

MEMORIAS
DEL
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

XL

LA INTERPRETACIÓN GEOOLÓGICA
DE LAS
MEDICIONES GEOFÍSICAS
APLICADAS A LA PROSPECCIÓN

POR

550.341:550.8

JOSÉ G. SIÑERIZ

INGENIERO DE MINAS E INGENIERO GEÓGRAFO, VOCAL DEL INSTITUTO
GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, VOCAL DEL COMITÉ NACIONAL
DE GEODESIA Y GEOFÍSICA
PRESIDENT OF THE INTERNATIONAL COMMISSION OF GEOPHYSICS

CON UN PRÓLOGO

DEL

EXCMO. SR. D. LUIS DE LA PEÑA
DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA



MADRID
TIP. Y LIT. COULLAUT
MARÍA DE MOLINA, 106
1923

El Instituto Geológico y Minero de España hace presente que las opiniones y hechos consignados en sus MEMORIAS y BOLETÍN, son de la exclusiva responsabilidad de los autores de los trabajos.

ES PROPIEDAD

Queda hecho el depósito que marca la Ley.
Reservados todos los derechos, incluso el de traducción a lenguas extranjeras.

PERSONAL DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

| | |
|-----------------------------------|--|
| <i>Director</i> | Excmo. Sr. D. Luis de la Peña. |
| <i>Sub-Director</i> | Sr. D. Primitivo Hernández Sampelayo. |
| <i>Vocales</i> | Sr. D. Alfonso Fernández y M. Valdés. |
| — | Sr. D. Manuel Sancho Gala. |
| — | Sr. D. Manuel Ruiz Falcó. |
| — | Sr. D. Agustín Marín y Bertrán de Lis. |
| — | Sr. D. Augusto de Gálvez-Cañero. |
| — | Sr. D. Alfonso del Valle de Lersundi. |
| — | Sr. D. José de Gorostízaga. |
| — | Sr. D. José García Siñeriz. |
| — | Sr. D. Enrique Dupuy de Lôme. |
| — | Sr. D. Juan Gavala. |
| — | Sr. D. Diego Templado Martínez. |
| — | Sr. D. Alfonso de Alvarado. |
| — | Sr. D. Joaquín Mendizábal. |
| — | Sr. D. Javier Miláns del Bosch. |
| — | Sr. D. Enrique Rubio. |
| — | Sr. D. Manuel de Cincúnegui. |
| <i>Secretario</i> | Sr. D. Javier Bordfú Prat. |
| <i>Vicesecretario</i> | Sr. D. Miguel Moya y Gastón. |
| <i>Ingeniero agregado</i> | Sr. D. Agustín de Larragán. |
| <i>Ingeniero auxiliar</i> | Sr. D. José Meseguer Pardo. |
| <i>Ingenieros Ayudantes</i> | Sr. D. Antonio de Larrauri Mercadillo. |
| — | Sr. D. Manuel Pastor Mendivil. |
| — | Sr. D. Ricardo Madariaga Rojo. |
| — | Sr. D. Carlos Orti Serrano. |
| — | Sr. D. José Cantos Saiz de Carlos. |

PROFESORES DE LA ESCUELA ESPECIAL DE INGENIEROS DE MINAS AFECTOS A ESTE INSTITUTO

| | |
|------------------------------------|---|
| <i>Profesor de Geología</i> | Excmo. Sr. D. Pedro de Novo y Chicarro. |
| — <i>de Paleontología</i> | Sr. D. Luis Jordana. |
| — <i>de Mineralogía</i> | Sr. D. Antonio Baselga Recarte. |
| -- <i>de Química analítica</i> ... | Sr. D. Laureano Menéndez Puget. |

PRÓLOGO

Dado el gran interés que tienen todas las investigaciones geofísicas, de indudable valor en los reconocimientos del subsuelo y de aplicación cada día mayor, el Director, que hace estas notas, ha creído conveniente recopilar adecuadamente los resultados de los estudios geofísicos principales hechos por el Instituto, encargando al Sr. Siñeriz la redacción de este trabajo, al cual ha dado cumplimiento con la fe y entusiasmo científico que constituye su característica esencial, publicando el interesante volumen que viene a formar parte de la colección de Memorias del Instituto y es el complemento debido al Estudio General de los «Métodos geofísicos», que ha despertado interés considerable, agotándose rápidamente, por lo cual esta Dirección se propone encargar a su autor una nueva edición, poniendo al día su excelente obra.

Antes de entrar en las observaciones que me sugiere la lectura del nuevo libro del Sr. Siñeriz, creo conveniente hacer conocer al lector la organización que el Instituto ha dado a esta sección de investigaciones geofísicas que funciona con verdadera autonomía y dedica toda la

actividad de los valiosos elementos que la forman al estudio de este género de problemas, con los que se ha conseguido realizar un conjunto de extraordinario valor, intensamente especializado y del mayor efecto práctico, que trabaja casi la mitad del año en el campo y forma un conjunto armónico del que resulta el gran rendimiento de su actuación.

Al frente de la Sección figura el Sr. Siñeriz, Ingeniero de Minas de gran cultura técnica y especializado de tal modo en los estudios geofísicos que, tanto en España como en el extranjero, es reconocido su profundo mérito. Basta, a este efecto, señalar que ha obtenido en España la mayor recompensa técnica a que puede aspirar un ingeniero al otorgarle la Academia de Ciencias la medalla de oro, y en el extranjero se ha hecho expreso reconocimiento de su capacidad técnica nombrándole presidente de la Comisión Internacional de Geofísica.

Los ingenieros Sres. Cantos, Orti y Pastor, que le acompañan en sus trabajos tienen, a la par que todos los entusiasmos de la juventud, bases científicas firmes y son auxiliares del mayor mérito, especializándose en esta clase de estudios con gran rapidez y realizándolos con el mayor cuidado. El ayudante que forma parte integrante de la Comisión, Sr. Targhetta, es su complemento natural auxiliándola firmemente con sus conocimientos y prácticas geológicas, topográficas y artísticas. La Sección dispone de todos los elementos auxiliares precisos, constituyendo una entidad completa para la realización de todos los trabajos.

Con tales elementos no es extraño se terminen tan satisfactoriamente los interesantes trabajos que el Instituto les encarga, que se resumen y condensan en el volumen del Sr. Siñeriz, respecto del cual voy a exponer al-

gunas ligeras consideraciones que su lectura me sugiere, llamando la atención del lector sobre sus más especiales características.

La obra consta de dos partes, divididas en 15 capítulos. En la primera, se trata únicamente de la interpretación geológica de las mediciones sísmicas y en la segunda, se combina esta interpretación con las de las mediciones gravimétricas.

Los tres primeros capítulos se refieren a la teoría y fórmulas empleadas en la prospección, así como a la interpretación geológica de los resultados de las mediciones.

El primero contiene un resumen de la teoría de la prospección sísmica ya expuesta en la obra anterior, a la que se agrega la ideada por el autor (págs. 12, 13, 14 y 15) para explicar la posibilidad de la determinación de un horizonte geológico situado debajo de otro de mayor velocidad sísmica, cosa que se consideraba imposible hasta ahora. Explica el ejemplo de las Salinas de Pamplona, donde se han podido caracterizar por su velocidad sísmica dos horizontes de margas, situados el uno sobre la capa de sal y el otro bajo la misma. Como el primero pertenece al Oligoceno y el segundo al Eoceno, se ha podido efectuar su clasificación geológica, exclusivamente por las mediciones sísmicas. Este sistema de clasificación se ha aplicado después en la concesión minera «Elorz» (capítulo IX) con éxito completo, comprobado por medio de tres sondeos.

El capítulo II, referente a los aparatos empleados en la prospección sísmica, presenta como novedad el procedimiento del autor para registrar el instante de la explosión, con el que se ha conseguido que no falle ni un solo barrenado en varios centenares de explosiones. Este sis-

tema evita los grandes peligros que corre el personal al tener que volver a cebar un barreno cargado con grandes cantidades de dinamita, a más del tiempo perdido en todos los casos y de la dinamita en muchos de ellos (páginas 53, 54, 55, 56 y 57).

El capítulo III, amplía mucho las ideas expuestas en «Los métodos geofísicos de prospección». Expone un método sencillísimo (pág. 70) para encontrar las profundidades aproximadas de los estratos del subsuelo, descubierto por el autor en la práctica de numerosas investigaciones, por medio de un factor al que llama *coeficiente de profundización*.

También se describen en este capítulo las fórmulas y métodos gráficos para construir el perfil del subsuelo, por medio de los datos sísmicos.

En el capítulo IV empieza la parte de aplicación, propiamente dicha, con la investigación de la zona potásica de Callús.

Esta investigación consta de siete líneas sísmicas de cinco kilómetros de longitud cada una, en las que se han observado 90 estaciones. Después de un breve prólogo, expone una descripción geológica y geográfica de la zona, que sirve para trazar el plan de la investigación. A continuación se describen minuciosamente todas las mediciones efectuadas, así como su interpretación geológica, exponiendo los resultados encontrados.

El capítulo V se ocupa de la investigación de la cuenca potásica de Suria. Como el anterior, y todos los siguientes, empieza por el estudio geológico de la cuenca, como base de la investigación sísmica, que divide en dos partes, denominadas por los pueblos más importantes que se encuentran en ellas, zona de Balsareny y zona de Suria, respectivamente. Consta de 11 líneas sísmicas que

constituyen un total de 37 kilómetros, con 81 estaciones.

Como el lecho salino no era completamente horizontal, se ha ideado por el autor un sistema de interpretación por aproximaciones sucesivas, que se expone en las líneas IX (páginas 135-140) y I (páginas 147-150). Después de terminado este trabajo se ha comprobado por dos sondeos, uno en Sallent y otro en el torrente de Castellnou (página 164).

La investigación efectuada fué remitida por la Sociedad «Fodina» a informe de la Universidad de Berlín, y tuvimos el honor de que el Sr. Ministro de Fomento comunicase al Sr. Director del Instituto que en aquél se declaraba que el trabajo efectuado por el Instituto Geológico de España era el mejor que se había hecho en el mundo y que se adoptaba de texto para la enseñanza del método sísmico en aquella Universidad.

El capítulo VI trata de la investigación en la zona potásica de Sallent. Consta de nueve líneas sísmicas, con 119 estaciones.

Por ser mucho menor la profundidad de la sal que en las investigaciones anteriores, ha sido preciso disminuir la longitud de las líneas y aumentar el número de estaciones.

Se ha determinado el límite teórico de la capa salina en la superficie, así como el de la zona explotable. Sus resultados se han comprobado con tres sondeos, verificados en Cabrianas, Sallent y Sampedor respectivamente.

En el capítulo VII se presenta la investigación sísmica efectuada en el anticlinal de Bellmunt.

Esta investigación consta de siete líneas, con un largo total de 21 kilómetros y 130 estaciones. Ofrece la particularidad de ser la primera que se efectúa en España, en

que por el método sísmico se estudian estratos con grandes inclinaciones, por medio de perfiles en la dirección de los ejes de los pliegues de las capas. Cada perfil suministra un solo valor para la profundidad de la sal, y entre todos ellos se puede construir el corte geológico transversal de la formación.

Se ha puesto de manifiesto la existencia de una zona salina a muy poca profundidad de la superficie en el eje del anticlinal y a unos 1.000 metros en el llano de Urgel.

También ha demostrado que el sistema Oligoceno de esta región es idéntico al de la provincia de Barcelona y que, por consiguiente, la cuenca potásica catalana se extiende hacia las provincias situadas al Este, sin solución de continuidad, hablando en un sentido general, pues claro es que los movimientos orogénicos posteriores al depósito de la sal, y los efectos de la denudación, habrán hecho desaparecer aquélla en muchos lugares.

El capítulo VIII contiene la primera investigación sísmica efectuada en el anticlinal de Tafalla, que ha demostrado la existencia del manto salino a una profundidad explotable. También resulta de ella que es posible la existencia de una estructura favorable para la acumulación de hidrocarburos. Por esta razón, se ha efectuado la investigación gravimétrica que describiremos después en el capítulo XV.

En el capítulo IX se explica la investigación efectuada en la concesión minera «Elorz», de la compañía de Sales potásicas de Navarra. A partir del sondeo de Salinas de Pamplona, se ha seguido el manto salino por medio de perfiles sísmicos, hasta su afloramiento teórico, cerca de la carretera de Tafalla a Pamplona. También se han hecho mediciones análogas para determinar la constante sísmica de las margas que constituyen el suelo de la concesión.

Estas margas, de aspecto análogo a las situadas encima de la sal, difieren de ellas notablemente en sus parámetros sísmicos, directamente determinados en el sondeo mencionado. Esta diferencia nos ha permitido clasificarlas como eocenas y afirmar que no había sal debajo de ellas, como se ha comprobado por medio de varios sondeos.

El capítulo X trata de la construcción del plano altimétrico del subsuelo de Hiendelaencina. En la obra anterior indicamos esquemáticamente el sistema seguido y las mediciones hechas. Han sido innumerables las cartas recibidas pidiéndole que publicase todo el trabajo, como ahora hace.

Contiene el método seguido para determinar la velocidad sísmica de los aluviones superficiales y en el subsuelo, explicado por medio de 34 líneas sísmicas, así como su interpretación geológica, sin que hasta hoy haya ningún trabajo análogo publicado.

Con el capítulo XI empieza la segunda parte de este trabajo, que se refiere a la interpretación geológica de las mediciones gravimétricas. Empieza por exponer las fórmulas que se emplean para el cálculo de los gradientes en todas las balanzas de torsión que posee el Instituto Geológico y Minero de España, ya se emplee el sistema de observación de tres o de cinco azimutes. Expone también las usadas para el cálculo de las restantes magnitudes gravínicas, así como un cuadro de sus valores normales para las latitudes españolas, calculadas por el autor.

Termina con un ejemplo práctico, en el que presenta, por primera vez, el cuadro de los coeficientes prácticos utilizados en la corrección topográfica, que transforman su penoso cálculo en una sencillísima operación aritmética.

El capítulo XII describe la investigación gravimétrica en la zona del Burgo de Osma, así como la interpretación geológica de las mediciones. Ha permitido encontrar los anticlinales cretáceos de la zona, así como las fallas que les surcan, que impiden la acumulación de hidrocarburos, por cuya razón se desistió de efectuar sondeos.

El XIII se refiere a la investigación gravimétrica de la meseta terciaria de Madrid-Torrelaguna, que ha permitido fijar la forma y profundidad de la cubeta cretácea subyacente, indicando que existía una cuenca artesiana de gran profundidad. En Alcalá de Henares se practicó un sondeo que cortó varios niveles acuíferos. Por desgracia, la mala calidad de las aguas obligó a prescindir de su aprovechamiento.

El capítulo XIV se ocupa de la investigación gravimétrica en Garrucha (Almería). Después de algunas consideraciones sobre el origen y la existencia del petróleo en España, hace un estudio geológico completo de la zona para demostrar que el Estrato cristalino aflora en muchos lugares del Trías, que no hace más que rellenar los huecos de aquél. En estas condiciones, es imposible que el Trías constituya un yacimiento petrolífero. También estudia el Mioceno e indica que hay en él alguna capa ligeramente bituminosa, de la que proceden las manifestaciones petrolíferas observadas.

Por medio de la balanza de torsión determina la estructura del subsuelo para concluir afirmando que existe una cobijadura en el tope de las capas miocenas con el Estrato cristalino, origen del petróleo de Garrucha, y que esa cobijadura no puede tener valor industrial, como ha demostrado el fracaso de los trabajos de sondeo efectuados por particulares, que dudaron de nuestras conclusiones.

En el capítulo XV se explica la segunda parte de la in-

vestigación del anticlinal de Tafalla, efectuada por el método gravimétrico. Este estudio hace ver que la estructura de cúpula está aun más al Este de la zona investigada, así como que la profundidad de la sal es menor que en la región del primer estudio.

El cálculo de las líneas isógamas se presenta completamente detallado, como ejemplo a seguir en otros casos análogos.

Alargaría demasiado este Prólogo un estudio más profundo: pero no he de terminar sin hacer constar que lo hecho por el Instituto en este sentido es sólo una iniciación muy incompleta en el extenso campo que se abre ante el geofísico, con las aplicaciones de esta ciencia a la ingeniería, tanto para el estudio de las fundaciones de las grandes obras de puentes, presas, etc., como de su estado de seguridad después de construídas; para la investigación de los criaderos metálicos y el estudio general del subsuelo y de las substancias susceptibles de aprovechamiento.

Todas estas aplicaciones serán objeto de muchos estudios e investigaciones, que no dudo han de constituir materia útil para todas las especialidades de la ingeniería, demostrando el avance dado por el Instituto Geológico en este sentido, en el que se funda el porvenir de España.

Madrid, 30 de marzo de 1933

LUIS DE LA PEÑA

PRIMERA PARTE

LAS MEDICIONES SÍSMICAS

CAPÍTULO I

LA TEORÍA DE LA PROSPECCIÓN SÍSMICA

§ 1. **Generalidades.**—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, con arreglo a la clasificación siguiente:

| | Metros por segundo |
|---|--------------------|
| I Arenas sueltas, según el grado de humedad, de Villanueva de las Minas (Sevilla) | 200-250 |
| II Terraplenes artificiales, rellenos, etc..... | 400 |
| III Aluviones secos | 500-800 |
| IV Id. húmedos. (Río Cardoner en Suria)..... | 1.000-1.300 |
| V Arcillas (Biurrun, Navarra) | 1.800 |
| VI Margas calizas flojas, areniscas calizas débiles (Sallent, Barcelona) | 2.200-2.400 |
| VII Arenisca con cemento calizo (Bellmunt)..... | 2.800-3.500 |
| VIII Margas calizas, areniscas calizas de Sampedor (Barcelona) | 3.200-3.800 |
| IX Margas yesosas de Bellmunt (Lérida)..... | 3.200 |
| X Yesos de Bellmunt y de Tafalla (Pamplona)..... | 3.800 |
| XI Calizas cenomanenses de Basconcillos del Tozo (Burgos)..... | 4.500-5.500 |
| XII Sal común, carnalita, silvinita de Suria, Callús y Salinas de Pamplona | 5.500-6.500 |

Para determinar la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en las capas que constituyen el subsuelo, basta medir el tiempo que emplean en efectuar un cierto recorrido, de longitud conocida.

Las distancias se miden directamente sobre la superficie y los tiempos de propagación de las ondas, por medio de los sismógrafos registradores, que señalan el instante de su llegada a la estación y de otros aparatos auxiliares aptos para indicar el que corresponde al origen del movimiento, producido por medio de cargas explosivas.

§ 2. Las ondas sísmicas.

a) *Ondas longitudinales y transversales.*—En la teoría de la elasticidad se demuestra que los movimientos producidos en el hipocentro o foco dan lugar a dos tipos de oscilaciones, completamente independientes uno de otro, a saber: las oscilaciones u *ondas longitudinales*, es decir, ondas de condensación y de dilatación, en las que el movimiento de una partícula coincide en dirección con la de propagación de las oscilaciones; y las *transversales u ondas de distorsión*, en las que el movimiento es perpendicular a dicha dirección.

Las leyes de propagación de las oscilaciones elásticas tienen un gran parecido a las leyes de la propagación de la luz. La teoría mecánica de la luz considera directamente los fenómenos luminosos como el resultado de oscilaciones elásticas transversales; por lo tanto, en la propagación de las ondas sísmicas, cuando el movimiento pasa de un medio a otro, debemos encontrarnos con ciertos fenómenos que correspondan a los de reflexión y refracción de la luz. Sólo que el problema es mucho más sencillo en óptica, porque allí sólo se presentan ondas transversales,

toda vez que aún no ha sido comprobada la existencia de ondas etéreas longitudinales.

Cuando la luz pasa por la superficie de separación de dos medios, se producen dos rayos; uno reflejado y otro refractado. Pero en la propagación de las ondas sísmicas a través de la corteza terrestre, cada una, sea longitudinal o transversal produce, en general, al pasar por la superficie que separa dos capas de distintas propiedades físicas, cuatro ondas; dos longitudinales, una reflejada y otra refractada y otras dos transversales de las mismas clases.

b) *Ondas superficiales.*—La superficie de separación de dos medios no solamente se distingue porque da lugar a los fenómenos de reflexión y refracción, sino también porque con ella pueden originarse *ondas superficiales*, que tienen gran importancia en la Sismología. Estas ondas se propagan por la superficie terrestre, del mismo modo que las ondas líquidas se extienden por la superficie del agua, cuando se tira una piedra sobre la superficie del líquido, en estado de reposo.

Estas ondas se distinguen por su período relativamente grande, al que corresponde también una gran longitud de onda.

Por esta razón se llaman *ondas lentas, largas o superficiales*.

c) *Ondas individuales de Mohorovicic.*—Las investigaciones recientes de Mohorovicic y Gutenberg, han puesto de manifiesto que a pequeñas distancias epicentrales, se registran dos clases de ondas longitudinales a la llegada del movimiento sísmico: las \bar{P} llamadas *individuales* por Mohorovicic (*) y continuas o uniformes por Ro-

(*) A. Mohorovicic. Jahrbuch des meteorologischen Observatoriums in Zagreb fuer das Jahr 1909.

thé (*), que se propagan por la capa superior de la corteza terrestre y van directamente desde el hipocentro F a la estación E (fig. 1), sin experimentar refracción alguna y las ondas normales P , que del hipocentro F se dirigen a la superficie de discontinuidad, sufren en ella dos refracciones en A y B y después se remontan a la superficie exterior.

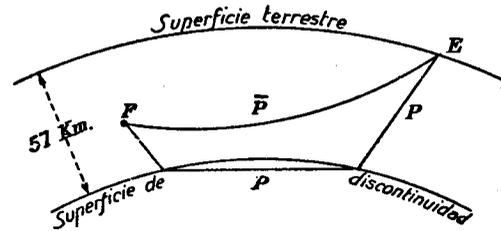


Fig. 1.

La onda \bar{P} aparece sola a distancias epicentrales inferiores a unos 300 kilómetros; por el contrario, a partir de los 700 sólo se presentan las P . Por último, entre 300 y 700 se observan las dos y la \bar{P} sigue a la P , con un intervalo que varía según la distancia y la profundidad del foco.

La misma distinción puede hacerse en las ondas transversales; de modo que cabe distinguir las ondas S normales y las \bar{S} individuales.

La existencia de las ondas P y \bar{P} , S y \bar{S} , como dos clases de ondas distintas que se propagan con diferente velocidad, en el mismo medio y de tal modo, que las primeras P o S sólo aparecen a partir de una determinada distancia, es muy difícil de concebir, y por esto Mohorovicic ha recurrido a una explicación natural, que es la de admitir que existe en la corteza terrestre y a una profundidad de 57 kilómetros, según resulta de las investigacio-

(*) E. Rothé. Publications du Bureau central sismique int. Travaux scientifiques. Serie A. Fascicule I. 1926.

nes de Gutenberg (*), una superficie de discontinuidad que divide la corteza en dos capas del mismo espesor sensiblemente y en que las propiedades físicas de la materia terrestre varían de un modo brusco, hasta el punto de que la velocidad de las ondas pasa de 5,74 a 7,90 kilómetros por segundo al atravesar dicha superficie.

Estas ondas individuales tienen gran importancia para la prospección sísmica, pues el fenómeno explicado para la superficie de discontinuidad, se repite en la superficie

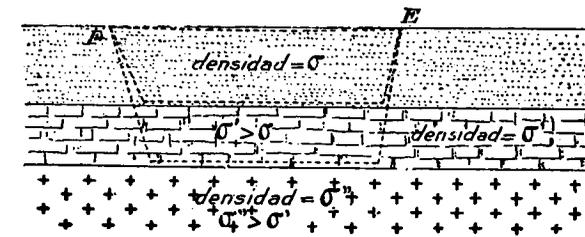


Fig. 2.

de separación de los diferentes estratos, de modo que cada uno de ellos producirá una doble refracción en la onda que le atraviese y al sismógrafo llegarán también las dos clases de ondas \bar{P} y P (fig. 2).

