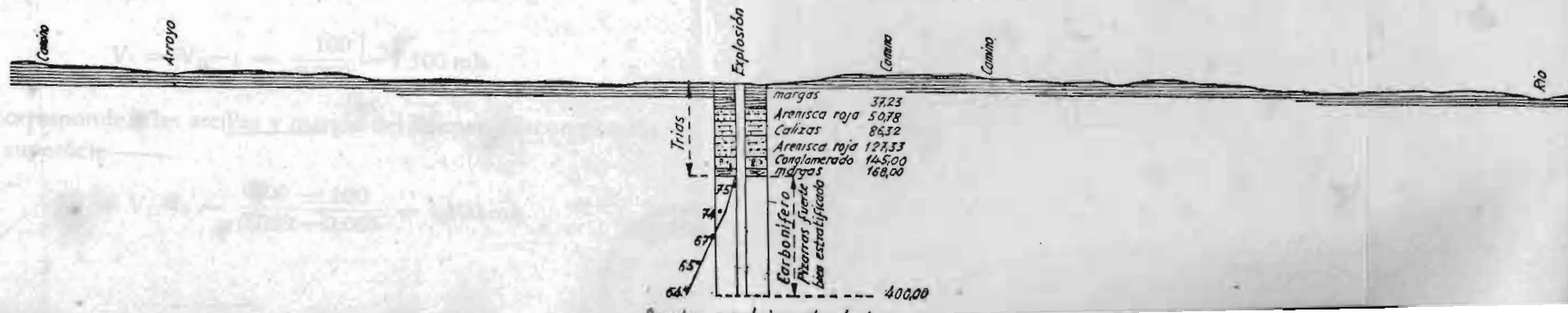
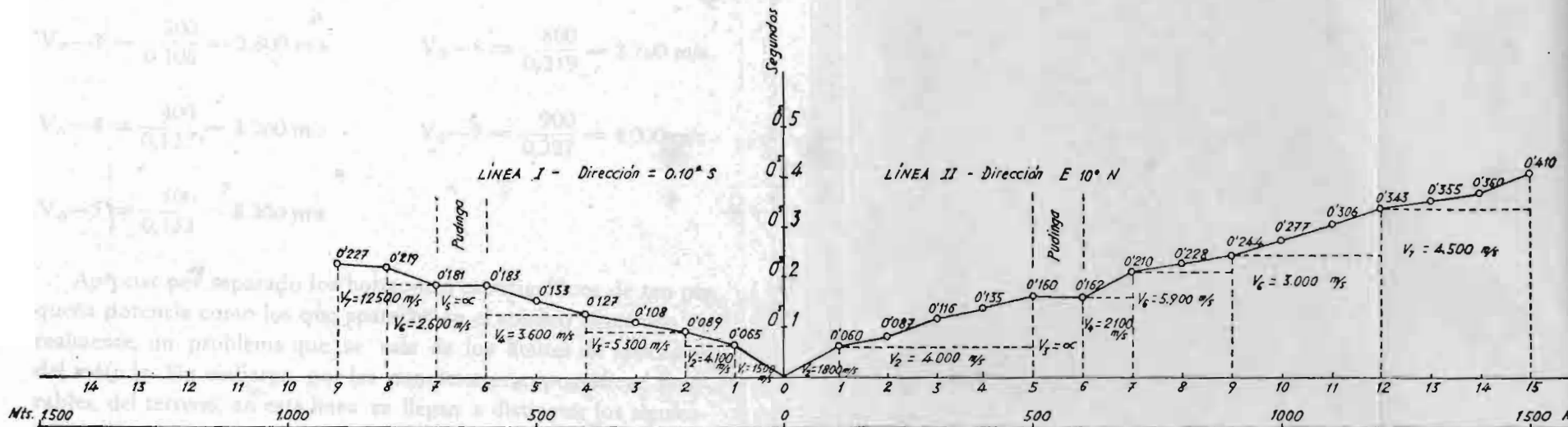
# INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CAMOCHA (GIJÓN)

Línea dromocrónica Nº 1-II

por

José G. Sineriz

Escalas { Para la dromocrónica { Distancias 1:10.000  
 { Para el perfil - { Tiempos 1 cm = 0,1 segundos  
 { Distancias y altura = 1:10.000



por ser imposible su observación a causa de la trepidación de las instalaciones mecánicas de la mina.

Los resultados obtenidos del cálculo de los sismogramas se han traducido en la línea dromocrónica número I. Las velocidades medias desde el barreno a cada una de las estaciones han sido las siguientes:

$$V_{o-1} = \frac{100}{0,065} = 1.500 \text{ m/s} \quad V_{o-6} = \frac{600}{0,183} = 3.300 \text{ m/s}$$

$$V_{o-2} = \frac{200}{0,089} = 2.300 \text{ m/s} \quad V_{o-7} = \frac{700}{0,181} = 3.900 \text{ m/s}$$

$$V_{o-3} = \frac{300}{0,108} = 2.800 \text{ m/s} \quad V_{o-8} = \frac{800}{0,219} = 3.700 \text{ m/s}$$

$$V_{o-4} = \frac{400}{0,127} = 3.200 \text{ m/s} \quad V_{o-9} = \frac{900}{0,227} = 4.000 \text{ m/s}$$

$$V_{o-5} = \frac{500}{0,153} = 3.300 \text{ m/s}$$

Apreciar por separado los horizontes estratigráficos de tan pequeña potencia como los que aparecen en el sondeo mecánico es, realmente, un problema que se sale de los límites de aplicación del método. Sin embargo, por las condiciones topográficas, favorables, del terreno, en esta línea se llegan a distinguir los siguientes grupos de capas:

$$V_1 = V_{o-1} = \frac{100}{0,060} = 1.500 \text{ m/s}$$

que corresponde a las arcillas y margas del Keuper, descompuestas en la superficie

$$V_2 = V_{1-2} = \frac{200 - 100}{0,089 - 0,065} = 4.100 \text{ m/s}$$



representa la constante sísmica de las primeras areniscas.