Como en las explosiones artificiales utilizadas en la prospección, las distancias epicentrales son muy pequeñas y muy diferentes las velocidades de propagación de las ondas, a través de los estratos, ya que están comprendidas entre algunos cientos y varios miles de metros por segundo, el instante de la llegada de las ondas P y \bar{P} al sismógrafo depende de la profundidad de los estratos, de la velocidad de propagación a través de los mismos y de

(*) B. Gutenberg. Neue Auswertung der Aufzeichnungen der Erdbebenwellen, infolge der Explosion v. Oppau. Phys. Zeitschrift. 1925.

la distancia epicentral que elijamos. Además, según hemos dicho, procederán las \bar{P} , en los puntos próximos a la explosión y las P a distancias mayores.

Conocidas las dos últimas magnitudes y determinado el instante aludido, tendremos los medios necesarios para descubrir la estratigrafía de la región estudiada, como veremos más adelante.

§ 3. **Las curvas dromocrónicas.**—Si en un sistema de ejes coordenados rectangulares tomamos como abscisas las distancias epicentrales Δ , medidas en la superficie terrestre a lo largo del círculo máximo y como ordenadas los *tiempos de recorrido*, o sean las diferencias entre la hora epicentral y las de la llegada de la onda sísmica a los distintos observatorios, construiremos una curva llamada *curva de los tiempos de propagación* u *hodógrafo*, que tiene importantísimas aplicaciones en la prospección.

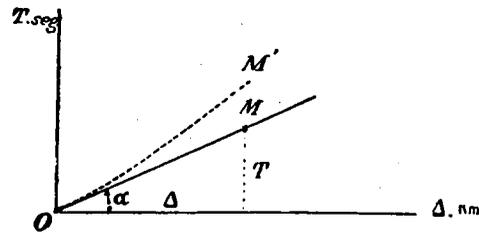


Fig. 3.

Sea el sistema de ejes rectangulares representado en la figura 3. La velocidad aparente de propagación de las ondas, o sea el número de kilómetros recorridos en un segundo, es

$$\frac{\Delta}{T}$$

para un cierto punto M , situado a la distancia epicentral Δ , lo que es lo mismo, $\cot \alpha$. Si esta velocidad es constan-

te, la curva casi se convertirá en una línea recta, como la de la figura. Si disminuye, el ángulo α tendrá que aumentar y la curva volverá su concavidad hacia arriba, como en la línea OM' , sucediendo lo contrario si la velocidad aumenta.

En los sismos artificiales producidos por explosiones, hay que tener en cuenta los distintos estratos que se encuentran sucesivamente, en el sentido de la profundidad.

Supongamos (fig. 4) 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 en E se produce una explosión, se originarán ondas que irán alcanzando, sucesivamente, los sismógrafos colocados en los puntos I, II y III.

También llegarán a ellos las ondas reflejadas en la superficie de separación de los estratos. Si el sismógrafo I está bastante cerca de la estación, la onda directa $E I$ 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 recta $E I$ II (parte inferior de la figura). Para una cierta distancia epicentral, por ejemplo $E II$, el rayo sísmico reflejado $E a b II$ tardará en llegar al sismógrafo el mismo tiem-

te, la curva casi se convertirá en una línea recta, como la de la figura. Si disminuye, el ángulo α tendrá que aumentar y la curva volverá su concavidad hacia arriba, como en la línea OM' , sucediendo lo contrario si la velocidad aumenta.

En los sismos artificiales producidos por explosiones, hay que tener en cuenta los distintos estratos que se encuentran sucesivamente, en el sentido de la profundidad. Supongamos (fig. 4) una capa exterior en que la velocidad de propagación de las ondas es V_1 y otra inferior a la que corresponde el valor $V_2 > V_1$.

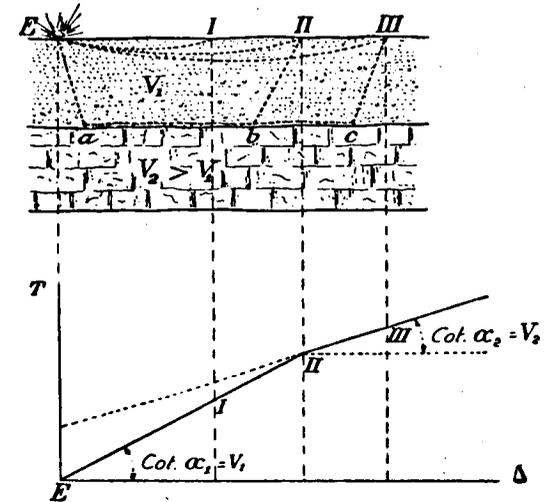


Fig. 4.

Si en E se produce una explosión, se originarán ondas que irán alcanzando, sucesivamente, los sismógrafos colocados en los puntos I, II y III.

También llegarán a ellos las ondas reflejadas en la superficie de separación de los estratos. Si el sismógrafo I está bastante cerca de la estación, la onda directa $E I$ 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 recta $E I$ II (parte inferior de la figura). Para una cierta distancia epicentral, por ejemplo $E II$, el rayo sísmico reflejado $E a b II$ tardará en llegar al sismógrafo el mismo tiem-

po. Si la distancia epicentral es mayor, la onda reflejada llegará antes que la directa y la curva dromocrónica será concava hacia arriba. Si la distancia epicentral es aún mayor, la onda reflejada llegará antes que la directa y la curva dromocrónica será cóncava hacia abajo.

po que el directo $E I II$, puesto que la velocidad media del primero aumenta con el recorrido $a b$ 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 V_2 .

El trozo de la curva correspondiente será la línea $II III$ que forma con el eje de las distancias el ángulo α_2 .

En el punto II se presenta el codo de la curva, de cuya importancia en la práctica de la prospección nos volveremos a ocupar, pues su determinación sirve para encontrar la profundidad de la capa, en que se ha verificado la refracción del rayo sísmico.

§ 4. Las teorías de las ondas sísmicas artificiales.—

Supongamos un terreno estratificado constituido por una capa superficial a la que corresponde la velocidad sísmi-

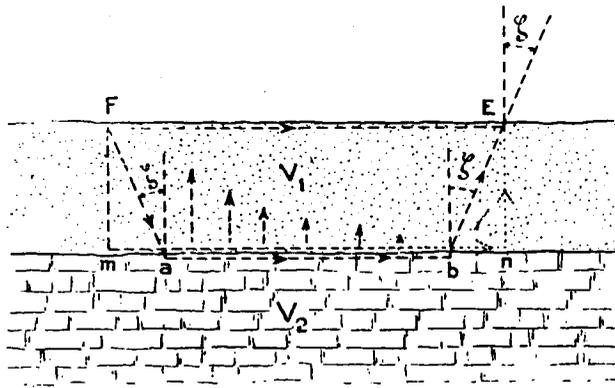


Fig. 5.

ca v_1 y otra subyacente de mayor valor v_2 . Sea F la posición del foco y E la del sismógrafo registrador (figura 5). Ya hemos dicho que a la estación E no solamente llega el rayo directo que se propaga por la superficie del terre-

no, sino también el que se refracta dos veces en la superficie de separación de los dos medios y sigue un camino tal como el $F a b E$. Esta hipótesis ha servido de base a la teoría llamada del rayo sísmico refractado, para explicar la manera de propagarse el movimiento.

Al producirse en F el impulso inicial, debido a la explosión de la carga de dinamita, se pone también en vibración la capa inferior de velocidad v_2 , y su movimiento se transmite a lo largo de la superficie de contacto con la superior, $m a b n$. Las partículas de ésta entran también en vibración, que se propaga hasta la superficie y alcanzan al sismógrafo colocado en E . Dicho de otra manera, en el sismograma se ha impresionado otro ímpetu que corresponde al rayo sísmico $F m n E$. Este modo de transmisión de la energía sísmica constituye el fundamento de la teoría del rayo sísmico normal o perpendicular, preconizada por Reich y Schweydar (*).

Nosotros creemos que se verifican los dos modos de transmisión simultáneamente, y que la naturaleza del ímpetu registrado, depende de las circunstancias que concurren en el caso que consideremos.

Para aclarar estos extremos analizaremos el problema detenidamente. De todos los rayos sísmicos que parten del foco F y que inciden en la capa inferior (fig. 5) el que transmite más energía es el $F m$. Todos los demás disminuyen de intensidad a medida que se separan de la posición citada, por estar multiplicados por el coseno del ángulo de emergencia ζ . Por consiguiente, el ímpetu que corresponde al rayo $F m n E$ se señalará en el sismograma, con mayor intensidad que los que inmediatamente le sigan o le precedan.

(*) Gerland's Beiträgen zur Geophysik. Bd. XVII. Heft. 1.

El rayo más rápido, es, sin duda alguna, el que incide en la capa inferior con el ángulo ζ , más favorable para que su refracción coincida con la superficie de separación de los dos medios $m a b n$. Para mayores valores de ζ que el señalado en la figura, disminuye el trayecto $a b$ a la velocidad mayor v_2 y aumenta el de la menor o sea disminuye la velocidad media del rayo y para valores de ζ más pequeños, la refracción se verifica dentro de la capa inferior y el rayo sísmico no llega al exterior. De ello resulta que el primer ímpetu del sismógrama corresponde al rayo $F a b E$.

Si la carga de dinamita es de suficiente potencia para que este rayo pueda quedar registrado, a él corresponderá exactamente el primer ímpetu del sismógrama; pero si no sucede así, corresponderá al $F m$ o a cualquiera de los intermedios, que alcance la intensidad necesaria.

Aun daremos otras razones de importancia para justificar nuestra teoría.

Si sólo fuese cierta la teoría del rayo normal, el ángulo de emergencia tendría que ser *siempre* de 90° , cosa que no sucede en la práctica, como veremos más adelante.

Por el contrario, si admitimos únicamente la del rayo refractado, sería imposible que éste emergiese al exterior cuando la velocidad v_2 fuese menor que la v_1 , puesto que esta refracción está regida por la ley

$$\text{sen } \zeta = \frac{v_1}{v_2}$$

y sin embargo, ya veremos en los trabajos de investigación que hemos realizado, con cuanta facilidad y precisión se puede determinar la existencia de una capa de velocidad pequeña recubierta por otra de velocidad mayor, con tal de que aquélla tenga la suficiente potencia. Para ello

es indispensable que la transmisión de la energía sísmica se haya efectuado con arreglo a la hipótesis del rayo normal.

Como comprobación de lo que decimos hemos observado que, en estos casos, la componente horizontal del movimiento sísmico es casi nula, o sea que el ángulo de emergencia tiene un valor muy próximo a 90° .

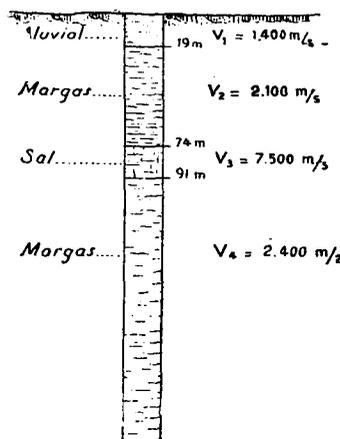
Las consideraciones anteriores nos hacen ver la enorme importancia que tiene el empleo de cargas explosivas de potencia suficiente, para disminuir la ambigüedad que se presenta en la apreciación del primer ímpetu de los sismógramas. Vamos a aclarar nuestra teoría por medio de un ejemplo, tomado de la investigación sísmica efectuada en Salinas de Pamplona.

A partir del sondeo efectuado en la localidad mencionada, hemos observado un perfil sísmico, cuya línea dromocrónica, figura 6, nos determina los diversos horizontes geológicos atravesados. El primero, caracterizado por la velocidad de 1.400 metros por segundo, está constituido por las tierras de labor y capa detrítica superficial; a continuación se presentan unas margas grises con una constante sísmica de 2.100 metros por segundo. Después, encontramos el banco salino, al que corresponde una velocidad aparente de 7.500 metros por segundo. El valor real, seguramente menor, se hubiera obtenido al haber efectuado algunas estaciones sísmicas más, después de la que corresponde en nuestro perfil al muro de la sal. Y por último, encontramos dos grupos de margas de 2.400 y 3.800 metros por segundo de velocidad sísmica, que podemos considerar como uno solo, cuya constante sea el promedio de las anteriores, es decir, 3.100 metros por segundo.

Este horizonte existe realmente, según nos demuestra el sondeo efectuado; la línea dromocrónica también nos

lo demuestra, a pesar de existir sobre él una capa potente de sal, con una velocidad superior al triple de la que corresponde a las margas. ¿Cómo podríamos explicar este hecho con la hipótesis del rayo refractado? Con arreglo a ella, el rayo sísmico se refractaría al salir de la sal hacia el interior de la tierra y no saldría al exterior.

SONDEO DE LAS SALINAS DE PAMPLONA



Por el contrario, con la teoría del rayo normal, podemos admitir que las margas subyacentes a la sal, se han puesto en vibración por aquel rayo y

te hecho con la hipótesis del rayo refractado? Con arreglo a ella, el rayo sísmico se refractaría al salir de la sal hacia el interior de la tierra y no saldría al exterior.

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CONCESIÓN MINERA DE LA COMPAÑÍA DE SALES POTÁSICAS DE NAVARRA

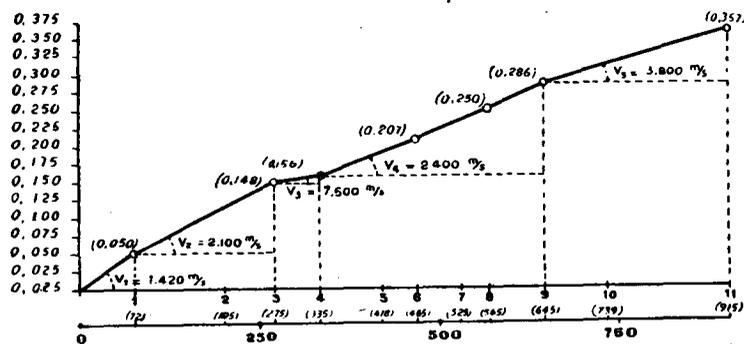


Fig. 6.

la transmiten hasta la superficie, por medio de las capas superiores.

Como para todas las estaciones sísmicas correspondien-

tes a este grupo de margas, sólo se señalarán en los sísmogramas, los impulsos correspondientes al rayo normal, no habrá error relativo para los tiempos y la velocidad indicada por la línea dromocrónica será la verdadera que corresponda a aquéllas, con tal que, como sucede en este caso, su potencia sea suficiente.

§ 5. Determinación de la profundidad de una capa horizontal (*).

a) *Hipótesis del rayo refractado.*—Empezaremos por estudiar el problema de la determinación de la profundidad de una capa horizontal, colocada sobre otra de análoga posición, cuyas velocidades de propagación de las ondas elásticas, sean V_1 y V_2 , respectivamente, siendo V_1 mucho menor que V_2 . Supongamos que empleamos cuatro sísmógrafos, colocados en las posiciones I, II, III, IV, de la figura 7 y sea E el lugar de la explosión. Designemos por h la profundidad de la primera capa o grupo de capas de condiciones elásticas idénticas, y por ζ el ángulo que el rayo sísmico incidente y el reflejado forman con la normal de la superficie. Por las leyes de la refracción de los rayos sísmicos, análoga a la de los luminosos, se verifica,

$$\text{sen } \zeta = \frac{V_1}{V_2}$$

Ya hemos dicho que las ondas sísmicas llegan a los sísmógrafos directamente y también después de experimentar dos refracciones en la superficie de separación de los estratos de distintas propiedades elásticas. De modo

(*) Los Métodos geofísicos de prospección. J. G. Siñeriz. 1928.

que el sismógrafo I registra un ímpetu correspondiente a la onda individual \bar{P} , que se propaga por la capa superficial y otro posterior, si el sismógrafo está situado

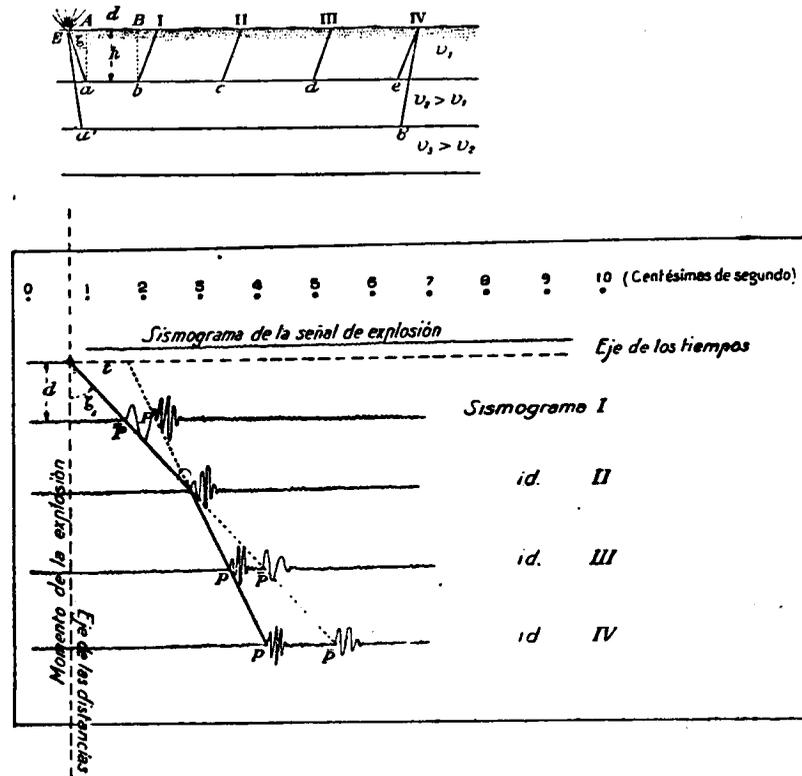


Fig. 7.

lo suficientemente cerca del origen, que corresponde a la onda normal P , que ha seguido el camino $E a b I$. Estos dos ímpetus se representan esquemáticamente en el sismograma I. A una cierta distancia de E , por ejemplo, en la posición II, el rayo $E I II$, llegará a la vez que el $E a b c II$, puesto que la velocidad media del último va

aumentando con el recorrido $a b c$ a la velocidad V_2 . En el sismograma correspondiente sólo se apreciará un ímpetu que corresponde a las dos ondas. En la posición III, el rayo $E a b c d$, llegará primero que el $E I II$, III, y lo mismo sucederá en la IV, como muestran los correspondientes sismogramas.

Si las condiciones elásticas de las capas permanecen constantes, y todos los sismogramas están referidos al mismo momento inicial, bastará unir los distintos ímpetus mencionados por un trazo continuo, que representará la curva dromocrónica correspondiente. Su codo se presenta en T . Prolongando la segunda rama hasta el eje de los tiempos, intercepta en él un cierto tiempo t , que nos sirve para determinar la profundidad h .

Designemos por d la distancia $E A B I$. El tiempo T_1 que necesita el rayo sísmico para recorrerla será

$$T_1 = \frac{d}{V_1}$$

El tiempo T_2 , necesario para que efectúe el recorrido $E a b I$, será

$$T_2 = \frac{E a}{V_1} + \frac{b I}{V_1} + \frac{a b}{V_2} = 2 \frac{E a}{V_1} + \frac{d - (E A + B I)}{V_2}$$

$$E A = B I = h \tan \zeta = h \frac{\sin \zeta}{\cos \zeta} = h \frac{\sin \zeta}{\sqrt{1 - \sin^2 \zeta}}$$

$$E a = b I = \frac{h}{\cos \zeta} = \frac{h}{\sqrt{1 - \sin^2 \zeta}}, \text{ puesto que } h = \\ = E a \cos \zeta$$

Substituyendo estos valores en la expresión de T_2 , tendremos,

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{2h}{V_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\sin^2 \zeta}} + \frac{d-2h \frac{\sin \zeta}{\sqrt{1-\sin^2 \zeta}}}{V_2} = \\ &= \frac{2h}{V_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\sin^2 \zeta}} + \frac{d}{V_2} - \frac{2h}{V_2} \cdot \frac{\sin \zeta}{\sqrt{1-\sin^2 \zeta}} = \\ &= \frac{2h}{V_1} \frac{1}{\sqrt{1-\sin^2 \zeta}} = \frac{d}{V_2} + \frac{2h(1-\sin^2 \zeta)}{V_1 \sqrt{1-\sin^2 \zeta}} = \\ &= \frac{d}{V_2} + \frac{2h}{V_1} \sqrt{1-\sin^2 \zeta} \end{aligned}$$

El tiempo t interceptado en el eje, por la segunda rama de la curva, corresponde a la distancia $d=0$, luego será

$$t = \frac{2h}{V_1} \sqrt{1-\sin^2 \zeta} = \frac{2h}{V_2} \frac{\sqrt{1-\sin^2 \zeta}}{\sin \zeta}$$

en función de V_1 o de V_2 ; o bien en función de V_1 y V_2

$$t = \frac{2h}{V_1} \sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}$$

De aquí se deduce la potencia h , cuyo valor será:

$$h = \frac{t}{2} \frac{V_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}}$$

En algunos casos de la práctica se hace el radical

$$\sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}$$

igual a la unidad, por ser pequeño el valor de

$$\frac{V_1}{V_2}$$

como condición previa, y mucho menor, por consiguiente, el de su cuadrado, con lo que la potencia buscada h , resulta

$$h = \frac{t}{2} V_1 = \frac{t}{2} \cot \alpha$$

Por lo tanto, para encontrar la profundidad a que se ha verificado la refracción, o sea la potencia del primer grupo de capas, basta construir la curva dromocrónica, determinando el codo que une sus dos ramas. Con esto podemos medir

$$\frac{t}{2} \text{ y } \cot \alpha$$

Como sólo nos interesa la parte señalada en la figura con trazo lleno, no es indispensable determinar los segundos ímpetus de cada sismograma y entonces podemos emplear amortiguamientos fuertes y hasta llegar al límite de aperiodicidad, consiguiendo así eliminar la influencia de las oscilaciones propias de los sismógrafos.

El procedimiento indicado se aplicaría de la misma manera para la determinación de las potencias de las capas inferiores sucesivas.

También es muy útil el empleo de otra fórmula, deducida por Barsch (*), siguiendo un procedimiento análogo

(*) O. Barsch. Jahrbuch der Preussischen Geologischen Landesanstalt. Tomo XLIX. Berlín.

al que nosotros hemos expuesto, que además, se presta a una construcción gráfica muy sencilla. (Fig. 8).

Supongamos un caso completamente análogo al que he-

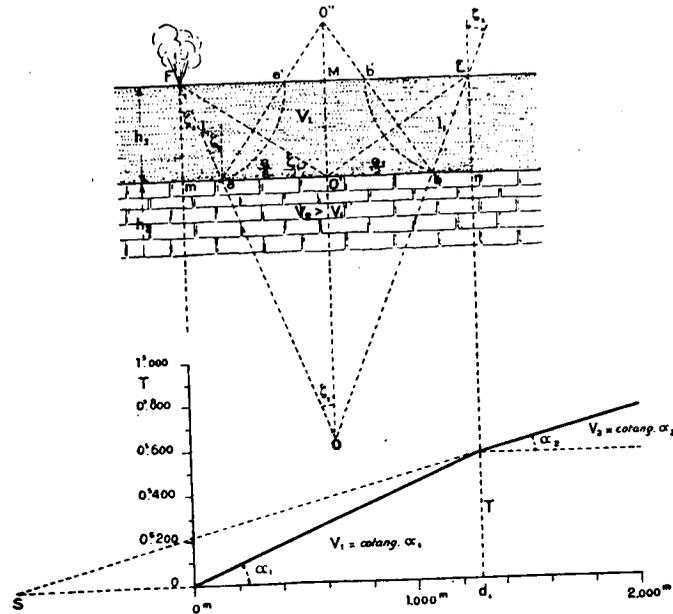


Fig. 8.

mos estudiado, es decir, una capa exterior de velocidad V_1 , sobre otra de velocidad superior V_2 . Sea F el lugar de la explosión y E la estación sísmica. Designemos por d_1 , la distancia epicentral FE ; por l_1 , la longitud del trayecto descendente y ascendente del rayo doblemente refractado y por e_1 , la distancia ab . Supongamos que llegan simultáneamente a E , el rayo superficial y el reflejado.

Con arreglo al razonamiento que hemos hecho anteriormente,

$$T = \frac{d_1}{V_1} = \frac{2l_1}{V_1} + \frac{e_1}{V_2} \quad \text{o bien} \quad d_1 = 2l_1 + c_1 \frac{V_1}{V_2} = 2l_1 + e_1 \operatorname{sen} \zeta_1$$

Hagamos centro en F y en E y con un radio igual a l_1 , tracemos los arcos $a'a'$ y $b'b'$. La distancia $a'b'$, será

$$a'b' = d_1 - 2l_1 = e_1 \operatorname{sen} \zeta_1 = e_1 \frac{V_1}{V_2}$$

En los triángulos $Oa'O'$ y OFM , se verifica,

$$aO = \frac{c_1}{2 \operatorname{sen} \zeta_1} \quad aO + l_1 = \frac{FM}{\operatorname{sen} \zeta_1} = \frac{l_1 + \frac{c_1 \operatorname{sen} \zeta_1}{2}}{\operatorname{sen} \zeta_1}$$

De estas dos igualdades se deduce

$$l_1 = \frac{c_1}{2}$$

o sea que entre el trayecto descendente y ascendente del rayo, suman un recorrido igual al efectuado en la superficie de contacto de los dos horizontes considerados.

De aquí resulta la siguiente forma, para las ecuaciones fundamentales,

$$T_1 = c_1 \left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right) \quad d_1 = c_1 (1 + \operatorname{sen} \zeta_1)$$

Para transformarlas en otras de más fácil aplicación, tendremos en cuenta que en los triángulos Fma y $Fm'o''$, se verifica

$$h_1 = \frac{l_1}{2} \cos \zeta_1 = \frac{d_1}{2} \operatorname{tang} \left(45 - \frac{\zeta_1}{2} \right)$$

Supongamos trazada la dromocrónica de la parte inferior de la figura; prolonguemos la segunda rama, hasta

su intersección con el eje de los tiempos en S . Evidentemente,

$$\frac{OS + d_1}{V_2} = \frac{d_1}{V_1} \quad OS + d_1 = d_1 \frac{V_2}{V_1} = \frac{d_1}{\text{sen } \zeta_1}$$

introduciendo los valores

$$\left. \begin{aligned} d_1 &= c_1 (1 + \text{sen } \zeta_1) \\ c_1 &= \frac{2h_1}{\cos \zeta_1} \end{aligned} \right\} d_1 = \frac{2h_1}{\cos \zeta_1} (1 + \text{sen } \zeta_1)$$

resulta,

$$\begin{aligned} OS &= \frac{d_1}{\text{sen } \zeta_1} - d_1 = d_1 \left(\frac{1}{\text{sen } \zeta_1} - 1 \right) = \frac{d_1 (1 - \text{sen } \zeta_1)}{\text{sen } \zeta_1} = \\ &= \frac{2h_1}{\cos \zeta_1} (1 + \text{sen } \zeta_1) \frac{(1 - \text{sen } \zeta_1)}{\text{sen } \zeta_1} = \\ &= \frac{2h_1}{\cos \zeta_1} \cdot \frac{1 - \text{sen}^2 \zeta_1}{\text{sen } \zeta_1} = \frac{2h_1}{\cos \zeta_1} \cdot \frac{\cos^2 \zeta_1}{\text{sen } \zeta_1} = \frac{2h_1}{\text{tang } \zeta_1} \end{aligned}$$

De aquí resulta la construcción gráfica siguiente, para encontrar el valor de h_1 . Sobre una recta indefinida se toma una longitud $FE = d_1$ y se la prolonga hasta el punto S , de manera que

$$ES = d_1 \cdot \frac{V_2}{V_1} \quad (\text{figura 9}).$$

Sobre SE como diámetro, se traza un semicírculo sobre el que se rebate la distancia d_1 , en el punto N . Se une N con S y se levanta la perpendicular a ES , en el punto F , hasta que corte la línea NS . El valor de $2h_1$ es precisamente MF . Para un tercer horizonte geológico de veloci-

dad V_3 , podemos emplear un razonamiento idéntico, para encontrar,

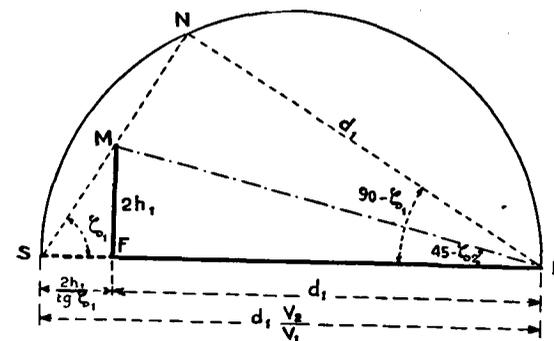


Fig. 9.

$$2h_2 = \left(d_2 + \frac{2h_1}{\cos \zeta_1} \right) \cdot \text{tang} \left(45 - \frac{\zeta_2}{2} \right) \quad \text{para } \text{sen } \zeta_2 = \frac{V_2}{V_3}$$

o bien

$$2h_2 = \left(d_2 + \frac{d_1 V_2}{V_1 + V_2} \right) \sqrt{\frac{V_3 - V_2}{V_3 + V_2}}$$

en que cada uno de los valores corresponden a los representados en la figura 10. También se podrían considerar otros horizontes más profundos, de la misma manera. Para el cuarto las fórmulas serían:

$$2h_3 = \left(d_3 + \frac{2h_2}{\cos \zeta_2} \right) \text{tang} \left(45 - \frac{\zeta_3}{2} \right), \quad \text{para } \text{sen } \zeta_3 = \frac{V_3}{V_4}$$

b) *Hipótesis del rayo normal.*—Si consideramos la teoría del rayo normal a las capas, el problema se simplifica mucho, según podemos ver en la figura 8.

El tiempo que tarda en llegar al sismógrafo el rayo superficial es

$$\frac{d_1}{V_1}$$

y el profundo, que ha seguido el camino $F n m E$,

$$\frac{2 h_1}{V_1} + \frac{d_1}{V_2}$$

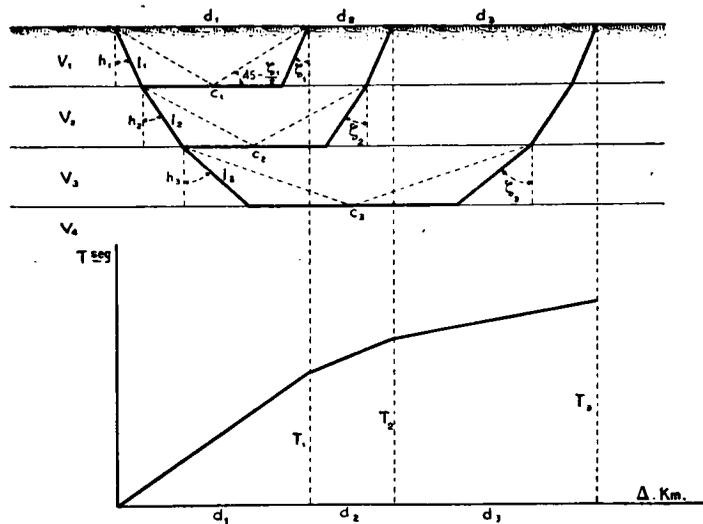


Fig. 10.

De la igualdad de ambos tiempos, por la hipótesis hecha, resulta

$$h_1 = \frac{d_1}{2} \left(1 - \frac{V_1}{V_2} \right)$$

El horizonte siguiente de velocidad V_2 , tendrá una potencia h_2

$$h_2 = \frac{d_1 + d_2}{2} \left(1 - \frac{V_2}{V_3} \right)$$

De la misma manera se calcularán los sucesivos. Por ejemplo, el tercero será

$$h_3 = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{2} \left(1 - \frac{V_3}{V_4} \right)$$

§ 6. Determinación de la profundidad de una capa inclinada.—Si las capas están inclinadas un cierto ángulo α el problema se complica bastante, por no poder deducir directamente de las curvas dromocrónicas la velocidad de propagación de las ondas. A causa de un factor de inclinación, las curvas suministran una velocidad aparente de propagación menor o mayor que la verdadera, según que la línea sísmica esté dirigida en el sentido ascendente o descendente de las capas. Por consiguiente,

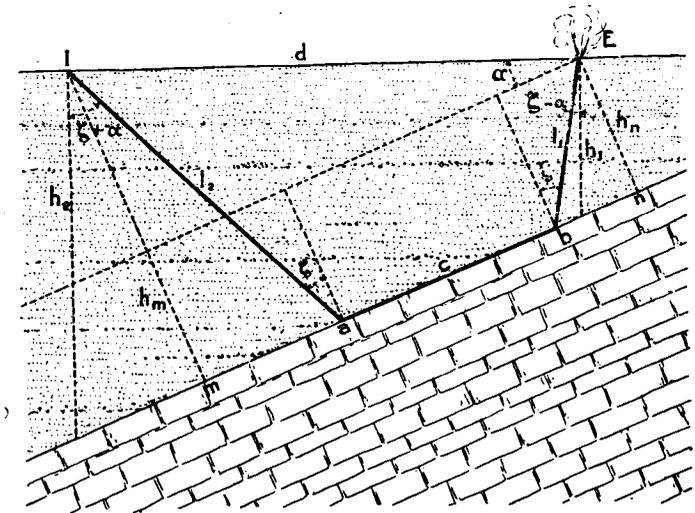


Fig. 11.

para poderla calcular es preciso observar el perfil sísmico en las dos direcciones opuestas.

Sea E el lugar de la explosión, figura 11; I la posición del sismógrafo registrador en el sentido descendente. Si

empleamos notaciones análogas a las del párrafo anterior, obtendríamos, por el mismo procedimiento de cálculo, para el tiempo mínimo de recorrido del rayo sísmico, por la ley de la refracción.

$$(*) T_{2+} = \frac{1}{V_1} [2 h_2 \cos \alpha \cos \zeta + d \sin (\zeta - \alpha)]$$

en la que $h_1 = h_2 - d \cdot \text{tang } \alpha$
y también

$$\text{sen } \zeta = \frac{V_1}{V_2}$$

Si colocamos el sismógrafo en el sentido ascendente, o sea si consideramos a α como negativo, el tiempo mínimo que emplea el rayo sísmico en llegar a él es

$$T_{2-} = \frac{1}{V_1} [2 h_1 \cos \alpha \cos \zeta + d \sin (\zeta + \alpha)]$$

De estas fórmulas (**), podemos deducir el valor de la profundidad h , en el lugar donde se ha emplazado el sismógrafo. Basta para ello tener en cuenta que en el punto de intersección de las líneas dromocrónicas de T_1 y T_{2+} , los dos valores de T son iguales (***). Si llamamos d_x a la distancia epicentral del codo, de la curva,

$$T_1 = \frac{d_x}{V_1}$$

Igualando este valor al de T_{2+} , deducimos,

$$h_1 = \frac{d_x [1 - \text{sen} (\zeta - \alpha)]}{2 \cos \alpha \cos \zeta} \quad (\text{profundidad en la estación sísmica}).$$

(*) Para mayor claridad, llamamos a T_2 en el sentido descendente, T_{2+} y T_{2-} en el ascendente.

(**) En ellas el ángulo de emergencia es $90^\circ - (\zeta \pm \alpha)$.

(***) Handbuch der Experimentalphysik. Band 25. 3 Teil. H. Martin. Jena.

Si el perfil sísmico lleva la dirección ascendente del subsuelo, hay que substituir en la fórmula α por $-\alpha$, con lo que resulta

$$h_1 = \frac{d_x [1 - \text{sen} (\zeta + \alpha)]}{2 \cos \alpha \cos \zeta} \quad (\text{profundidad en la estación sísmica}).$$

También podemos considerar el problema desde otro punto de vista. Supongamos que a partir del barreno E (figura 11), hemos observado el perfil sísmico en el sentido descendente del subsuelo y en el ascendente. Las dromocrónicas correspondientes a T_{2+} y T_{2-} , cortan al eje de ordenadas en un punto al que corresponde el valor T_0 y la distancia d_0 igual a cero.

Las dos fórmulas de T_{2+} y T_{2-} , nos dan el mismo valor,

$$h_1 = \frac{T_0}{2} \frac{V_1}{\cos \alpha \cos \zeta} \quad (\text{profundidad en la estación sísmica}).$$

Para aplicar estas fórmulas al caso de las capas horizontales, basta igualar a cero el valor de α .

Barsch, ha deducido otras fórmulas, que exponremos a continuación.

Si suponemos que I está colocado en la posición de coincidencia de la llegada del rayo superficial y el profundo (figura 11)

$$\frac{d}{V_1} = \frac{l_1 + l_2}{V_1} + \frac{c}{V_2}; \quad \text{o bien, } d = l_1 + l_2 + c \cdot \text{sen } \zeta$$

Vamos a calcular el valor de la suma $h_1 + h_2$, puesto que su diferencia nos es conocida,

$$h_1 - h_2 = d \cdot \text{tang } \alpha$$

Para ello, empecemos por eliminar la magnitud c , de la fórmula

$$m n = d \cdot \cos \alpha = l_2 \cdot \sin \zeta + c + l_1 \sin \zeta = (l_1 + l_2)$$

$$\sin \zeta + c, \text{ o sea } c = d \cos \alpha - (l_1 + l_2) \sin \zeta$$

Al substituir este valor en la fórmula, resulta

$$d (1 - \cos \alpha \cdot \cos \zeta) = (l_1 + l_2) (1 - \sin^2 \zeta) = \\ = (l_1 + l_2) \cdot \cos^2 \zeta$$

$$d = \frac{(l_1 + l_2) \cos^2 \zeta}{1 - \sin \zeta \cdot \cos \alpha} \quad \text{y} \quad l_1 + l_2 = \frac{d (1 - \sin \zeta \cos \alpha)}{\cos^2 \zeta}$$

Tracemos las normales h_m y h_n al plano de contacto de las dos capas estratigráficas de la figura 11 y tendremos

$$h_n + h_m = (l_1 + l_2) \cos \zeta \begin{cases} h_m = h_2 \cdot \cos \alpha \\ h_n = h_1 \cdot \cos \alpha \end{cases} (h_1 + h_2) \cos \alpha = \\ = (l_1 + l_2) \cos \zeta$$

o bien

$$h_1 + h_2 = \frac{d (1 - \sin \zeta \cos \alpha)}{\cos \zeta \cdot \cos \alpha}$$

que nos resuelve el problema.

Los horizontes geológicos inferiores serán, generalmente, paralelos al V_2 , por lo que podremos calcular sus profundidades respectivas por medio de las fórmulas del § 5.

La gran práctica que hemos adquirido en la prospección sísmica, por haber estudiado problemas en que se presentaban las condiciones estratigráficas y tectónicas más variadas, nos ha producido el convencimiento de que las fórmulas para el cálculo de la profundidad de las capas inclinadas no deben emplearse mas que en los casos

de completa regularidad de la estratificación en toda la longitud del perfil sísmico.

Si como sucede muy frecuentemente, el buzamiento es variable, los resultados son erróneos.

Nosotros hemos resuelto la dificultad, no efectuando en estos casos más que perfiles cuya dirección coincida, exactamente, con la de estratificación. El plano vertical que pasa por el barreno y por las posiciones sísmicas, corta a los estratos según una línea paralela al perfil y horizontal, por lo que podemos aplicar el cálculo del § 5.

Este es el sistema que hemos seguido para el estudio de los anticlinales, de Bellmunt y de Tafalla, que después explicaremos.

Igual procedimiento seguimos en los sinclinales. A lo largo de su eje, se efectúa el perfil principal, que corresponde al caso de capas horizontales, y en sus dos flancos se observan otros paralelos al anterior, deduciendo las profundidades con las mismas fórmulas. El sinclinal de Suria, en la zona potásica catalana, ha sido estudiado por nosotros, siguiendo este sistema, como aclararemos en el capítulo correspondiente.

También sucede con frecuencia, que la dirección de estratificación cambia gradualmente y no se la puede considerar como una línea recta, en longitudes importantes. En este caso, trazamos varios perfiles en forma de línea poligonal, que se adapte a aquélla lo mejor posible.

§ 7. Construcción de un plano altimétrico del subsuelo (*).—Si por medio de los dos procedimientos anteriores calculásemos las profundidades de un número suficiente

(*) Los métodos geofísicos de prospección, por J. G. Siñeriz. 1928.

de puntos del subsuelo, restando los valores obtenidos de las cotas correspondientes de la superficie, podríamos obtener las de aquél. Bastaría entonces una interpolación uniforme, como se hace en las de los perfiles topográficos, para construir las curvas de nivel, que nos darían una representación clara de su altimetría, en la época geológica que estuvo expuesto a la acción de los agentes exteriores.

En la práctica no es posible efectuar esta determinación. La de cada profundidad, exige la construcción de una curva dromocrónica, para lo que a su vez es necesario producir varias explosiones y colocar los sismógrafos en posiciones diversas. Además, el número de puntos tiene que ser muy elevado, por desconocer desde la superficie, la dirección más conveniente de los perfiles, que deben coincidir, como en los planos topográficos, con las líneas divisorias de aguas y con las vaguadas.

Es preferible emplear un método aproximado, que con una cantidad prudencial de trabajo, nos permita resolver el problema en condiciones satisfactorias de exactitud.

Primeramente, es preciso determinar la velocidad de las ondas sísmicas en la capa de recubrimiento y en el subsuelo. Si las condiciones elásticas de ambos son constantes en alguna extensión, el problema no presenta dificultad alguna. La primera quedará determinada por las curvas dromocrónicas correspondientes a distancias epicentrales pequeñas y la segunda por las que se refieren a distancias suficientemente grandes y mejor aún, hallándolas directamente sobre la roca misma que constituye el subsuelo, si éste aflora en alguna comarca de la zona de estudio.

Sucede muy frecuentemente, sobre todo en los depósitos cuaternarios, que su composición es tan variada, aun

en extensiones relativamente pequeñas, que no es posible obtener un valor único para dicha velocidad. Entonces se calculan los valores medios regionales, empleando los determinados por todas las curvas dromocrónicas correspondientes a los perfiles sísmicos estudiados, como aclararemos en otro capítulo, con todo detalle. El procedimiento, en síntesis, consiste en lo siguiente: Representemos por h_E la potencia del recubrimiento en el lugar de la explosión y por h_s la que corresponde a la posición de un sismógrafo. Sean V_1 y V_2 las velocidades de propagación en el recubrimiento y en el subsuelo; d la distancia del lugar de la explosión al sismógrafo, que ha de ser lo suficientemente grande para que la onda que se propaga por el segundo, alcance la banda registradora antes que la superficial.

Según hemos visto en los dos párrafos anteriores, el tiempo t_s que tarda la onda que se refracta dos veces en la superficie de separación de los terrenos es *aproximadamente*

$$t_s = \frac{h_E}{V_1} + \frac{d}{V_2} + \frac{h_s}{V_1}$$

puesto que esta igualdad sólo se verifica con la hipótesis del rayo normal. De aquí deducimos

$$h_E + h_s = \left(t_s - \frac{d}{V_2} \right) V_1$$

Como t_s podemos medirlo en la banda fotográfica y las demás magnitudes nos son conocidas, el segundo miembro de esta ecuación será un número y podremos escribir:

$$h_E + h_s = C$$

Para estudiar un cierto perfil sísmico, con varios sis-

mógrafos portátiles, por ejemplo, con cinco, se les coloca en varias posiciones sucesivas a lo largo del perfil elegido y a su vez se varía también el emplazamiento de las explosiones. Designemos por los subíndices 1, 2, 3, las posiciones respectivas que, para mayor claridad, sólo alcanzan esa cifra. En ese perfil tenemos, por lo tanto, quince posiciones para los sismógrafos y tres para las explosiones.

Para la primera explosión podremos escribir:

$$\begin{aligned} h_{E_1} + h_{S_1} &= C_1 \\ h_{E_1} + h_{S_2} &= C'_1 \\ h_{E_1} + h_{S_3} &= C''_1 \\ h_{E_1} + h_{S_4} &= C'''_1 \\ h_{E_1} + h_{S_5} &= C^{IV}_1 \end{aligned}$$

Conservando los sismógrafos en las mismas posiciones y variando el lugar de la explosión, a la posición segunda, tendremos:

$$\begin{aligned} h_{E_2} + h_{S_1} &= C_2 \\ h_{E_2} + h_{S_2} &= C'_2 \\ h_{E_2} + h_{S_3} &= C''_2 \\ h_{E_2} + h_{S_4} &= C'''_2 \\ h_{E_2} + h_{S_5} &= C^{IV}_2 \end{aligned}$$

y variándolo a la posición tercera,

$$\begin{aligned} h_{E_3} + h_{S_1} &= C_3 \\ h_{E_3} + h_{S_2} &= C'_3 \\ h_{E_3} + h_{S_3} &= C''_3 \\ h_{E_3} + h_{S_4} &= C'''_3 \\ h_{E_3} + h_{S_5} &= C^{IV}_3 \end{aligned}$$

Cambiando ahora los sismógrafos a su segunda y tercera posición y efectuando las explosiones en los tres puntos anteriores, obtendremos otros dos sistemas análogos,

de ecuaciones de condición, que con las anteriores suman cuarenta y cinco. Como el número de incógnitas es solamente dieciocho, que son los valores de h_s correspondientes a las quince posiciones de los sismógrafos y los tres de h_E correspondientes a los lugares de explosión, el sistema sólo puede resolverse aproximadamente. El método empleado en la investigación sísmica efectuada en Hiendelaencina, por el Instituto Geológico y Minero de España, con el personal y material de «Prospektion», bajo la dirección inmediata de mi malogrado compañero Sr. O'Shea, consiste en determinar directamente, por medio de las curvas dromocrónicas, la profundidad de h_{E_1} que corresponde a la primera posición del barreno; de las ecuaciones de condición anteriores, deducir otras que nos den los valores aproximados de h_{E_2} y h_{E_3} . Conocidos h_{E_1} , h_{E_2} y h_{E_3} determinar los tres valores de cada h_s , por medio de las ecuaciones anteriores y aceptar su promedio, como valor más exacto.

Restando una a una las ecuaciones de los sistemas segundo y tercero de cada una de los del primero, obtenemos

$$\left. \begin{aligned} h_{E_1} + h_{E_2} &= C_1 - C_2 \\ h_{E_1} + h_{E_2} &= C'_1 - C'_2 \\ h_{E_1} + h_{E_2} &= C''_1 - C''_2 \\ h_{E_1} + h_{E_2} &= C'''_1 - C'''_2 \\ h_{E_1} + h_{E_2} &= C^{IV}_1 - C^{IV}_2 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Promedio} \\ h_{E_1} - h_{E_2} = C_{1,2} \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} h_{E_1} + h_{E_3} &= C_1 \\ h_{E_1} + h_{E_3} &= C'_1 \\ h_{E_1} + h_{E_3} &= C''_1 \\ h_{E_1} + h_{E_3} &= C'''_1 \\ h_{E_1} + h_{E_3} &= C^{IV}_1 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Promedio} \\ h_{E_1} - h_{E_3} = C_{1,3} \end{array} \quad \begin{array}{l} h_{E_1} = n_1 \text{ metros.} \\ h_{E_2} = n_2 \text{ id.} \\ h_{E_3} = n_3 \text{ id.} \end{array}$$



Conocidos ya los valores de h_{E_1} , h_{E_2} y h_{E_3} , podemos llevarlos a los primeros sistemas de ecuaciones de condición y determinar los promedios de los tres valores encontrados para cada profundidad.