$$V_3 = V_{2-4} = \frac{400 - 200}{0,127 - 0,089} = 5.300 \text{ m/s}$$

la del tramo de calizas.

$$V_4 = V_{4-6} = \frac{600 - 400}{0,183 - 0,127} = 3.600 \text{ m/s}$$

la del segundo horizonte de areniscas.

$V_5 = V_{6-7} = \infty$ , la de la capa de pudinga, base del Trias, que por ser cuarzosa y muy compacta se manifiesta con una gran velocidad aparentemente, igual a infinito.

En la estación 8 aparece una gran disminución de la constante sísmica, que resulta:

$$V_6 = V_{7-8} = \frac{700 - 600}{0,219 - 0,181} = 2.600 \text{ m/s}$$

El valor pequeño encontrado está producido por el mismo efecto que acabamos de explicar para el horizonte de la pudinga, pero en sentido contrario.

La siguiente alineación indica, por su alto valor, que el rayo sísmico recorre los estratos carboníferos.

$$V_7 = V_{8-9} = \frac{900 - 800}{0,227 - 0,219} = 12.500 \text{ m/s}$$

La velocidad sísmica, aparente, igual a infinito, encontrada para la pudinga, que constituye la base del Trias, es tan característica que esta formación constituye el *horizonte maestro*, que nos ha de servir en lo sucesivo para conocer la profundidad a que se encuentra la formación carbonífera en cada lugar.

La constante K (1) para el cálculo de profundidades no es la misma cuando el rayo sísmico pasa de las arcillas superficiales a las areniscas duras o a las calizas, que a partir de éstas, por ser más pequeñas las diferencias de velocidad. Por consiguiente aplicaremos para el primer horizonte el valor.

$$K = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_2 - V_1}{V_2 - V_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4.100 - 1.500}{4.100 - 1.500} = 0,34$$

Así resultan las areniscas a una profundidad teórica de

$$100 \times 0,34 = 34 \text{ m.}$$

En el sondeo mecánico aparecen a 37 m. con 3 m. de diferencia.

A partir de este punto tomaremos para el valor de K el que resulta de comparar la profundidad real, obtenida en el sondeo, con las distancias epicentrales en la línea I y en su contralínea, la II. Para el horizonte maestro, constituido por la pudinga, que se caracteriza por la constante sísmica aparente, igual a infinito, es de 600 metros en la línea, y en la II de 500 m., luego la media es de 550 m.

Como el valor obtenido es el sondeo para la profundidad de la pudinga es de 127,33 metros, la constante de profundización será:

$$K = \frac{127,33}{550} = 0,23$$

valor que aplicaremos en adelante para todos los horizontes, a excepción del primero.

Así resulta, para la profundidad de la capa caliza.

$$200 \times 0,23 = 46 \text{ metros.}$$

(1) La interpretación geológica de las mediciones geofísicas. Tomo 1. José García Siñeriz.

En el sondeo mecánico aparece, a los 59,38 metros, luego hay una diferencia de 13,78 metros.

Las areniscas se manifiestan a  $400 \times 0,23 = 92$  metros contra 86,32 m. en el sondeo, por lo tanto con un error de 5,68 m. y la pudinga, aplicando esta constante media obtenida a  $600 \times 0,23 = 138$  metros contra 127,33 metros en el sondeo, con un error de 10,66 metros.

Su muro resulta a  $700 \times 0,23 = 151$  m. con una diferencia de 5 metros con relación a aquél.

Teniendo en cuenta que los receptores se colocan de 100 en 100, el límite de apreciación del método es, próximamente, de unos 23 m.; luego los resultados obtenidos concuerdan sensiblemente con los conseguidos en el sondeo.

Además, los valores obtenidos para las profundidades por el método sísmico; son un promedio de las existentes entre los diferentes puntos del horizonte considerado, en los alrededores de la vertical del lugar de los barrenos y pueden suministrar un dato de mayor valor relativo que el obtenido en un taladro mecánico, que sólo indica la profundidad buscada en un círculo de muy pocas pulgadas de diámetro.

Termino la breve reseña del plan de la investigación que realizamos en la zona de La Camocha, dando a todos las más expresivas gracias por la atención de haberme escuchado, y muy especialmente al Excmo. Sr. Vice-Rector Don Enrique de Eguren, por las amables palabras e inmerecidos elogios que me dedicó al comenzar esta conferencia.

Tengo que testimoniar también la satisfacción que me produce la importantísima contribución de esta Universidad, a la labor del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, con la realización del programa de notables conferencias organizado en el IV Curso de Verano y II para extranjeros, cumpliendo así las consignas de su presidente y Ministro de Educación Nacional Excelentísimo Sr. D. José Ibañez Martín, nervio y motor de aquél.

¡Arriba España! ¡Viva Franco!