En otro capítulo, expondremos este trabajo con todo detalle.

CAPÍTULO II

LOS APARATOS EMPLEADOS EN LA PROSPECCIÓN SÍSMICA

Los aparatos empleados en la prospección sísmica, se dividen en tres grupos principales:

I. Aparatos para la determinación de la velocidad del movimiento del suelo.

II. Aparatos para la determinación directa de su movimiento.

III. Aparatos para la determinación de su aceleración.

En cada uno de los grupos, se construyen aparatos transportables de poco peso, aptos para las aplicaciones geológicas, de los que nos ocuparemos en los párrafos siguientes.

§ 8. Aparatos para la determinación de la velocidad del movimiento del suelo.—Pertencen a este grupo los sismógrafos que emplean el registro galvanométrico, que permiten centralizar en un solo lugar las observaciones efectuadas en las estaciones convenientemente elegidas y además economizan una importante cantidad de explosivos, por su gran sensibilidad. En nuestra obra (*) he-

(*) Los Métodos geofísicos de prospección. J. G. Siñeriz. 1928.

mos descrito el aparato de Ambronn, utilizado en varias investigaciones realizadas por el Instituto Geológico y Minero de España, perteneciente a este grupo.

§ 9. Aparatos para la determinación directa del movimiento del suelo. — El tipo fundamental de esta clase

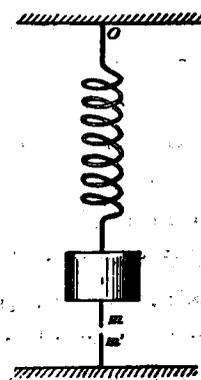


Fig. 12.

de aparatos está constituido por el sismógrafo vertical figura 12. La intensidad del muelle debe calcularse de manera que su acción sobre la masa sea igual a la fuerza con que la gravedad tiende a situarlo en la posición de reposo, si se ha separado de ella por un impulso cualquiera.

Si separamos la masa de su posición de equilibrio y la dejamos abandonada a sí misma, oscila alrededor de su po-

sición de reposo, con un período de oscilación que llamaremos T . Comunicemos al suelo y por consiguiente al punto de suspensión o , un movimiento muy rápido con relación a T , y de amplitud a ; la señal de referencia m , fija al primero, se desplazará la distancia a con respecto a la m ; pero si el impulso comunicado es lento, la separación de las referencias no llegará a alcanzar el valor a .

Si el suelo en que está colocado el sismógrafo experimenta un movimiento oscilatorio bajo los efectos de una explosión artificial, también oscilarán relativamente las referencias y la amplitud A de esta oscilación está representada por la fórmula

$$A = a \frac{T^2}{T^2 - T'^2}$$

En la que T' es el período del movimiento del suelo, supuesto sinusoidal.

En ella vemos que la amplitud A depende de T y T' . Si T' es muy pequeño con relación a T , $A = a$; si $T' = T$, $A = \infty$, es decir, la amplificación es infinita; nos encontramos en el caso de la resonancia, y si T' es muy grande con respecto a T , la amplificación está muy próxima al valor cero.

A consecuencia de esta dependencia entre la amplificación, el período propio y el movimiento del suelo, no se puede emplear en la práctica de la prospección un péndulo vertical libre de la clase que estudiamos. Es preciso dotarle de amortiguación y evitar las perturbaciones producidas por sus oscilaciones propias, que son de mucha importancia.

APARATO DE MINTROP. — Como ejemplo de un aparato perteneciente a este grupo, que se emplea con éxito en la práctica de la prospección sísmica, describiremos el sismógrafo de Mintrop, construido por Heiland.

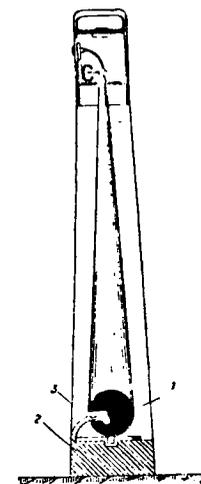


Fig. 13.

a) *Sismógrafo.* — La masa 1 (fig. 13) está sujeta a un muelle plano 3, como en el péndulo de Vicentini, unido a una peana de hierro 2. Sobre la masa se apoya un cono de chapa de aluminio, de muy poco espesor, que sirve de palanca amplificadora del movimiento de la masa. Este cono está unido por su vértice con una pletina delgada de hierro curvada en ángulo recto, $a b a' b'$, figura 14, y termina en su parte superior en una barrita cuya superficie sirve para transmitir, por rozamiento, las oscilaciones de la masa. Para disminuir el peso se ha vaciado en su interior, un rec-

tángulo. Perpendicularmente a la varilla, o sea en posición vertical, hay otra análoga tangente a la primera en su punto medio y susceptible de girar alrededor de su

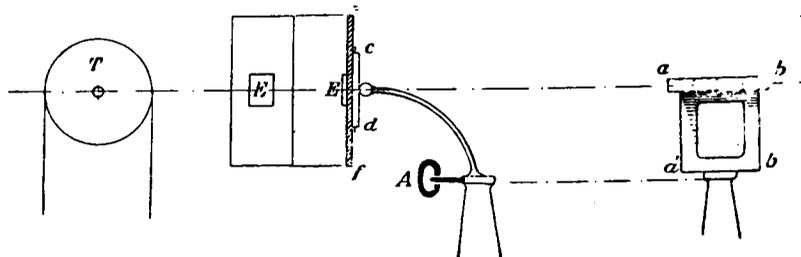


Fig. 14.

eje. La varilla cd sirve de soporte a una placa ef , en cuyo centro hay un espejo plano E .

Los movimientos de la masa pendular, bajo la influencia de las oscilaciones del suelo, se transmiten a la varilla ab por medio del cono de aluminio. Esta varilla se mueve irregularmente y no puede producir sobre la cd más que giros alrededor de su eje que, como hemos dicho, es vertical. Por consiguiente, el espejo participará del mismo movimiento y los rayos luminosos incidentes, que proceden de una lámpara eléctrica, colocada convenientemente, se reflejarán desplazándose horizontalmente sobre un tambor colocado en una cámara oscura, con el eje de rotación horizontal y perpendicular al plano de la figura, inscribiéndonos el sismograma.

Para aumentar el rozamiento entre ab y cd , ambas varillas están imantadas.

El movimiento vertical del cono de aluminio está amortiguado por medio de una varilla de hierro dulce que se mueve entre los polos de un imán permanente en forma de C .

El aparato tiene una altura total de 80 centímetros y un

peso de ocho kilogramos. En su parte superior tiene un asa, para transportarlo con comodidad.

Al colocarlo en el terreno se debe practicar un pequeño hoyo para hacer desaparecer la tierra suelta y obtener un contacto más íntimo entre la peana y aquél. Después de colocado el sismógrafo en el hoyo y nivelado, por medio de un nivel de burbuja que tiene en su parte superior, se rellenan de tierra los intersticios que resulten y se apisona ésta con los pies, rectificando ligeramente la nivelación, si así es necesario.

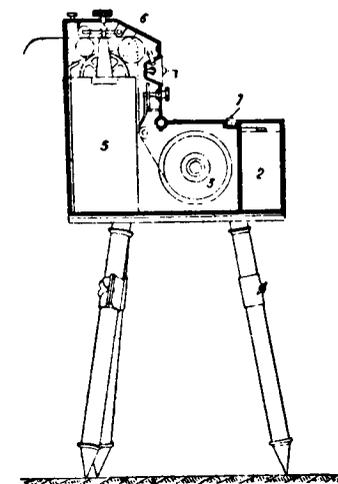


Fig. 15.

b) Aparato registrador.

El aparato registrador está contenido en una caja metálica, en forma de escuadra, colocada sobre un trípode de patas alargables, terminando superiormente en una placa rectangular sobre la que se apoya aquél (figura 15).

En su parte superior hay una lamparita eléctrica, colocada en una pequeña oquedad, que envía el rayo luminoso al espejo del sismógrafo. La corriente eléctrica necesaria para ello está suministrada por una pila seca de dos voltios, colocada en la cámara, 2. La película fotográfica está arrollada en la bobina, 3, y pasa, guiada convenientemente por medio de rodillos, frente a la ventanilla, 4, donde incide el rayo reflejado por el espejo del sismógrafo. En la caja, 5, está colocado el aparato de relojería que sirve para producir el movimiento de la película. Un vibrador colocado en 6, mueve una pantallita provista de un

orificio, que interrumpe el rayo luminoso procedente de la lámpara, a intervalos iguales de tiempo, marcando una serie de puntos o trazos sobre el sismógrafo, que sirven para medir aquél. Este rayo luminoso llega a la película por medio de una lente cilíndrica, colocada debajo de la ventanilla, 4.

El aparato va provisto de un nivel esférico, 7, para colocarlo en posición horizontal por medio del alargamiento o el acortamiento de las patas del trípode.

c) *Práctica operatoria.* —Distinguiremos dos casos. El primero, cuando se trate de perfiles de longitud pequeña, hasta 500 metros, y el segundo para perfiles de mayor longitud, en los que se puede alcanzar, con facilidad, 10 ó 12 kilómetros.

Como ejemplo del primer caso presentaremos la línea sísmica situada cerca de El Molar, efectuada en la investigación de Alcalá de Henares, por el Instituto Geológico y Minero de España, bajo mi inspección inmediata.

En un lugar situado fuera de las vías de comunicación

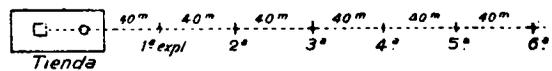


Fig. 16.

colocamos la tienda de campaña, con un solo sis-

mógrafo. Esta tienda sirve de cámara oscura, por lo que ha de cerrarse herméticamente. Se efectuaron seis explosiones sucesivas, a una distancia mútua de 40 metros, según se aclara en la figura 16.

La primera operación es colocar el sismógrafo en terreno firme, y nivelado cuidadosamente con ayuda de su nivel esférico; y la segunda montar el aparato registrador en el trípode, a una distancia de aquél de un metro próximamente.

Al lado del sismógrafo se coloca el aparato indicador

del momento de la explosión, montado en su trípode. Este aparato consta de una bobina, por la que pasa la corriente de una batería de acumuladores, en cuyo interior hay un núcleo

de hierro dulce.

Mientras circula la corriente,

el núcleo atrae

a la armadura

que sirve de soporte a un pequeño espejo y si aquélla se

interrumpe, la armadura, y por consiguiente el espejo,

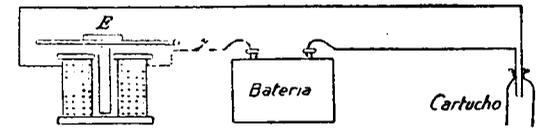


Fig. 17.

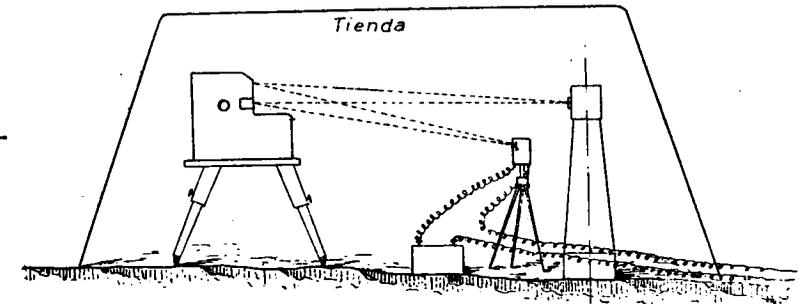


Fig. 18.

quedan libres. La corriente se establece o se interrumpe por la explosión misma del barreno, mediante dos conductores que parten de la bobina y terminan en el detonador. (Figura 17).

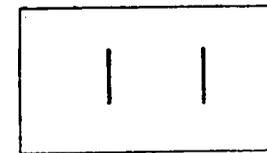


Fig. 19.

Se enciende la lamparita 0, del aparato registrador (figura 18) y los rayos luminosos se reflejan en los dos espejos; en el del péndulo y en el de la bobina, dándonos dos imágenes del filamento de aquéllas. Estas imágenes son dos trazos verticales como los representados en la figura 19. Es preciso colocar estas

imágenes en el trozo de película fotográfica situado bajo la ventanilla *P*, de manera que queden suficientemente separadas. Para conseguirlo, se buscan las imágenes con un trozo de papel blanco, que se aleja o separa de los espejos, hasta que se obtiene la intensidad luminosa máxima, que corresponde a la distancia focal de las lentes colocadas delante de ellos. Como esta distancia es de un metro, las imágenes caerán muy cerca de la ventanilla. Se acerca o retira lo necesario el aparato registrador, actuando también sobre las patas del trípode, hasta conseguir el objeto propuesto.

Se establecen las conexiones eléctricas del circuito del aparato de los tiempos de explosión y se prueba éste abriendo y cerrando un interruptor, para comprobar el movimiento del espejo correspondiente.

Otro operador ha estado preparando la carga del barreno, y una vez terminada avisa a la estación registradora, de viva voz o por teléfono si no se trata de las primeras explosiones, que el barreno está listo, así como separado el personal a prudente distancia.

Un tercer operador, situado fuera de la tienda y al lado

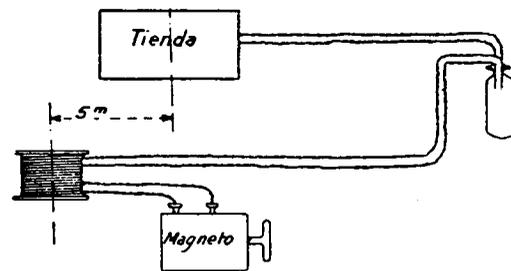


Fig. 20.

de ella, empuña la magneto que ha de enviar la corriente al detonador del barreno, para producir la explosión. (Fig. 20).

El operador del interior de la tienda da una voz preventiva y la ejecutiva de ¡FUEGO!, poniendo a la vez en marcha el aparato de relojería que mueve la película fotográfica. Al oír

la voz de ¡FUEGO! el ayudante situado al lado de la tienda repite en alta voz, y gira la manecilla de la magneto, produciéndose la explosión.

En la película fotográfica queda impresionado el sismograma, que se revela y fija inmediatamente.

Los hilos que van desde el aparato de los tiempos al detonador, se utilizan también para la línea telefónica.

Esta operación se repite para los demás barrenos, en igual forma.

Si hubiésemos colocado seis sismógrafos a la vez, no hubiera sido preciso más que una explosión, lo que economiza notablemente la dinamita.

En el segundo caso, o sea cuando se trata de líneas de gran longitud, como las que hemos efectuado en Alcalá de Henares, para investigar la cuenca cretácea subyacente, situada a más de 1.500 metros de profundidad, es indispensable el empleo simultáneo de varios aparatos, para no consumir una excesiva cantidad de explosivos.

El jefe del equipo elige los emplazamientos de las tiendas y del barreno. En cada una de ellas, el operador correspondiente, realiza las operaciones que hemos descrito, con la única diferencia de que el espejo de los tiempos está accionado por una corriente de alta frecuencia, procedente de un aparato emisor de telegrafía sin hilos, montado a unos 500 metros del lugar de la explosión (fig. 21).

El ayudante que acciona la magneto de encendido, está al lado del operador de la estación radio-telegráfica.

El jefe del equipo recorre en automóvil todos los puntos, cerciorándose de la normalidad de su funcionamiento. Presencia la carga del barreno, y cuando está seguro de la hora a que puede efectuarse la explosión, vuelve a todas las estaciones registradoras, para comunicársela, así como al radiotelegrafista.

Una hora antes empieza éste a transmitir señales convenientes de 15 en 15 minutos, que sirven también para comprobar el estado de los relojes de cada uno. En el mi-

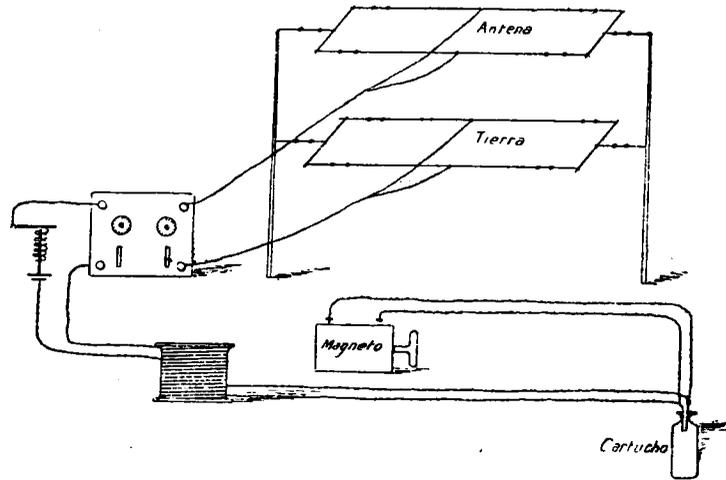


Fig. 21.

nuto anterior a la hora convenida emite señales preventivas, hasta que, al terminar éste, transmite la ejecutiva, dando la voz de ¡FUEGO! simultáneamente. El ayudante que tiene al lado produce la explosión, girando la manecilla de la magneto. Los operadores de los aparatos ponen en marcha sus correspondientes películas, y así se obtienen los sismógramas.

En la investigación de Alcalá de Henares hemos trabajado con cuatro sismógrafos simultáneamente, estudiando perfiles de ocho kilómetros de longitud y aun mayores. Los importantes resultados de esta investigación los hemos expuesto en otro trabajo.

Ya hemos dicho que el tiempo de la explosión se registra por medio del transmisor radio-eléctrico. Desde el detonador del barreno parten dos hilos que van a terminar en un *relais* después de haber intercalado en el circuito

una batería de acumuladores. En el momento de la explosión se cierra este circuito y la armadura del *relais* se desprende, actuando sobre el aparato emisor, que empieza a emitir en aquel instante, haciendo girar el espejo de los tiempos de cada aparato registrador.

Los sismógramas obtenidos se miden de la manera ya explicada, construyéndose las curvas dromocrónicas, como en los aparatos anteriormente estudiados.

Estos aparatos exigen un gasto de dinamita muy considerable. Puede calcularse una caja de 25 kilogramos de dinamita por kilómetro, hasta cinco. De ahí en adelante es preciso de caja y media a dos cajas, por cada kilómetro de exceso. Tienen en cambio, la considerable ventaja de no necesitar los cables que unen los sismógrafos con la estación registradora, que prácticamente limitan la longitud de los perfiles y, por consiguiente, la profundidad de investigación.

APARATO SCHWEYDAR.—La casa Askania, de Berlín, construye un sismógrafo de campo, patentado por Schweydar, que presenta algunas importantes mejoras con relación al primitivo aparato de Mintrop. (Fig. 22).

El Instituto Geológico y Minero de España ha adquirido una instalación completa de estos aparatos, compuesta de doce sismógrafos y sus aparatos registradores correspondientes, con los que su Sección de Geofísica ha efectuado los trabajos de investigación que se describirán en los capítulos posteriores.

a) Sismógrafo.—Es doble, como puede verse en las figuras 23 y 24, para apreciar, tanto la componente vertical como la horizontal. Cada uno de ellos consta de una masa prismática rectangular, unida a un cono de chapa delgada de aluminio, que sirve de palanca amplificadora. En

el vértice del cono hay una horquilla que sirve de soporte a un cabello desengrasado, tendido entre sus extremos, cuya parte media se arrolla sobre el eje de giro de un espejo. Una de las masas está unida al soporte por un muelle plano vertical y por consiguiente, puede oscilar por la acción de la componente horizontal. Es la más alta de las

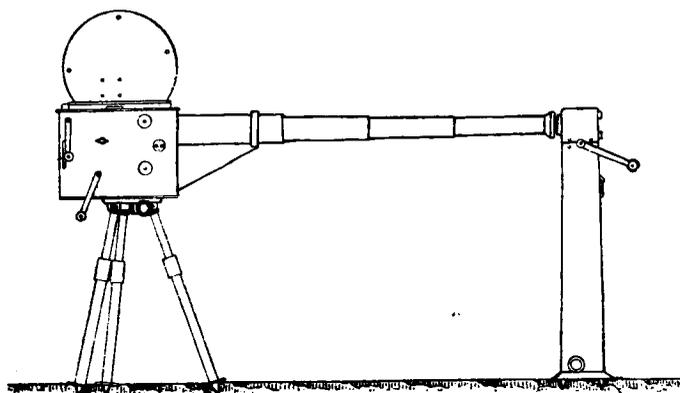


Fig. 22.

dos que se observan en las figuras. El muelle horizontal que soporta a la otra oscilará por la influencia de la componente vertical.

Para disminuir el efecto de su movimiento propio se les ha provisto de amortiguadores de glicerina. Cada una de las masas está unida a los vástagos de dos émbolos, que pueden moverse en sus correspondientes cuerpos de bomba (*a* de las figuras), colocados sobre un pequeño depósito lleno de glicerina. La amortiguación se produce por la resistencia que ésta ofrece para pasar por un pequeño orificio practicado en un tabique interior.

Las masas de los sismógrafos se inmovilizan durante el transporte por medio de unos topes, accionados por los botones cilíndricos exteriores, que se han colocado en la peana.

En la figura 25 se ven, con claridad, los espejos que sirven para reflejar el rayo luminoso que ha de impresionar la película fotográfica del sismograma. También se aprecian en ella las gargantas de los ejes de giro, donde se arrollan los cabellos tendidos en las horquillas.

Cada uno de los ejes está dotado de dos movimientos; uno de giro sobre sí mismo, y otro, alrededor de un eje horizontal, para centrar, con facilidad, las imágenes reflejadas sobre el papel fotográfico. Estos movimientos se consiguen por medio de cuatro botones colocados en la placa posterior, unidos a los engranajes por transmisiones cardan.

La peana está provista de tres puntas, que se clavan en el terreno para lograr un contacto íntimo. En ella se atornilla una envolvente protectora de los sismógrafos (figura 23) que sirve de apoyo a otra que protege los espejos. Esta última está provista de una ventanilla para el paso de los rayos luminosos y de un nivel esférico para la colocación del aparato.

b) Aparato registrador.—El aparato registrador consta de una caja prismática de aluminio, sostenida por un trípode de patas alargables (fig. 26). En su interior se encuentra el papel fotográfico que ha de registrar los sismogramas, accionado por un motor de relojería; el foco luminoso que produce los rayos incidentes en los espejos de los sismógrafos; un oscilador que inscribe en el sismograma la escala de los tiempos y algunos elementos accesorios, como la guillotina para cortar el papel impresionado y una cámara superior, semicilíndrica, que recibe la película durante la marcha del aparato.

El papel fotográfico está contenido en un tambor, visible en la figura 27, fácilmente recambiable por otro, a plena luz, cuando sea necesario. En su tapa tiene una mi-

rilla, protegida con un cristal rojo, para poder comprobar la cantidad de película que contiene. Esta sale del tambor en sentido vertical y pasa entre dos rodillos de goma, que producen la tracción, al girar accionados por el motor de relojería.

En la parte anterior de la caja (fig. 28) está la ranura detrás de la cual pasa el papel y en la que se reciben los rayos luminosos, reflejados en los espejos de los sismógrafos y el orificio de salida del rayo procedente de una lamparita eléctrica, cuyo filamento tiene la forma de una línea vertical.

Para no tener necesidad de revelar la película recién impresionada, en la cámara semicilíndrica (fig. 27), hay un carrete, provisto de funda metálica de protección, que permite arrollarla desde fuera y cerrar después la funda antes de retirarla.

La uniformidad del movimiento del motor se consigue por un regulador de bolas, de fuerza centrífuga, que frena en cuanto la velocidad excede de la normal. En la figura 29 se aprecia la cuerda del motor; los cilindros de goma, entre los que pasa el papel fotográfico, y la guillotina con su manivela.

Otro detalle muy importante del aparato registrador es el oscilógrafo que señala en el sismógrama la escala de los tiempos. Consta, en esencia, según se representa esquemáticamente en la figura 30, de una lámina de acero, firmemente unida a un soporte fijo, en su parte inferior y completamente libre en la superior, que sirve de apoyo a una pequeña pantalla. La lámina está sostenida en tensión, fuera de su posición de equilibrio, por medio de un tope, que se suelta automáticamente al poner en marcha el aparato de relojería. El rayo luminoso procedente de la lamparita eléctrica, dirigido convenientemente por un pris-

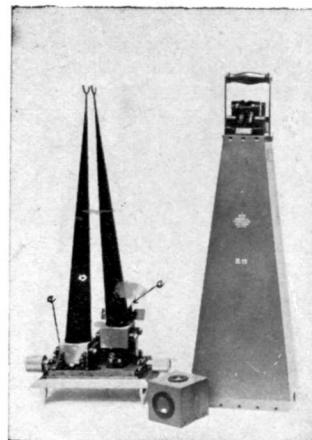


FIG. 23.
Sismógrafo «Askania».

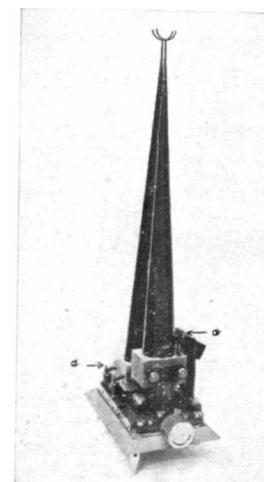


FIG. 24.
Sismógrafo «Askania».

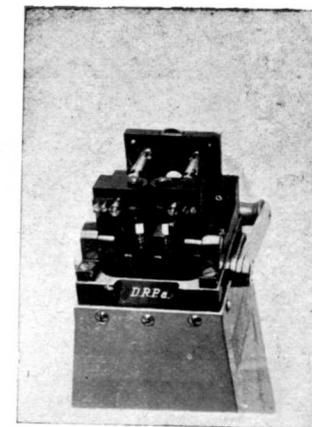


FIG. 25.
Cabeza del sismógrafo
«Askania».

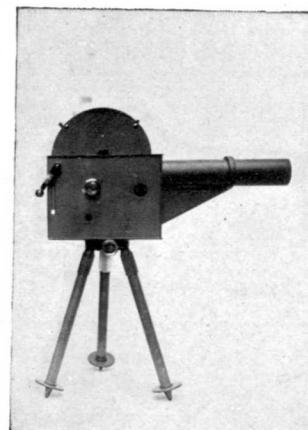


FIG. 26.
Aparato registrador.

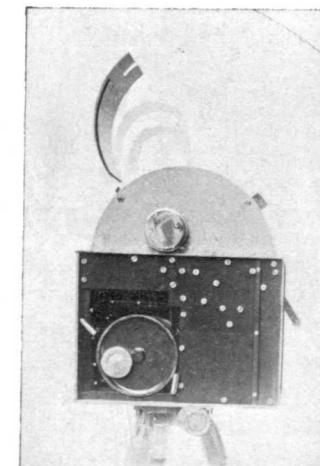


FIG. 27.
Tambor del papel fotográfico.

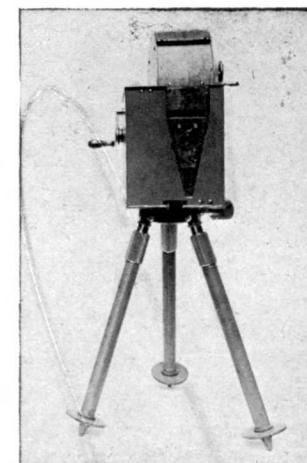


FIG. 28.
Ranura y foco luminoso.

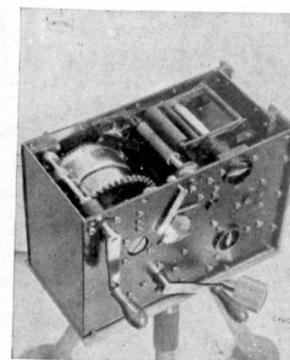


FIG. 29.
Mecánismo del motor.



FIG. 40.
Conjunto de la estación receptora.

ma, incide en el centro de la pantalla, en su posición de reposo, sin poder impresionar la banda fotográfica que pasa por su parte posterior.

• Cuando la pantalla oscila se inscriben en el papel una serie de trazos negros, que corresponden a los pasos de la luz, separados por espacios en blanco, correspondientes a las interrupciones.

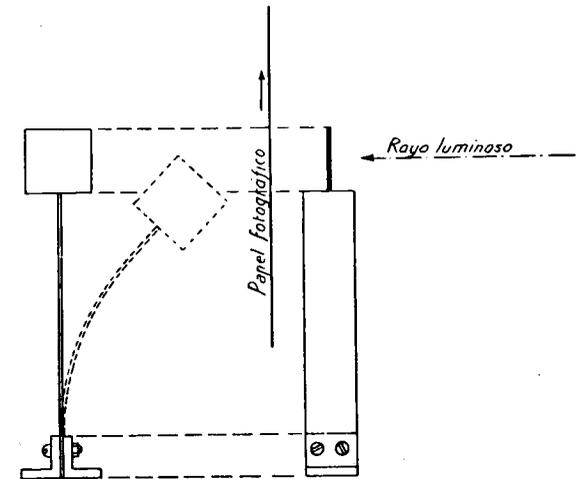


Fig. 30.

El tiempo que representa una oscilación completa o sea un espacio negro y uno blanco es la constante del aparato.

En los pertenecientes al Instituto Geológico y Minero de España un segundo está representado por ocho divisiones, próximamente.

Como elementos accesorios del aparato registrador podemos mencionar el nivel esférico, colocado en su parte superior, y el tubo telescópico, de un metro de longitud, colocado desde el registrador al sismógrafo, para poder trabajar sin necesidad de una oscuridad completa.

Nosotros, sin embargo, preferimos no utilizarlo más que para la puesta en estación del aparato y trabajar en tiendas de campaña de lona doble, de color rojo la interior y gris la exterior.

c) *Procedimiento para registrar el instante de la explo-*

sión, sistema SCHWEYDAR.—El procedimiento general seguido en todos los sistemas que no emplean cables, para registrar el instante de la explosión, consiste en emitir una corriente de alta frecuencia simultánea con aquélla, que se capta en la estación sísmica con un receptor

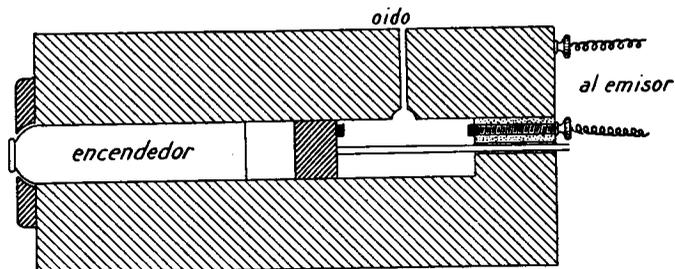


Fig. 31.

apropiado de telegrafía sin hilos. La corriente telefónica procedente de este aparato, amplificada, si es necesario, se hace llegar a un galvanómetro de cuadro móvil, en el que la aguja indicadora está substituída por un espejo.

En ese espejo incide un rayo luminoso, procedente de la lamparita del aparato registrador, que se refleja en la banda fotográfica. Si el espejo está inmóvil, cuando la banda se mueve, se registrará en ella una línea recta; pero si a consecuencia de la corriente captada por el receptor el espejo gira un cierto ángulo, la línea quedará interrumpida y el punto de la interrupción corresponderá exactamente con el instante de haber hecho explosión la carga del barreno, puesto que dada la enorme velocidad de la corriente, podemos despreciar el tiempo que emplea en recorrer todo el circuito.

Según acabamos de exponer es preciso que se produzca simultáneamente la puesta en marcha del emisor de ondas de radiotelegrafía y la explosión de la carga del barreno.

El artificio ideado por SCHWEYDAR consiste esquemáticamente en una pieza de hierro, con un taladro cilíndrico (fig. 31); en uno de sus extremos se coloca un encendedor eléctrico, fuertemente sujeto por una tuerca. En la recámara hay un émbolo que es impelido por los gases de la explosión. Al llegar al tope de su recorrido cierra un circuito eléctrico y el emisor empieza a radiar ondas.

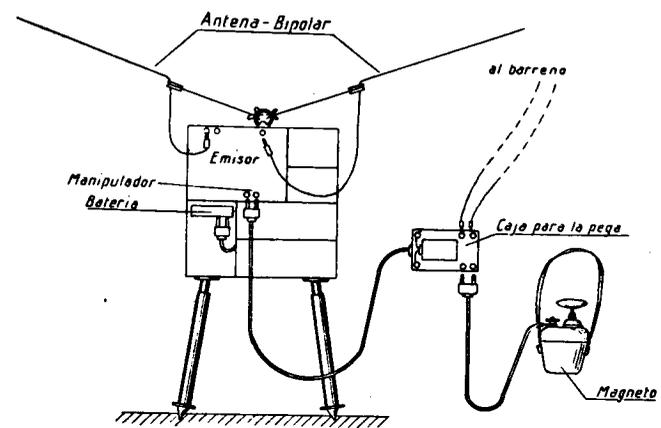


Fig. 32.

El circuito del encendedor está en serie con el detonador del barreno y con la magneto, según se indica en el esquema de la estación emisora de la figura 32 y en la fotografía de la figura 33. Al girar la empuñadura de la magneto se producen los dos efectos deseados.

Las ondas de alta frecuencia llegan al receptor instalado en la estación sísmica, que las transforma en una corriente telefónica. Su intensidad es demasiado pequeña para actuar el espejo galvanométrico y se la eleva por medio de un amplificador de una lámpara, montada en baja frecuencia, cuyo esquema se representa en la figura 34 y su vista de conjunto en la figura 35.

La corriente amplificada, que también se puede oír en

el teléfono, se conduce al mencionado espejo magnético, cuyo fundamento ya hemos explicado. Para aclarar los detalles presentamos los dibujos de las figuras 36 y 37 y la fotografía figura 38.

El conjunto de la estación receptora está visible en la figura 39 y en la fotografía, figura 40. En la figura 39 se ve la caja del espejo magnético, ensamblada en la parte posterior y más elevada del sismógrafo. Esta disposición

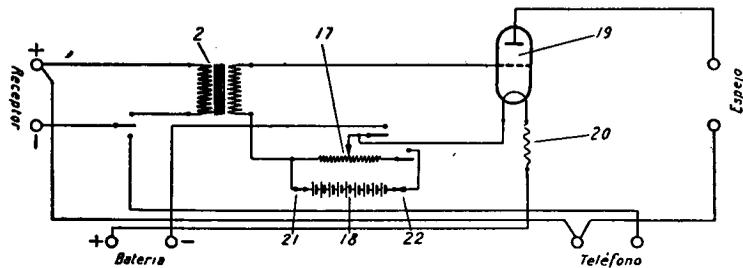


Fig. 34.

dificulta la colocación de las imágenes en la ventanilla del registrador, por cuya razón la hemos modificado, dotando a la caja de un soporte que colocamos a un lado del sismógrafo.

Respecto a los aparatos de radio telegrafía, no creemos necesario entrar en consideraciones, por ser corrientes en el comercio.

La potencia del emisor es conveniente que no sea menor de 10 vatios, para lograr un alcance de 6 kilómetros.

d) *Procedimiento para registrar el instante de la*

explosión sistema SIÑERIZ ()*.—El procedimiento de SCHWEYDAR que acabamos de explicar es práctico para pequeñas distancias, entre el barreno y los sismó-

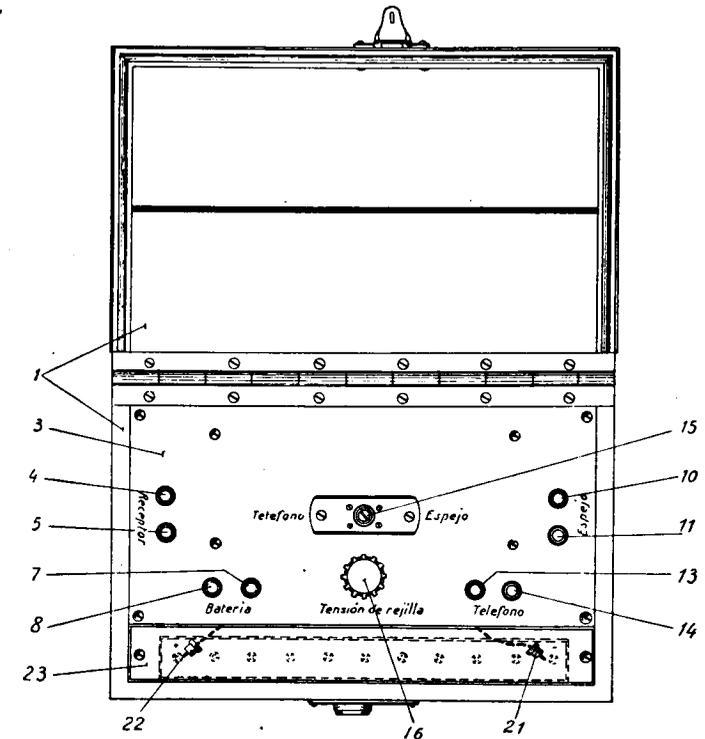


Fig. 35.

grafos, es decir, para pequeñas cargas de dinamita. A medida que aumenta ésta, es preciso alejar también la estación emisora del lugar de las explosiones, para evitar el peligro de ser alcanzada por una piedra. Esto lleva consigo el aumento de la longitud del cable que ha de conducir la corriente al detonador del barreno.

(*) Pendiente de patente por el Instituto Geológico y Minero de España.

La práctica nos ha demostrado que para considerarse seguro de no ser alcanzado por las explosiones de cargas de dinamita superiores a 50 kilogramos, que son muy co-

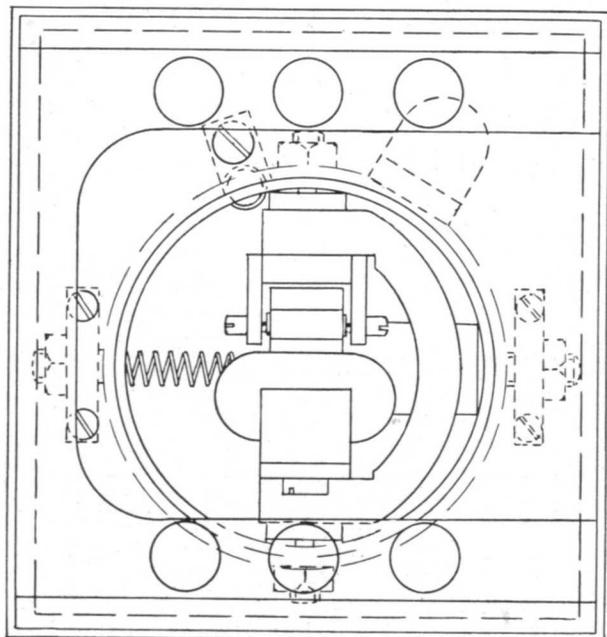


Fig. 36.—Espejo electro-magnético. Proyección vertical.

rrientes, según veremos en los ejemplos que exponemos en los capítulos siguientes, hay que estar situado a una distancia de 500 metros.

La resistencia eléctrica del cable necesario asciende a unos 25 ohmios y a 26 si se incluye la del detonador. Por el contrario, la del encendedor del aparato auxiliar es poco más de un ohmio. Al lanzar la corriente a estos dos circuitos puestos en serie, se funde primero el filamento del encendedor, sin dar tiempo a que lo efectúe el del detonador principal. A consecuencia de ello no se produce la explosión y por lo tanto no hay sismógrafo, a pesar de

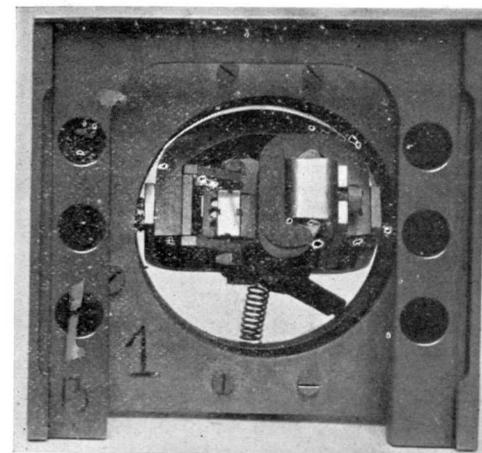


FIG 38. —Espejo magnético



FIG. 42.—Aparato sistema Siñeriz

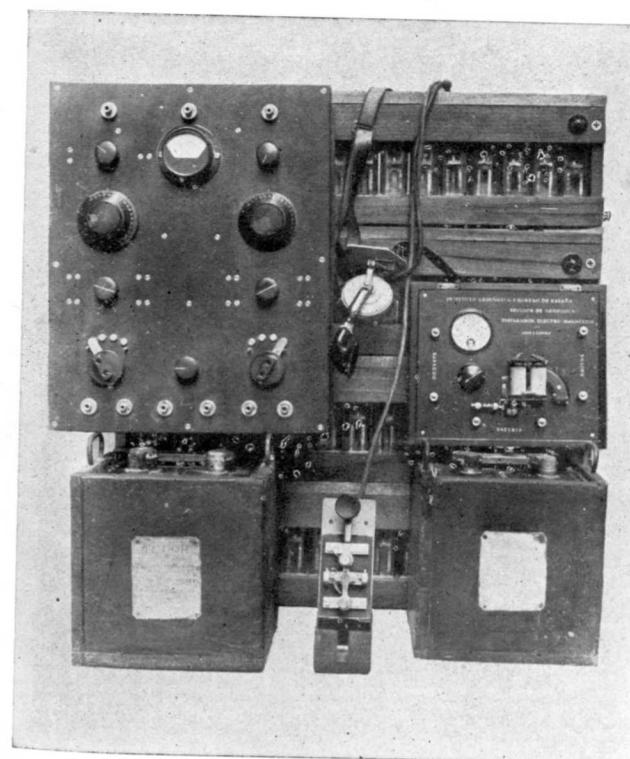


FIG. 43.—Estación emisora del Instituto Geológico



FIG. 33.—Explosión con magneto



haber funcionado el aparato de radio y haberse marcado en aquél el momento en que debiera haberse producido.

Es preciso volver a repetir el disparo, sin garantía al-

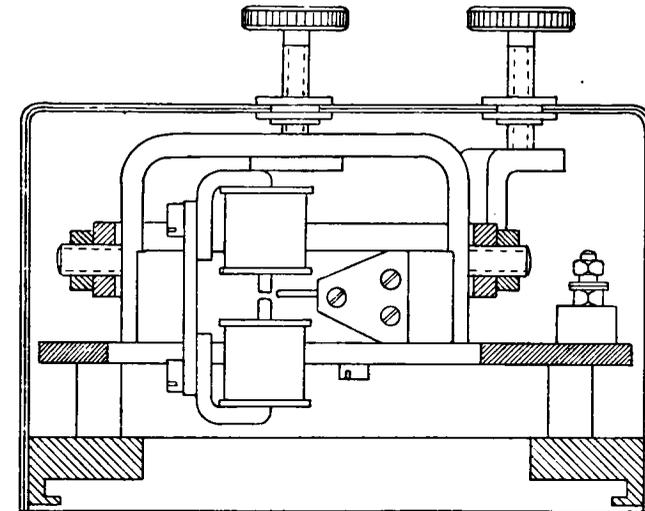


Fig. 37.

guna de que no nos vuelva a fallar. Además es preciso también organizar el trabajo para la nueva explosión, ponerse de acuerdo para la hora, etc., lo que representa una pérdida de tiempo considerable.

Para evitar estos inconvenientes hemos ideado y construido un sencillísimo aparato, que no ha dado lugar al fallo de un solo barreno en más de quinientos en que le hemos empleado.

Según puede verse en la figura 41, consta de un *relai*, en serie con el cable del barreno y su detonador; un amperímetro una resistencia variable de 30 ohmios y una batería de acumuladores de 100 voltios, en lugar de la magneto. Al cerrar el circuito de la batería, el relai atrae su armadura, que termina en un trinquete de retención de

dos contactos de platino (véase la fotografía de la figura 42), y este contacto se establece, cerrando, con ello, el circuito del aparato emisor de telegrafía, que empieza a radiar.

La resistencia de las bobinas del electro-imán es de

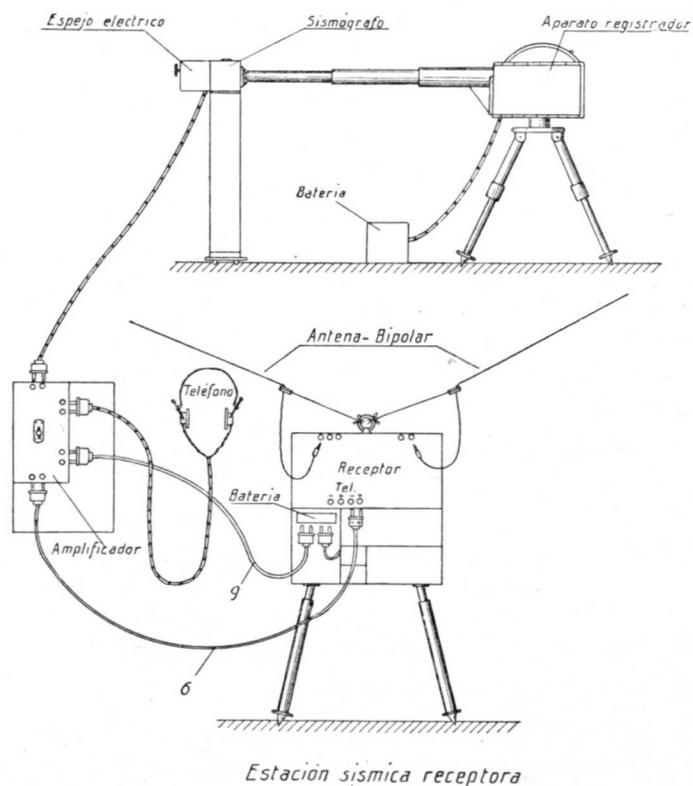


Fig. 39.

20 ohmios y la del cable exterior varía entre 5 y 26 ohmios, según ya hemos dicho. Por medio de la resistencia del aparato podemos conseguir una resistencia total, invariable de 50 ohmios, o sea una corriente de 2 amperios, cualquiera que sea la longitud del cable empleado para conducirla al barreno.

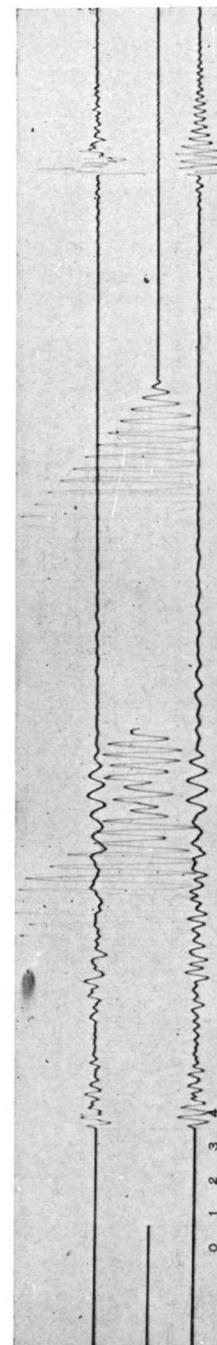


FIG. 44.—Sismógrama obtenido por el procedimiento Siñeriz.

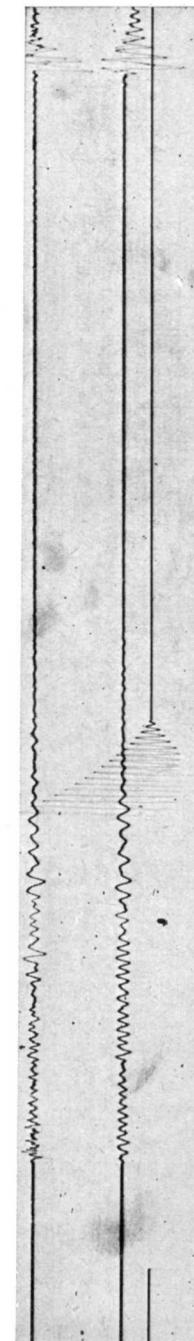


FIG. 45.—Sismógrama obtenido por el procedimiento Siñeriz.



El amperímetro nos permite comprobar la corriente que circula por el circuito, antes de unirle al detonador, y en el momento mismo de la explosión.

Este aparato suministra, además, una gran garantía para evitar los accidentes gravísimos que pudieran resultar de una explosión intempestiva, puesto que para conseguirla hay que hacer las conexiones de los cables, girar el mando del reostato y cerrar el circuito de la batería.

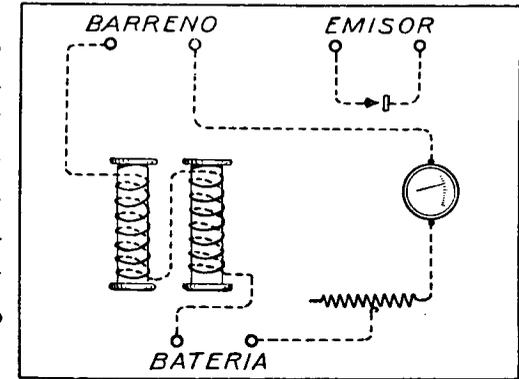


Fig. 41.

e) *Práctica operatoria.* — Una vez

elegida la dirección y longitud del perfil sísmico, es necesario fijar la situación del barreno y la de las estaciones sísmicas, para medir, con cinta, la distancia que les separa. El lugar de los barrenos debe elegirse en una barranca profunda, para disminuir el peligro de la proyección de piedras y encontrar terreno propio para su perforación.

Después se monta la estación emisora de telegrafía en un montículo, con horizonte despejado, y se tiende el cable necesario, desde la estación al barreno.

Simultáneamente se instalan las estaciones sísmicas de que conste el equipo, por cada uno de los operadores. Se empieza por apisonar fuertemente el emplazamiento del sismógrafo con un pisón de hierro. Después se coloca éste perfectamente hincado en el terreno por las tres puntas de que está provista su peana y aún es conveniente mar-

tilar alrededor con un mazo de madera, para conseguir una adherencia completa, entre el terreno y la base del sismógrafo, que debe quedar nivelado.

Después, se nivela el aparato registrador, con su trípode de patas alargables y se le coloca a la distancia del sismógrafo que corresponde a la longitud del tubo telescópico.

Se monta el aparato de radio, la caja del amplificador y el espejo electro-magnético; se centran las señales luminosas en un trozo de papel, colocado delante de la ventanilla del registrador y ya está la estación lista para prestar servicio.

En este momento el operador pone una señal en el exterior de su tienda; una bandera blanca, por ejemplo. En algunos casos, es cómodo substituir la bandera por un cohete.

Cuando el jefe del equipo ha comprobado que todas las estaciones han hecho la señal convenida, emite telegrafía para que sintonicen los receptores y puedan probar el funcionamiento del espejo.

Las estaciones telegráficas del Instituto Geológico y Minero de España, se las caracteriza por la letra griega α (\dots) y emiten la V (\dots), por ser de las que menos se emplean en las comunicaciones.

Una vez que todos los operadores han conseguido su objeto, añaden una segunda bandera a la primera o disparan dos cohetes, según los casos.

Entonces, el jefe les comunica la hora en que dará fuego al barreno, después de las señales reglamentarias, que consisten en:

3 V seguidas (\dots) (\dots) (\dots)

3 α seguidas (\dots) (\dots) (\dots)

3 rayas largas ———— ———— ————



FIG. 46.—Transporte de un equipo sísmico *Fot. Siñeriz*



FIG. 47.—Carga de 150 kilogramos de dinamita, para un barreno de gran potencia.

Fot. Siñeriz

Otras 3 ídem _____

Una raya muy larga _____

Al oír la última raya, todos los operadores ponen en marcha el papel fotográfico de sus respectivos aparatos a la vez que el jefe del equipo cierra el contacto de la batería y produce la explosión.

El conjunto de la estación emisora del Instituto Geológico y Minero de España, puede verse en la figura 43.

Inmediatamente se procede al revelado y fijado de los sismógramas, que deben resultar con la claridad de los representados en las figuras 44 y 45, con lo que está terminado el trabajo.

Se recogen los aparatos y se trasladan a la estación que tengan designada, por el medio de transporte que permitan las condiciones del terreno. La fotografía de la figura 46 representa el transporte de un equipo, por medio de tres caballerías.

f) Elementos auxiliares.—Para la perforación de los barrenos se emplean las mismas herramientas que para instalar los postes telefónicos; una barrena de acero y una pala de cuchara, a más de las generales. Así se puede perforar con relativa rapidez, un pocillo de 2,50 metros de profundidad por 0,30 de diámetro, apto para la carga de 60 kilogramos. Para mayores cargas, hay que preparar verdaderos pozos, con todos los elementos necesarios.

La profundidad a que se coloca la carga, tiene tanta importancia como su cantidad. Nosotros seguimos la regla de profundizar un metro por cada 25 kilogramos de dinamita.

Antes de dar fuego al barreno hay que medir el valor de la resistencia del cable, por medio de un óhmetro, para cerciorarse de su continuidad eléctrica, así como del estado de su aislamiento. En las fotografías de las figuras

47, 48 y 49 se representan la carga de un barreno de gran potencia y su explosión en dos instantes sucesivos, con un intervalo de unos 10 segundos, vista a la distancia de 500 metros.

g) *Medición y cálculo de los sismógramas.*—Una vez revelados y fijados los sismógramas de campo, es preciso

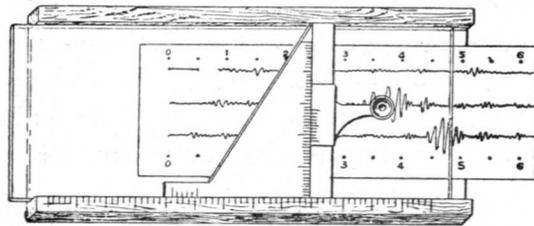


Fig. 50.

proceder a su medida. La primera operación que hay que efectuar es marcar, con un lápiz, el punto de cada sismógr-

ma que corresponde a la llegada de la primera onda. (Véanse las figuras 43 y 44).

Sucede muy frecuentemente que llegan dos ondas con un intervalo de tiempo muy pequeño, en cuyo caso se deben señalar los dos puntos. También suele suceder que alguno de los sismógrafos no haya funcionado en buenas condiciones y se deba desechar su gráfica correspondiente.

El tiempo, según hemos dicho, está registrado por medio de unos trazos marginales colocados en la parte inferior del sismógrafo. La distancia entre cada dos equivale a 0,0625 de segundo y es igual, próximamente, a cinco milímetros y medio.

El instante de la explosión señalado por la interrupción del primer sismógrafo, queda comprendido entre los extremos de uno de los trazos citados, o después de uno de ellos. Se toma como origen de los tiempos el del trazo y se le numera con la cifra cero, aumentando una unidad por cada uno de los sucesivos, o sea cada 11 milímetros aproximadamente.



FIG. 48.—Explosión del barreno de la figura 47. Fol. Siñeriz

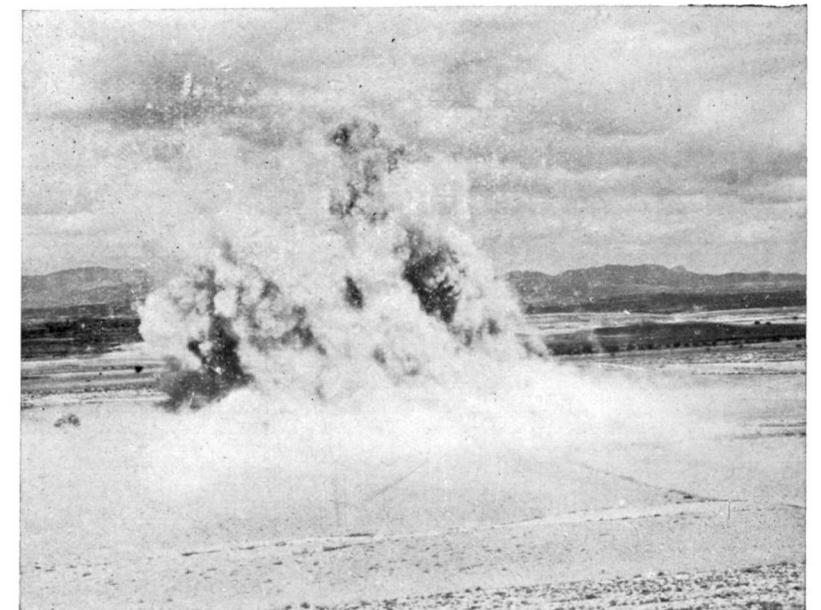


FIG. 49.—La anterior explosión 10 segundos después. Fol. Siñeriz.



El aparato (fig. 50) que se emplea para efectuar la medición consta de un bastidor de hierro que sirve de marco a un cristal plano, no enrasado, con los cantos metálicos. Sobre este cristal se coloca otro análogo, que tampoco llega a enrasar con aquéllos. Una escuadra metálica apoyada sobre el cristal superior y perfectamente enrasada con el canto graduado del bastidor, puede deslizarse a lo largo del mismo. Por medio del nonius de que está provista puede determinarse su situación, en décimas de milímetro. A lo largo del otro canto de la escuadra, también graduada en milímetros, puede deslizarse una corredera provista de nonius que sirve de soporte a un microscopio, cuya cruz filar está enfocada sobre el sismógrama sujeto entre los dos cristales.

Como el microscopio es de mucha amplificación, los trazos se ven de gran tamaño, apreciándose muy bien la posición de su extremo, con el que se coincide uno de los hilos de la cruz del retículo.

A pesar de que el aparato registrador posee una velocidad muy uniforme, no es posible conseguir que esta uniformidad sea completa y la distancia entre cada dos puntos oscila unas décimas de milímetro, sobre el valor medio de once milímetros.

Para eliminar el error producido por esta causa, se determina la velocidad del papel entre cada dos de los trazos enumerados.

La medición se anota de la manera siguiente: En la primera columna se anotan todos los puntos del sismógrama sobre los que se va a llevar la cruz filar del microscopio y en la segunda las lecturas correspondientes en décimas de milímetro. En la tercera se anotan las diferencias parciales, que en la cuarta se refieren a partes alicuotas de división. En la quinta, se refieren todos los valores al

instante de la explosión, restándoles el correspondiente a ella.

Como ejemplo, presentamos el cálculo de uno de los sismogramas de la investigación efectuada en Suria.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Investigación sísmica en Suria. Línea III. Barreno 4. Carga 75 kgs.
Posición 7. Observador Sr. Cantos.
 $\Delta = 3.920$ mts.

| | LECTURAS | | | DIFERENCIA | PARTES DE DIVISION | CORRECCIONES | SEGUNDOS |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------|------------|--------------------|--------------|----------|
| | 1. ^a | 2. ^a | Media | | | | |
| Origen | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| Explosión | 3.70 | 3.75 | 3.75 | 3.75 | 0.384 | 0 | |
| Punto 1 | 9.75 | 9.75 | 9.75 | 9.75 | | | |
| Punto 7 | 68.25 | 68.30 | 68.30 | | | | |
| Componente V. | 71.5 | 71.4 | 71.45 | 3.15 | 7.323 | 6.939 | 0,8798 |
| Componente ... | | | | | | | |
| Punto 8 | 78.1 | 78.0 | 78.05 | 9.75 | | | |
| Punto 94 | 918.3 | 918.3 | 918.3 | | | | |
| Sonido | 925 | 925 | 925 | 6.7 | 94.684 | 94.300 | 11,957 |
| Punto 95 | 928.1 | 928.1 | 928.1 | 9.8 | | | |

Sismógrafo 26. }
Registrador 27. } Constante = 0,1268
Radio 14.
Espejo 26.

Suria, a 23 de febrero de 1930.

§ 10. Aparatos para la determinación de la aceleración. — Si el soporte de un sismógrafo experimenta oscilaciones sinusoidales de período T' y de amplitud a , la velocidad de su movimiento, en el tiempo t , sin considerar el rozamiento está dado por la fórmula,

$$V = a \frac{2\pi}{T'} \cos \frac{2\pi t}{T'} (*)$$

y la aceleración por la

$$G = a \left(\frac{2\pi}{T'} \right)^2 \sin \frac{2\pi t}{T'}$$

Las velocidades máximas corresponderán al valor

$$\cos \frac{2\pi t}{T'}$$

igual a la unidad, o sea para

$$t = 0 = \frac{T'}{2} = T' = \frac{3}{2} T' = 2 T' = \dots$$

es decir, para el momento inicial de todos los semiperíodos, que corresponde al paso del péndulo por su posición de equilibrio.

Los máximos de las aceleraciones corresponden a los valores

$$t = \frac{1}{4} T' = \frac{3}{4} T' = \frac{5}{4} T' = \dots$$

Estando por consiguiente, retrasados un cuarto de período, con respecto a los anteriores, o sea en la posi-

(*) Los Métodos geofísicos de prospección. J. G. Siñeriz. 1929.

ción de elongación máxima. Si el período propio del sismógrafo T , es muy grande con relación a T' , los valores correspondientes al movimiento de su masa, serán los mismos con signos contrarios. El valor absoluto del máximo de la velocidad es

$$a. \frac{2\pi}{T'}$$

y el de la aceleración

$$a. \left(\frac{2\pi}{T'}\right)^2$$

Para la misma amplitud a el valor de la aceleración crece con la inversa del cuadrado de T' , mientras que el de la velocidad varía sólo con

$$\frac{1}{T'}$$

de modo que los aparatos que midan las aceleraciones, están muy indicados para estudiar los movimientos muy rápidos y de pequeña amplitud.

A esta clase de aparatos se refieren los antiguos instrumentos sísmicos de baño de mercurio, consistentes en un depósito de pequeña altura, lleno de mercurio hasta sus bordes. A cada impulso se derrama una pequeña cantidad de líquido, del lado de donde procede, suministrando una medida relativa de su intensidad. Si los impulsos son muy pequeños se producen ondulaciones en la superficie del mercurio, que pueden registrarse por el procedimiento fotográfico.

En el día de hoy se construyen aparatos de campo para medir las aceleraciones, en cajas de hierro, estancas al polvo y al agua, dotados del registro galvanométrico fotográfico y cuyo fundamento es el siguiente:

La masa M de un sismógrafo vertical ejerce una presión P sobre un apoyo situado en la peana, merced a la tensión del muelle de que está suspendida. Esta tensión puede medirse uniendo la masa a un hilo que asciende verticalmente para descender en igual forma, después de pasar por la garganta de una polea. Colocando pesos crecientes en el extremo libre, llegaremos a un cierto valor para el que la masa del sismógrafo se levantará de su apoyo, equilibrando exactamente la presión ejercida por el muelle. Podremos sentar, por consiguiente:

$$P = m. g \text{ dinas}$$

La fuerza de la gravedad que actúa sobre la masa M , es Mg dinas, siendo g la aceleración de la gravedad. Si el sistema recibe una aceleración a en sentido vertical descendente, la presión que ejerce la masa sobre su apoyo disminuirá en Ma dinas. Mientras Ma sea menor que mg , la masa seguirá sobre su apoyo, en el momento de alcanzar el valor de la aceleración límite a_0 dejará de estar en contacto. Este valor se deducirá de la igualdad,

$$Ma_0 = mg. \quad a_0 = \frac{mg}{M}$$

La masa M se puede determinar en una balanza; la m ya hemos explicado como puede calcularse, con lo que resulta conocido el valor a_0 .

En la práctica, el momento de la separación se aprecia por medio de un contacto eléctrico, colocado entre la masa y su apoyo (*). De este contacto parten dos conductores a uno de los lados de un puente de Wheastone, en cuya diagonal se ha colocado un galvanómetro de cuerda.

La presión de la masa sobre su apoyo es regulable por

(*) Grunmach. Analen der Physik. Serie 1-4. Leipzig.

un procedimiento electro-magnético, lo que permite regular también el valor de la aceleración límite.

El aparato está dentro de una caja de hierro estanca al polvo y al agua y se emplea de la misma manera que los que hemos descrito anteriormente.

Su funcionamiento es, también análogo. Al variar las aceleraciones del movimiento del suelo, varía la resistencia eléctrica del contacto y desaparece el equilibrio del puente de Wheastone, previamente compensado. Por su diagonal pasa una corriente que hace oscilar el hilo del galvanómetro, cuyo movimiento sirve para la inscripción del sismógrafo.

Si las aceleraciones del suelo son muy pequeñas, hay que tener en cuenta la variación de la tensión del muelle con la temperatura, y por consiguiente, la de la presión sobre el apoyo.

CAPÍTULO III

LA INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE LAS MEDICIONES SÍSMICAS

§ 11. **Determinación de un horizonte geológico horizontal.**—Una vez calculados los valores de T , que corresponden a cada sismógrafo, se construye la línea dromocrónica del perfil estudiado, que supongamos sea la representada en la figura 51. En ella observamos cuatro alineaciones de puntos, que nos caracterizan otros tantos horizontes geológicos distintos, cuyas velocidades respectivas llamamos V_1 , V_2 , V_3 y V_4 .

Si los puntos están en alineaciones perfectas, las velocidades anteriores serán las cotangentes de los ángulos θ_1 , θ_2 , θ_3 y θ_4 ; pero si, como es lo más frecuente, no sucede así, se deben tomar los promedios de las velocidades parciales,

$$\left. \begin{aligned} V_{0-1} &= \frac{\Delta_1}{T_1} = V_1 \\ V_{1-2} &= \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{T_2 - T_1} = V_2 \\ V_{2-3} &= \frac{\Delta_3 - \Delta_2}{T_3 - T_2} = V_3 \end{aligned} \right\} V_1 = \frac{1}{3} (V_1 + V_2 + V_3)$$

y lo mismo para V_2 , V_3 y V_4 .

En el caso considerado, tanto la gráfica como el valor numérico, nos indican que V_3 es menor que V_2 , y por consiguiente no podremos aplicar la teoría expuesta en el

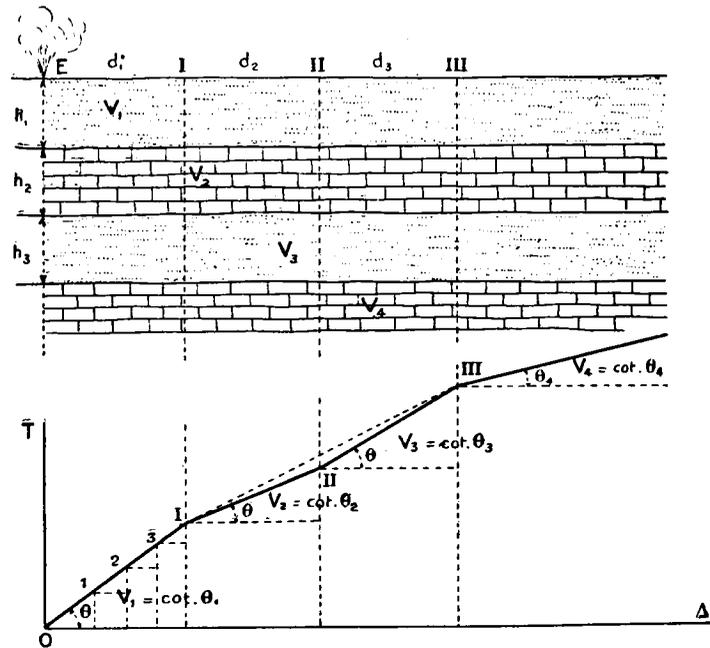


Fig. 51.

párrafo 3, para el cálculo de profundidades del tercer horizonte considerado y de todos los subyacentes.

El procedimiento aproximado que se emplea generalmente, consiste en prescindir del codo de la dromocrónica, que vuelve su convexidad hacia abajo y considerar únicamente el que sigue, que corresponde a la capa de mayor velocidad V_4 . Es decir, que consideramos como un solo horizonte el formado por los dos grupos de capas de velocidades V_2 y V_3 , y calculamos la suma de sus profundidades $(h_2 + h_3)$, en la hipótesis del rayo normal, que es el que llega a los sismógrafos.

El procedimiento es muy erróneo, según puede explicarse fácilmente. En el codo III de la dromocrónica se verifica, considerando todos los horizontes, independientemente,

$$T_3 = \frac{2h_1}{V_1} + \frac{2h_2}{V_2} + \frac{2h_3}{V_3} + \frac{d_1 + d_2 + d_3}{V_4} \left\{ \begin{array}{l} 2h_2 + \\ T_3 = \frac{2h_1}{V_1} + \frac{d_1 + d_2 + d_3}{V_2} \\ + \frac{2h_2 \cdot V_2}{V_3} = (d_1 + d_2 + d_3) \left(1 - \frac{V_2}{V_4}\right) \end{array} \right.$$

Esta ecuación es exacta, pero no es posible resolverla. Si consideramos, ahora, como uno solo, el conjunto que forman el segundo y tercero, podremos escribir:

$$T_3 = \frac{2h_1}{V_1} + \frac{2(h_2 + h_3)}{V_2} + \frac{d_1 + d_2 + d_3}{V_4} \left\{ \begin{array}{l} 2(h_2 + h_3) = \\ T_3 = \frac{2h_1}{V_1} + \frac{d_1 + d_2 + d_3}{V_2} \\ = (d_1 + d_2 + d_3) \left(1 - \frac{V_2}{V_4}\right) \end{array} \right.$$

La ecuación errónea resultante nos permite calcular el valor de $(h_2 + h_3)$. El error cometido depende de la diferencia

$$\varepsilon = 2 \left(h_2 + \frac{h_3 V_2}{V_3} \right) - 2(h_2 + h_3) = 2h_3 \left(\frac{V_2}{V_3} - 1 \right)$$

Cuando V_3 difiera poco de V_2 , el error cometido es insignificante. En cuanto disminuye V_3 crece rápidamente con h_3 . Para V_3 igual a la mitad de V_2 se hace igual a h_3 .

Estas consideraciones nos hacen ver la imposibilidad de resolver exactamente el problema del cálculo de pro-

fundidades, si la velocidad de propagación de las ondas no aumenta constantemente hacia abajo.

La práctica adquirida en nuestras numerosas investigaciones nos ha hecho descubrir un método sencillísimo, que suministra indicaciones más aproximadas que el método anterior.

En la hipótesis del rayo normal, única aplicable, en general, para las profundidades de importancia se verifica según el § 3

$$H = \frac{\Delta}{2} \left(1 - \frac{V_n}{V_{n+1}} \right) = \Delta \cdot K.$$

Al factor K le damos el nombre de *coeficiente de profundidad*. Una vez determinado, basta multiplicarlo por la distancia epicentral del codo de la dromocrónica, para obtener la profundidad deseada.

Si se dispone de los datos obtenidos en un sondeo, se le determina directamente y, entonces, los resultados son muy satisfactorios.

Cuando no sucede así, se considera para V_n un valor medio. Así, por ejemplo, en las investigaciones que hemos realizado en la cuenca potásica de Navarra, la capa salina a la que corresponde, próximamente, una velocidad sísmica de 6.000 metros por segundo, está cubierta por otras de margas y yesos alternantes con velocidades inferiores y superiores a 3.000 metros por segundo, respectivamente. Aceptando el promedio de 3.000, el valor de K , resulta igual a 0,25. En toda la cuenca ha variado entre 0,22 y 0,27.

§ 12. Determinación de una falla.—Una falla con salto se manifiesta por una variación brusca de la velocidad, como la representada en las figuras 52 y 53, en que las lí-

neas dromocrónicas quedan reducidas a dos líneas paralelas, unidas por un trayecto de gran inclinación, que puede llegar a ser hasta una línea vertical, si la distancia al foco es suficientemente grande.

La profundidad del salto se calcula con la fórmula

$$\Delta H = \Delta T \cdot \frac{V_1}{\left(1 + \frac{V_1}{V_2} \right)}$$

que se deduce por el procedimiento general empleado para el cálculo de profundidades.

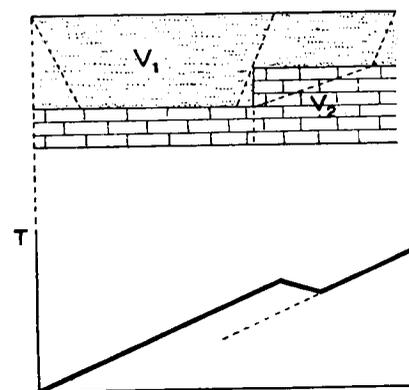


Fig. 52.

§ 13. Determinación de un horizonte geológico inclinado.—Ya hemos dicho en el § 6 la dificultad que presenta el problema de la determinación de la velocidad de las capas del subsuelo, si están inclinadas un cierto ángulo, con relación al horizonte. Para poder estudiar la influencia de esta inclinación, vamos a calcular y discutir los valores reales y aparentes de la velocidad sísmica.

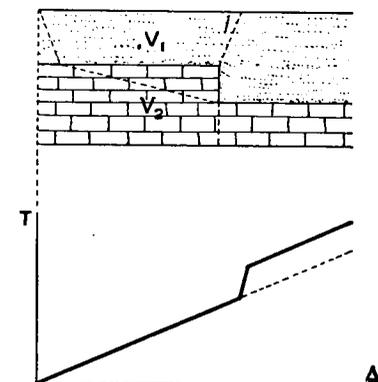


Fig. 53.

a) *Valores reales y aparentes de la velocidad sísmica.* — Consideremos el caso representado en la

figura 11 y supongamos que hemos observado un perfil sísmico en el sentido descendente de las capas y otro en el ascendente. En el primero, consideramos el ángulo α como positivo, y como negativo en el opuesto.

Las líneas dromocrónicas correspondientes a T_{2+} y a T_{2-} nos permiten calcular los valores aparentes de $V_{1\pm}$ y el real de V_1 .

$$V_1 = \cot \theta_1$$

$$V_{2+} = \cot \theta_{2+} = \frac{d \Delta}{d T_{2+}}$$

$$V_{2-} = \cot \theta_{2-} = \frac{d \Delta}{d T_{2-}}$$

Diferenciando respecto a d , los valores de T_{2+} y T_{2-} del § 6, obtenemos:

$$V_{2+} = \frac{V_1}{\sin(\zeta - \alpha)} \quad (*)$$

$$V_{2-} = \frac{V_1}{\sin(\zeta + \alpha)}$$

El ángulo de emergencia e , es:

$$\frac{V_1}{V_{2+}} = \sin(\zeta - \alpha) = \cos[90 - (\zeta - \alpha)] = \cos e$$

$$\frac{V_1}{V_{2-}} = \sin(\zeta + \alpha) = \cos[90 - (\zeta + \alpha)] = \cos e$$

Vamos a estudiar la variación de $V_{2\pm}$, con relación a V_1 , para lo cual construimos la curva

$$f\left(\frac{V_{2\pm}}{V_1}\right) = \frac{1}{\sin(\zeta \mp \alpha)}$$

(*) Schmidt. Zeitschrift. f. Geophysik. 1928.

Para $\alpha = 0$ el valor de la función es

$$\frac{1}{\sin \zeta}$$

que es precisamente el valor de

$$\frac{V_2}{V_1}$$

por lo que V_{2+} se hace igual a V_2 , como tenía que suceder. En la figura 54 representamos el valor de V_1 y el de V_2 . Si α aumenta, en el sentido positivo, la función también aumenta y muy rápidamente. Para $\alpha = 7^\circ$, V_{2+} es doble de su valor real; para $\alpha = 10^\circ$ es triple, etc. Si $\alpha = \zeta$,

$$\frac{V_{2+}}{V_1}$$

es igual a ∞ . La curva está construida en la hipótesis de

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{4}$$

Para valores mayores de α se obtienen valores negativos, que decrecen gradualmente, lo que quiere decir, que a medida que aumenta la distancia epicentral, disminuye el tiempo de recorrido.

Dando a α valores negativos, la función disminuye lentamente hasta que $(\zeta + \alpha) = 90^\circ$, en cuyo caso $V_{2-} = V_1$.

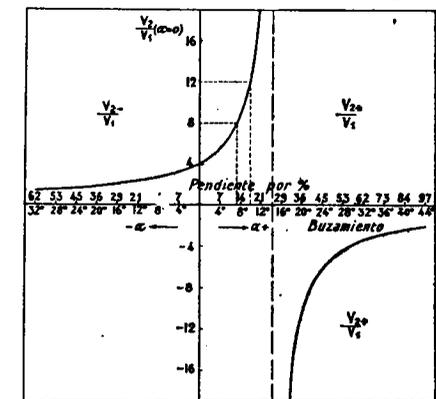


Fig. 54.

hasta que $(\zeta + \alpha) = 90^\circ$, en cuyo caso $V_{2-} = V_1$.

Como consecuencia de ello, podemos observar que el error de apreciación de V_2 es mucho menor, si observamos los perfiles sísmicos en el sentido ascendente de las capas.

b) *Factor de multiplicación.*—En el párrafo anterior hemos visto que $V_{2\pm}$ es una magnitud de la forma $f \cdot V_2$. Al factor f le llamamos *factor de multiplicación*. Supongamos que α sea positivo.

$$\begin{aligned} V_{2+} &= f \cdot V_2 & f &= \frac{V_{2+}}{V_2} = \frac{V_1}{V_2 \sin(\zeta - \alpha)} = \\ &= \frac{V_1}{V_2 [\sin \zeta \cos \alpha - \cos \zeta \sin \alpha]} = \\ &= \frac{V_1}{V_2 [\cos \alpha \sin \zeta - \sin \alpha \sqrt{1 - \sin^2 \zeta}]} \end{aligned}$$

y como

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{V_2} = \sin \zeta, \text{ resulta } f \sin \zeta \cos \alpha - f \sqrt{1 - \sin^2 \zeta} \sin \alpha = \\ = \sin \zeta \text{ o bien } f \cos \alpha - f \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \zeta}}{\sin \zeta} \sin \alpha = 1. \end{aligned}$$

que representa la ecuación de una recta, cuyas variables x e y son $\sin \alpha$ y $\cos \alpha$; el parámetro angular es

$$\text{tang } \varphi = m = \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \zeta}}{\sin \zeta}$$

y el término constante,

$$\frac{1}{f}$$

que hacemos igual a b , o sea

$$y = m x + b.$$

La representación gráfica de esta línea recta es la siguiente:

Haciendo centro en la intersección de dos ejes coordenados rectangulares y con un radio igual a la unidad, tracemos un círculo, figura 55; sobre el eje de las Y , tomemos el valor

$$\frac{1}{f}$$

y a partir del punto así determinado, tracemos una recta que forme con el de las X el ángulo φ . Cortará al círculo en un punto M , de coordenadas $x = \sin \alpha$, e $y = \cos \alpha$, que nos determinará el ángulo de inclinación de los estratos.

c) *Construcción del perfil del subsue-*

lo. — Las relaciones que hemos establecido entre la inversa del factor de multiplicación y el ángulo α , de inclinación de los estratos, nos permiten calcular los valores de esta magnitud, para cada dos puntos sucesivos de la línea dromocrónica y por consiguiente, el perfil topográfico de la capa que constituye el subsuelo.

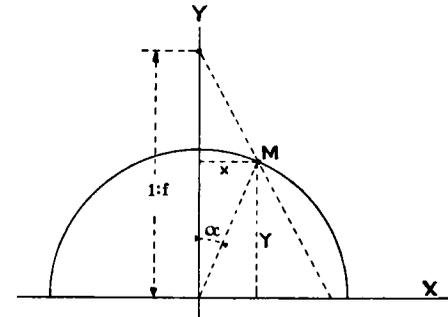


Fig. 55.

Fig. 55. — Las relaciones que hemos establecido entre la inversa del factor de multiplicación y el ángulo α , de inclinación de los estratos, nos permiten calcular los valores de esta magnitud, para cada dos puntos sucesivos de la línea dromocrónica y por consiguiente, el perfil topográfico de la capa que constituye el subsuelo.

Supongamos calculada la línea dromocrónica, en la que V_2 , V'_2 y V''_2 son las velocidades aparentes parciales, en el sentido de los valores positivos de α y determinados los valores reales de V_1 y V_2 .

El valor de V_2 puede determinarse directamente, en

muchos casos, efectuando un perfil sísmico corto, en el lugar donde aflora la capa. También se puede determinar

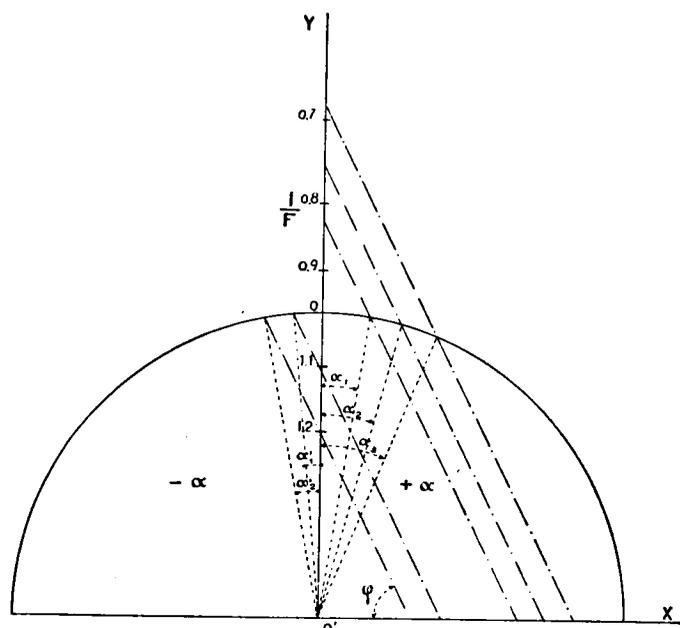


Fig. 56.

su valor aproximado, observando la línea en las dos direcciones opuestas, por medio de la fórmula

$$V_2 = \frac{2 \cdot \cos \alpha \cdot V_{2+} V_{2-}}{V_{2+} + V_{2-}}$$

deducida por Martín (*). Si α es pequeño, se puede hacer $\cos \alpha = 1$, y la fórmula se convierte en

$$V_2 = \frac{2 V_{2+} V_{2-}}{V_{2+} + V_{2-}}$$

El error para $\alpha = 10^\circ$, no llega al 1,50 %.

(*) H. Martín.—Handbuch der Experimentalphysik. Band 25. Dritter Teil.

Ya podemos calcular el valor de

$$\frac{1}{f}$$

para cada lado de la dromocrónica, puesto que es de la forma $V_{2+} = f V_2$ y llevarlo sobre una escala, como la representada en la figura 56. Trazando en ella las rectas que formen el ángulo φ con el eje de las X, obtendremos los ángulos α_1, α_2 y α_3 , buscados. Si por el contrario, consideramos el perfil sísmico en el sentido ascendente de las capas,

$$\frac{1}{f}$$

es mayor que la unidad y los ángulos obtenidos serían α'_1, α'_2 , etc.

Con este mismo principio se puede construir una escala gráfica, que nos de la pendiente del subsuelo por metro de línea sísmica (*).

(*) Zeitschrift für Geophysik. Heft 3. 1927.

CAPÍTULO IV

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS

El Instituto Geológico y Minero de España, en cumplimiento de uno de sus fines primordiales, contrató con las Sociedades anónimas «La Minera» y «La Fodina» la ejecución de un estudio geofísico que permitiese obtener datos de la potencia y profundidad del yacimiento salino que probablemente existía en sus concesiones mineras, situadas en la cuenca potásica catalana, entre las localidades de Suria, Callús y Manresa (*).

Su Director, el Excmo. Sr. D. Luis de la Peña, me ha honrado con el encargo de dirigirlo personalmente, bajo su alta inspección, con la valiosa ayuda del material y personal a mis órdenes de la Sección de Geofísica de nuestro Instituto.

El reconocimiento previo de la zona nos puso de manifiesto que el método sísmico de prospección era el único que en ella podía emplearse con éxito, por reunirse las condiciones fundamentales que exige su aplicación, a sa-

(*) En la misma cuenca, entre Sallent y la última de las localidades citadas, se encuentra una zona reservada para el Estado, que también ha sido objeto de estudio.

ber: la estratificación de las capas es casi horizontal en extensiones de importancia; las velocidades de propagación de las ondas sísmicas van aumentando con la profundidad, por encontrarse sucesivamente de arriba a abajo, areniscas, margas silíceas y calizas, anhidrita y una importante capa de sal de cerca de 100 metros de potencia.

No es posible distinguir sísmicamente los bancos de silvinita y carnalita de los de sal común y también queda algo indeterminada la superficie de separación entre la mencionada sal y la anhidrita, a causa de las capas saladas que se interponen entre ambas.

Las abruptas barrancadas que surcan la zona, producidas por los agentes de erosión, impiden el empleo del método gravimétrico de prospección, por ser casi imposible el cálculo de la acción del terreno (*).

§ 14. Zona de Callús. Prólogo.—La zona objeto de estudio no es de gran extensión, como puede verse en el plano topográfico correspondiente, y a consecuencia de ello es preferible disminuir el número total de kilómetros de perfiles y aumentar, en cambio, el de estaciones, de una manera proporcional, para poder efectuar un estudio más minucioso de aquélla.

Con arreglo a este criterio hemos observado siete líneas sísmicas, de cinco kilómetros de longitud cada una, en las que se han intercalado noventa estaciones útiles, sin tener para nada en cuenta el importante aumento del gasto de dinamita que con ello se origina.

(*) Para facilitar la exposición de este trabajo, vamos a dividirlo en tres partes. En la primera nos ocuparemos de las mediciones sísmicas efectuadas en la región de Callús; en la segunda describiremos las de Suria y Balsareny, y en la restante expondremos las de Sallent.



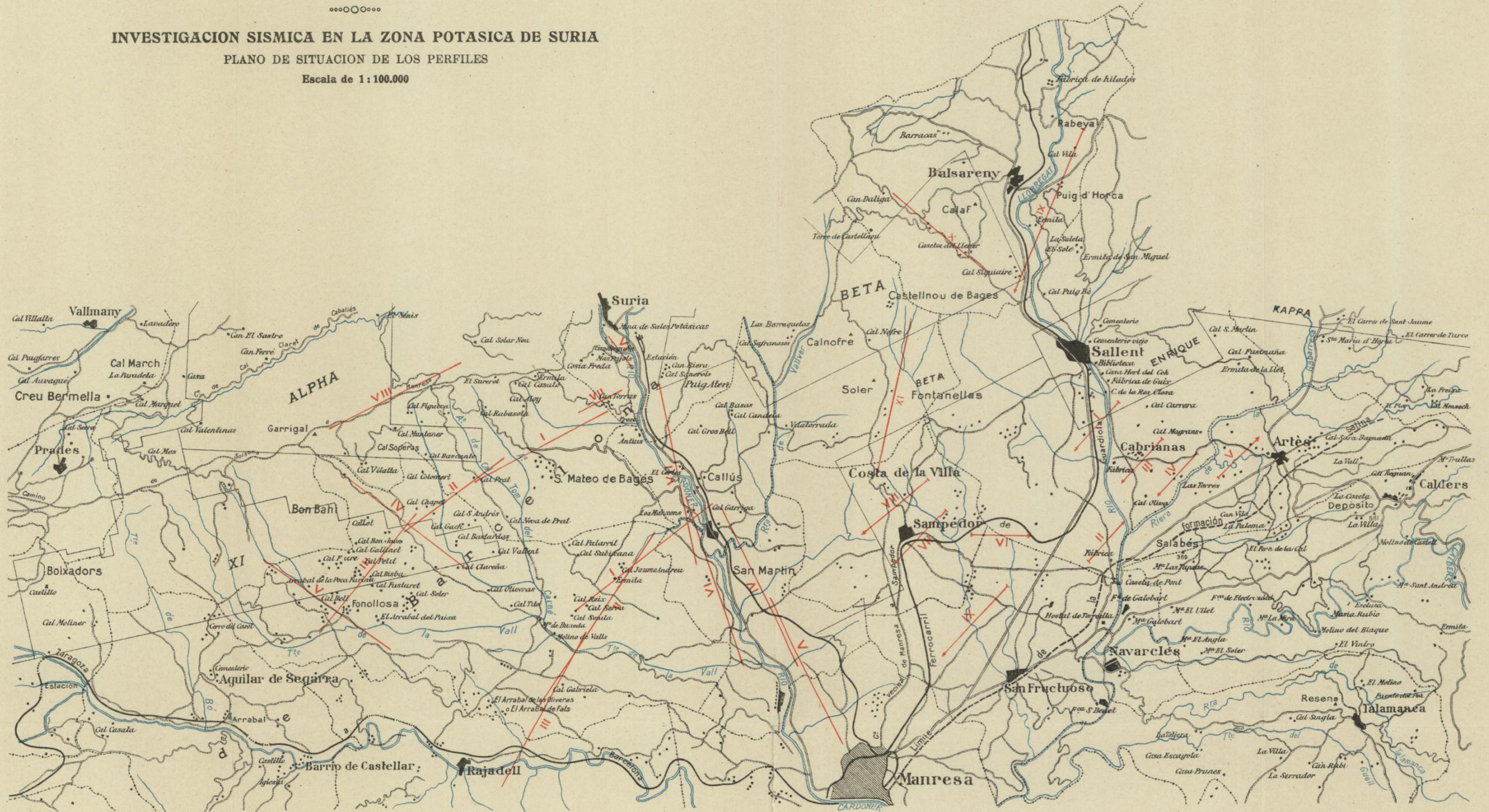
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

○○○○○○

INVESTIGACION SISMICA EN LA ZONA POTASICA DE SURIA

PLANO DE SITUACION DE LOS PERFILES

Escala de 1:100.000



Los sondeos efectuados en las proximidades de la zona, nos ponen de manifiesto que el techo de la sal se encuentra a una profundidad que oscila entre 450 y 800 metros, bajo la superficie del terreno, por cuya razón basta que la longitud de los perfiles sea de unos cinco kilómetros, para que se tenga la seguridad de que el rayo sísmico alcanza y aun pasa de la formación salina.

Antes de ocuparnos de la descripción del trabajo efectuado, daremos una breve reseña geográfica y geológica de la zona, para poder seguir su estudio con más facilidad y orientarse para la interpretación de los resultados.

§ 15. Reseña geográfica y geológica.

a) *Reseña geográfica.*—La cuenca que estudiamos, situada en el valle del río Cardener, está comprendida entre la villa de Manresa y el pueblo de Suria.

Las siete líneas sísmicas efectuadas forman una línea poligonal que parte de las inmediaciones de Antius y se dirige hacia los altos de Rajadell, por el castillo de Fals; dobla al Este, según la vía del ferrocarril del Norte, desde Rajadell a Manresa, para orientarse después hacia el Noroeste por las inmediaciones de Juncadella y Callús, hasta alcanzar de nuevo el punto de origen.

Afecta una forma sensiblemente triangular (véase el plano general), que tiene por base el ferrocarril mencionado, en una longitud de unos 10 kilómetros y por altura o fondo la misma cantidad aproximadamente, o sean unos 50 kilómetros cuadrados, de extensión superficial.

El relieve de la misma, sin ser tan pronunciado como el de Suria, entra desde luego en el rango de las zonas accidentadas, ya que en tan corta superficie existen desniveles que alcanzan y superan a los 200 y 300 metros con relativa frecuencia.

Con relación al nivel del mar, las alturas más notables corresponden a la Sierra de Coll Baix, en las inmediaciones del ferrocarril, entre Rajadell y Manresa. El accidente topográfico más pronunciado es el del Pico de Coll, al Sur de dicha vía, que tiene 560 metros. Siguen en importancia, dentro de la mencionada sierra, el de Coll Baix con 544 y el de Punta Zupata con 507, para terminar al levante, en los altos de Vilatorada, con 306, 312 y 304.

Al Norte de la villa de Manresa y muy próximos a ella, se encuentran, entre otros de menor importancia, el cerro de la Capilla, con 314 metros; el de la Creux, con 304 y otro, dentro ya del casco de la población, con 284, donde se conservan restos de las murallas del derruido castillo, al que debe su nombre.

En la parte central y poniente de la zona de estudio, se alza la meseta que comprende los caseríos de Jaume Andreu, Cal Serra y Moncumil, entre otros, correspondiendo al primero y último 432 y 479 metros respectivamente. Las demás cotas máximas oscilan entre las referidas y los 300 metros.

En los altos de Bogadella, a la izquierda del Cardoner, algunos cerros alcanzan la altura de 400 metros y otros, no muy lejanos, exceden de dicha cifra. El de Cortes, cerca de Callús, tiene 388 metros y la meseta de San Martín de Torruella y Juncadella oscila entre los 260 y 300 metros.

Los valles y tierras bajas intercalados entre las precipitadas alturas, por donde discurre el río Cardoner y sus diferentes afluentes, se extienden entre los 200 y 300 metros de altitud. La primera de dichas cifras corresponde a la llegada del citado río a Manresa y al paso de los torrentes de Rajadell y la Vall por el pueblo del mismo nombre; y el castillo de Fals, a la segunda.

La hidrología está representada esencialmente por la

cuenca del río Cardoner, que cruza la zona en el sentido de Norte a Sur. Tiene por afluentes principales, en su margen derecha, el torrente de Jaume Andreu, originado en las inmediaciones del caserío de su mismo nombre, que desemboca frente a Callús, el de la Vall, que desciende por Fonollosa desde los altos de Castelltellat y pasa por el castillo de Fals hasta incorporarse al Cardoner un kilómetro aguas arriba de la fábrica de San Juan; y el de Rajadell, que cruza repetidas veces el ferrocarril de Lérida a Manresa hasta el kilómetro 296, desde donde se dirige al Sur para incorporarse al Cardoner, hacia el kilómetro 13 de la carretera de Barcelona.

Por la margen izquierda tiene como único afluente la riera de Vallver, que se forma en la conjunción del torrente de Lourdes, con el que pasa a poniente de Calnoffre. Desemboca entre el pueblo de Callús y San Martín de Torruella, después de formar una serie de meandros en la última parte de su curso.

Todos estos torrentes surcan el terreno afectado por las líneas sísmicas, en sentido transversal, y en unión del río Cardoner caracterizan esencialmente la configuración de la zona. Poseen fuertes pendientes por discurrir en terreno accidentado, sobre todo en la primera mitad de su curso, y como todos los de régimen torrencial, presentan variaciones notables en su caudal respectivo.

La zona se encuentra bien dotada de vías de comunicación. Está cruzada por el ferrocarril de Lérida a Barcelona y el de Manresa a Suria, con estación en Callús, y dispone de las carreteras que mencionamos por el orden de su importancia: la de Manresa a Solsona, que pasa por Suria y atraviesa la zona estudiada; la que arranca de Callús y asciende a media ladera hasta San Mateo de Bagés y los altos del Garrigal, aprovechable, dentro de la su-

perficie que consideramos, en sus primeros kilómetros; la de Fonollosa, que arranca en el tercer kilómetro de la carretera general de Manresa, frente al barrio de San Juan, y se desarrolla por el curso del torrente de la Vall, hasta el molino de Buxeda; y por último otras dos más de carácter particular que pueden utilizarse. Una de ellas tiene su origen en la mitad del kilómetro 4 de la precitada carretera de Manresa y se interna hacia el Este alrededor de unos dos kilómetros, y la otra empalma con la de Fonollosa, en las inmediaciones del molino de Buxeda, y sube con suave pendiente hasta coronar la meseta de Jaume Andreu y Moncunil.

Un gran número de caminos y veredas completan la red de las vías de comunicación. Entre los primeros mencionaremos por su buen estado y fácil acceso, el que arranca de las inmediaciones de Manresa, frente al cementerio, sigue sensiblemente paralelo al ferrocarril del Norte y conduce a Rajadell; otro que empalma con la carretera de Fonollosa en el kilómetro 2 de la misma y sigue bordeando el río Cardoner bajo la denominación de camino de Antius, hasta el Molinet, y el que sirvió en otro tiempo de comunicación entre Manresa y Suria, que sale de la mencionada villa entre los cerros de la Creux y Capilla y sigue por la margen derecha de la carretera general de Solsona hasta que se incorpora a ella, en las inmediaciones de Juncadella.

En resumen, la zona de la investigación puede considerarse dentro de las de relieve accidentado, pero de tránsito fácil en la mayor parte de su extensión, especialmente en aquellos lugares que son de mayor interés para los futuros reconocimientos que pudieran intentarse.

b) *Reseña geológica.*—El escaso tiempo destinado al examen del terreno y la reducida extensión de la zona de

estudio, no permiten hacer afirmaciones acerca de las causas originarias de su estructura geológica.

Sin embargo, en la serie de observaciones efectuadas dentro de los límites impuestos, se ve confirmada la intervención de dos empujes importantes; uno de ellos, de carácter predominante, orientado de Norte a Sur, como de aproximación de las cordilleras litoral y pirenaica, que plegó los estratos oligocenos formando la serie de arrugas orientadas de levante a poniente, y otro secundario, que dió lugar a la formación de pliegues transversales de forma diversa, con roturas de los estratos, fallas y en general trastornos estratigráficos que en algunos casos, como en Suria, han puesto al descubierto o aproximado a la superficie algunas capas de importancia industrial.

Combinados todos estos esfuerzos con la acción demolidora de los agentes externos, dieron como resultado la configuración topográfica que aparece ante la vista del observador y la estructura interna que se deduce por los diferentes asomos de dichas capas en la superficie.

En las láminas de esta Memoria se presentan diversos cortes estratigráficos confeccionados con los antecedentes recogidos, que dan idea clara de la precitada estructura y relevan de grandes explicaciones; la lámina II, dibujada con una escala para las ordenadas del terreno cinco veces mayor que para las abscisas, con el fin de que resalten más los accidentes, que en esta zona no están muy acentuados, representa la coronación actual de la cuenca o disposición de los estratos sobre el nivel del río Cardoner en la longitud comprendida entre las inmediaciones de Suria y Manresa,

Como se observa en ella, hay tres pliegues anticlinales que caracterizan la configuración estratigráfica del Oligoceno en la zona estudiada. Uno de ellos, el primero de la

serie, contados de Sur a Norte, corresponde a las inmediaciones de Manresa, tiene forma monoclinial, apoyándose su única rama septentrional sobre las calizas eocenas, al Sur de dicha villa (en otro lugar expondremos las razones que nos indujeron a establecer la divisoria o contacto de ambos terrenos en dicho punto).

El segundo aparece en concordancia con el torrente o riera de Vallver y en parte denudado por el mismo; y el tercero se le denomina anticlinal de Callús por pasar su eje por el Norte de dicho pueblo.

Este pliegue se une con su inmediato de Suria por la interposición de un profundo sinclinal, cuyo eje pasa por las cercanías de Antius, límite Norte de la zona.

El segundo corte geológico que presentamos, orientado según la dirección determinada por las líneas I, II y III, forma un ángulo horizontal de unos 20° con la dirección de las capas del terreno, en su primera parte, para coincidir después, a lo largo de la línea II y gran parte de la III, con la orientación de aquéllas hasta muy cerca de su terminación, donde, por inclinarse hacia el Sur la última de dichas líneas, vuelve a cortar la estratificación bajo el mismo ángulo aproximado. La intersección del plano del corte con dichas capas, resulta en forma de cubeta alargada, más profunda por el lado oriental que por el opuesto, en razón a que los estratos tienen mayor inclinación (unos 10°) en el primero de dichos sentidos, que en el otro.

Por último, el tercer corte geológico presentado es sensiblemente paralelo a los primeros y está dirigido en el sentido de las líneas VI y VII del estudio sísmico.

Los últimos cortes citados siguen una marcha en cierto modo transversal a la orientación de los pliegues anticlinales de Callús y de la riera de Vallver, y sin embargo no cortan su prolongación, lo que demuestran la solución

de continuidad de los mismos, en la parte occidental. Se observa perfectamente que el río Cardoner limita la marcha de tales pliegues, pues en su margen derecha, así como en el torrente de Jaume Andreu, cerca del kilómetro 13 de la carretera de San Mateo de Bagés, cambia la orientación de las capas en términos tales, que desde la Este-Oeste y Nordeste-Suroeste que poseen en la parte oriental del río, pasan gradualmente a la de Norte-Nordeste Sur-Suroeste en la mencionada margen.

Es decir, que las cuatro ramas de ambos anticlinales cambian de dirección en forma de abanico hasta desvanecerse por completo, con hundimiento aparente de sus flancos, hacia el Poniente.

En las cercanías del castillo de Fals y en la meseta comprendida desde el mismo hasta Rajadell, la estratificación vuelve gradualmente a tomar la dirección Nordeste-Suroeste, por lo que considerada en conjunto desde el origen al final del corte número 1, forma una especie de *S* deformada, cuya parte media corresponde al límite occidental de dichos anticlinales. Esto explica, a su vez, que el límite de la capa de sal tenga la forma de lengua alargada hacia el Sur, según se deduce del estudio de la línea VI.

Las rocas que componen la cuenca son idénticas, en disposición y clase, a las de la zona de Suria. Ocupan ordinariamente las partes geológicamente más elevadas, que en este caso suelen ser también las topográficas, las rocas de origen clástico, de color rojizo, separadas generalmente por capas margosas de mayor o menor espesor.

Están formadas por granos del tamaño de las avellanas y almendras, de naturaleza silícea, en gran parte; de otros calcáreos y, a veces, de trozos de areniscas, trabados todos por un cemento margoso. Tal ocurre en los altos de Bogadella, dentro de la zona oriental del Cardoner; en

las mesetas de Jaume Andreu, Moncunil y los altos de Rajadell, y en toda la sierra de Coll Baix, dentro de la región occidental.

Siguen a este tramo las margas y calizas de color gris claro, a veces, y moreno rojizo otras, con intercalaciones de arenisca; en los niveles más profundos, antes y después de la capa de sal, aparecen los yesos, margas yesosas y bancos de caliza margosa, con algunas areniscas.

La zona de margas yesosas, así como la mayor parte de las capas profundas mencionadas, aparecen superficialmente en la dirección de Manresa. Los yesos se pueden observar en la zona señalada en el corte n.º 1, en la trinchera del kilómetro 3 del ferrocarril de Suria y en multitud de sitios a uno y otro lado de dicho ferrocarril. Se manifiestan formando, generalmente, pequeñas escamas o laminillas y alguna que otra vez en ligeras vetas teñidas por la coloración rojiza de las margas, por lo que son difíciles de reconocer no examinándolos de cerca. Parecen formar los restos de la zona que, más al Norte, constituye bancos de notable potencia.

También es de advertir la gran abundancia de conglomerados, como justificante del borde de la cuenca. Entre estos consideramos de importancia geológica, por lo que han de orientarnos en la fijación de la línea de contacto del Eoceno y Oligoceno, unas capas o mantos que se suceden en diferentes niveles, algunos de los cuales son de una incoherencia tal, que se disgregan con suma facilidad, otros forman verdaderas pudingas; y todos ellos, sin excepción, suelen acusar la presencia de multitud de cantos de caliza numulítica trabados por cementos margosos, de un color que varía entre el gris verdoso y el blanco, con potencias variables.

El primero de tales bancos, véase el corte número 1,

con potencia poco superior a un metro, se encuentra debajo precisamente de la iglesia de Manresa, próximo a una de las cabeceras (la cabecera N.) de la pasarela que une la estación del ferrocarril con la citada villa. Este banco es, sin duda, uno de los que aparecen en el lecho del río Cardoner, hacia la fábrica de San Juan, y asoma también al SO. de Manresa, antes de llegar al torrente que desciende de Rajadell. Sirve de base a unos potentes bancos de arenisca, de donde extraen bloques que, después de labrados, se destinan a guardacantones en las carreteras.

En el mismo lecho del Cardoner, entre la susodicha fábrica de San Juan y el puente del camino de Rajadell, se repiten estos conglomerados, intercalados con margas y areniscas. La mezcla de los detritus de todas estas rocas, forma la tierra de labor en las viñas y olivares de las proximidades de dicho camino.

A continuación de estos segundos bancos, después de nuevos horizontes de margas de colores claros, se encuentra otro que corona el cerro del Castillo, en la misma población de Manresa, al Norte del cual puede observarse el más potente de todos los reconocidos, formando la cobertera del cerro de la Creux. El espesor en este punto es de unos 10 metros, de los cuales los cinco superiores corresponden a la parte de conglomerado relativamente incoherente, que explotan en la localidad para el suministro de grava, y el resto, al espesor compacto que forma una verdadera pudinga.

En el tercer kilómetro del ferrocarril de Suria, próximo a Manresa, hemos podido apreciar, en una trinchera, algún otro banco análogo, aunque de más reducido espesor, entre las margas yesosas y areniscas.

Y por último, en Juncadella y al Este del pueblo de Callús, así como en la margen derecha del río Cardoner, se

presentan otros mantos de conglomerados más o menos coherentes, de los que proceden indudablemente la multitud de nódulos que forman la capa aluvial que se extiende, mezclada con el terreno de labor, por toda la vega del mencionado Cardoner, desde las inmediaciones de Callús hasta Manresa, entre los que se encuentran gran cantidad de cantos rodados cuajados de *nummulites*.

La observación precedente, unida a la concordancia estratigráfica que se observa en toda la cuenca, y las profundidades determinadas para las capas, en el estudio sísmico, nos han inducido a fijar como límite inferior del Oligoceno, o contacto superficial de éste con las calizas eocenas, *precisamente el muro del primer banco de conglomerado que aflora en las proximidades de la pasarela de la estación, en la citada villa de Manresa* y del cual ya hemos hecho mención anteriormente.

§ 16. Las mediciones sísmicas en la zona de Callús.

Para obtener la mayor exactitud en el método sísmico los perfiles deben observarse en la dirección de mínima pendiente de los estratos.

La dirección de estratificación se dirige desde Callús a Rajadell, en forma de arco abierto que vuelve su convexidad hacia el NO., por cuya razón hemos procurado observar a lo largo del mismo, las líneas I, II y III, que nos permitirán conocer un corte estratigráfico del terreno en aquella dirección.

Después hemos estudiado los perfiles IV y V desde Callús a Manresa, para conocer la estructura estratigráfica en esa dirección y los VI y VII, observados en sentido contrario a los anteriores, es decir, de Manresa a Callús, para verificar las indicaciones obtenidas respecto al límite de la capa salina.

A continuación haremos una breve reseña de cada uno de los perfiles estudiados.

Línea I.—Consta de 13 posiciones situadas a las distancias respectivas indicadas en el esquema de la línea dromocrónica número 1.

La línea parte de las inmediaciones del sondeo de Callús y se dirige al molino de Buxeda, por Cal Jaume Andreu.

Se han producido cinco explosiones, una para cada tres sismógrafos y la última para la posición restante. Tanto en esta línea, como en todas las siguientes, se ha empleado una caja de dinamita por kilómetro de distancia epicentral, de modo que para la última posición, por ejemplo, se han consumido cinco cajas, por ser aquella de cinco kilómetros. Por estas razones y para mayor claridad, prescindiremos de indicar la carga empleada en cada explosión.

Línea II.—Empieza esta línea en Cal Masía dels Vals y se dirige hacia el cerro Plá de la Torre, en cuya falda norte se colocó el último sismógrafo.

Consta de 15 posiciones, situadas a las distancias mutuas indicadas en el esquema de la dromocrónica n.º 2.

Los sismogramas que han servido para su trazado se han obtenido por medio de cinco explosiones.

El barreno de la línea II está unos dos kilómetros más atrasado que la última posición de la I, para poder comprobar las profundidades obtenidas y su dirección forma con la de la línea I el ángulo necesario para seguir la dirección de estratificación lo más aproximadamente posible.

Línea III.—La dirección de esta línea cambia con relación a la de la II, lo mismo que la de ésta respecto a la I y por las mismas razones.

Su origen está en el Molino de Vals y su terminación en la falda de los cerros situados al Sureste de Rajadell.

También tiene común con la línea II, cerca de la mitad de su longitud.

Consta de 15 posiciones, obtenidas por medio de cinco barrenos y situadas a las distancias respectivas indicadas en el croquis.

Línea IV.—Esta línea y la siguiente tienen por objeto el estudio del perfil transversal de la cuenca, entre las localidades de Callús y Manresa.

La línea IV consta de 12 posiciones a las distancias indicadas en el croquis de su dromocrónica.

Para obtener los 12 sismógramas correspondientes, se han practicado cuatro explosiones.

Parte de las inmediaciones del sondeo de Callús y llega hasta la línea límite de esta localidad con Manresa, después de pasar por el caserío de Juncadella.

Línea V.—Nace en el torrente de Juncadella y continúa con la misma dirección de la anterior, hasta el cerro del Castillo de Manresa. Coincide con ella en una longitud de unos dos kilómetros.

Los sismógrafos se han colocado en trece posiciones a las distancias relativas indicadas en el esquema, cuyos sismógramas se han obtenido por medio de cuatro explosiones.

Línea VI.—Las líneas VI y VII, pueden ser consideradas como contralíneas de las IV y V, es decir, que los barrenos se han practicado en su extremo Sur y los sismógrafos se han desplazado sucesivamente hacia el Norte.

Tienen por objeto comprobar el corte estratigráfico suministrado por las anteriores y precisar el límite de la formación salina.

La línea VI consta de 12 posiciones, cuyas distancias relativas se indican en el esquema correspondiente.

Para el trabajo de esta línea se practicaron cuatro barrenos.

Línea VII.—El barreno de esta línea está situado en la barrancada SE. del cerro y vértice topográfico de Jaume Andreu y con la misma dirección de la anterior continúa hasta la casa Cal Sanerols, situada a un kilómetro al Sur del pozo de la mina de sales potásicas.

Tiene común con la línea VI una longitud de 2.250 metros próximamente.

Consta de 12 posiciones, cuyas distancias mutuas se indican en el esquema, y para cuya obtención se han verificado cuatro explosiones.

Después de esta somera descripción de la situación de los perfiles, del número de estaciones de que constan y del objeto de cada uno de ellos, vamos a pasar, en el párrafo siguiente, a la interpretación de los resultados obtenidos.

§ 17. La interpretación geológica de los resultados. Tanto el primer perfil estudiado por medio de las líneas I, II y III, como el segundo, por medio de las restantes, parten del sondeo practicado en Callús por la Sociedad Solvay, que ha tenido la amabilidad de suministrarlos los datos obtenidos en el mismo, poniendo a nuestra disposición las libretas originales de los sondeadores.

Estos datos, de suma importancia para la interpretación de los resultados, toda vez que nos permitirán conocer con certeza la constante de velocidad correspondiente a cada uno de los estratos del subsuelo de nuestra zona, aún no han sido publicados, por cuya razón haremos no-

sotros una breve descripción de ellos. (Véase el dibujo correspondiente. Figura 57).

Después de un pequeño recubrimiento cuaternario que

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS
Sondeo de Callús número 5

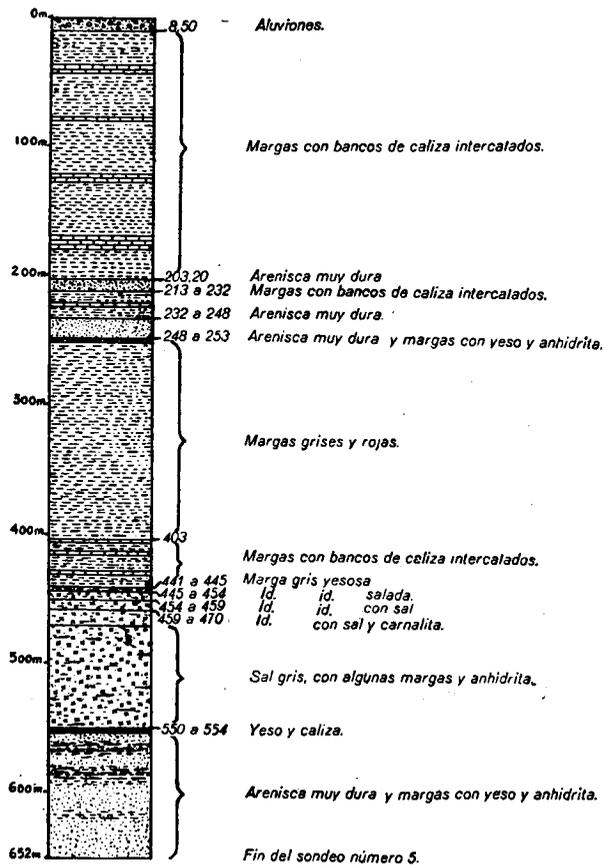


Fig. 57.

falta muy frecuentemente, se encuentra una serie de lechos de margas, con intercalaciones de bancos calizos de

muy poco espesor. La potencia total de este horizonte es de 203 metros.

A continuación se presenta una serie de areniscas muy duras, con alguna capa de caliza, de espesor insignificante, y con algo de yeso y anhidrita, en su parte más inferior. El espesor total del grupo es de 50 metros.

Inmediatamente después se encuentra un horizonte de margas grises y rojas, de 100 metros de espesor, en cuya parte inferior se hallan las margas yesosas y saladas, directamente sobrepuestas sobre las capas de sal, que alcanzan el espesor de 96 metros.

Separadas por un lecho de yeso y caliza, vuelven a encontrarse las areniscas duras y algunas margas con yeso y anhidrita, hasta la profundidad de 652 metros, que marca el fin del sondeo.

Ahora vamos a ocuparnos de la interpretación de los resultados obtenidos en cada una de las líneas sísmicas estudiadas.

Según puede verse en los estados de cálculo de los sísmogramas, se ha tenido en cuenta el error que puede producir en los tiempos, la falta de regularidad en la marcha del motor de relojería del aparato registrador y lo hemos logrado eliminar por completo.

Así podemos tener la certeza de la apreciación de la milésima de segundo, para los tiempos calculados.

De nada serviría esto si las distancias epicentrales no se midieran con el mismo grado de aproximación. Si consideramos que la velocidad media en nuestra zona es de unos 4.000 metros por segundo, la milésima de segundo equivale a cuatro metros, que tendrá que ser, por consiguiente, el máximo del error cometido en la medición de aquellas distancias.

Para conseguir este resultado hemos medido todas las

distancias dos veces, por medio de aparatos topográficos.

Tomando como ordenadas los valores calculados para los tiempos y como abscisas las distancias epicentrales correspondientes, en un sistema de ejes coordenados rectangulares, se han construido las líneas dromocrónicas I, II, III, IV, V, VI y VII que describiremos separadamente.

Línea I. — La onda sísmica producida por la explosión

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS
— Línea dromocrónica número 1

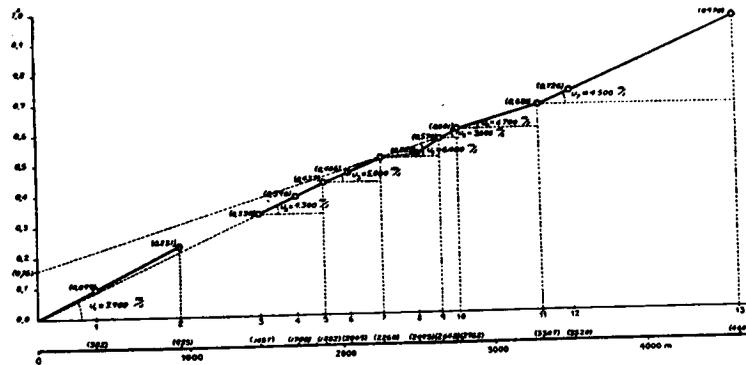


Fig. 58.

llega a la posición 1 a la velocidad media de 3.900 metros por segundo (fig. 58), puesto que:

$$V_{0-1} = \frac{0,382}{0,099} = 3.900 \text{ m/s.}$$

Lo mismo sucede desde el origen de la estación 2 y desde ésta a la primera, por lo que podemos sentar

$$V_1 = 3.900 \text{ metros por segundo.}$$

Esta velocidad corresponde a las margas que tienen intercalaciones calizas.

Desde el origen a las posiciones 3, 4 y 5, obtenemos los valores siguientes:

$$\left. \begin{aligned} V_{0-3} &= \frac{1,457}{0,330} = 4.400 \text{ m/s.} \\ V_{0-4} &= \frac{1,700}{0,390} = 4.400 \text{ m/s.} \\ V_{0-5} &= \frac{1,882}{0,437} = 4.300 \text{ m/s.} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} V_{3-4} &= \frac{1,700 - 1,457}{0,390 - 0,330} = 4.000 \text{ m/s.} \\ V_{4-5} &= \frac{1,882 - 1,700}{0,437 - 0,390} = 4.000 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Aparentemente, desde la posición 3 a la 5, obtenemos la velocidad de 4.000 metros por segundo y una mucho mayor desde la 2 a la 3. Esta última velocidad no es real; es decir, que el aumento de velocidad no se ha efectuado desde el punto 2, sino que ha empezado en el origen, al profundizar el rayo sísmico hasta las margas con bancos calizos de importancia.

De aquí, que la verdadera velocidad que les corresponde sea el promedio de las V_{0-3} , V_{0-4} y V_{0-5} que resulta de 4.300 metros por segundo. Por consiguiente

$$V_{3-5} = V_2 = 4.300 \text{ m/s.}$$

En la estación 5 obtenemos un rápido aumento de la velocidad, que alcanza el valor de 6.000 metros por segundo

$$V_{5-6} = \frac{2,045 - 1,882}{0,466 - 0,437} = 6.000 \text{ m/s.}$$

que tampoco corresponde a las rocas existentes en el terreno, sino a la mayor profundización del rayo sísmico, a partir del origen, que ha alcanzado capas a las que corresponde una velocidad mayor. Para conocer cual es su valor consideremos

$$V_{6-7} = \frac{2,260 - 2,045}{0,513 - 0,466} = 4.600 \text{ m/s.}$$

El promedio de los dos valores anteriores podemos aceptarlo como bueno y obtener

$$V_{5-7} = V_3 = 5.000 \text{ m/s.}$$

El rayo sísmico ha alcanzado la zona de los yesos y anhidritas que, según sabemos por el sondeo de Callús, se encuentra bajo el horizonte mencionado anteriormente.

Desde la estación 7 a la 8 obtenemos para la velocidad de las ondas sísmicas

$$V_{7-8} = \frac{2,495 - 2,260}{0,525 - 0,513} = 19.800 \text{ m/s.}$$

Este enorme valor, que no es sino aparente, nos indica otro gran aumento de la velocidad del rayo sísmico, desde muy atrás. A continuación disminuye éste bruscamente al valor de 3.100 metros por segundo,

$$V_{8-9} = \frac{2,648 - 2,495}{0,574 - 0,525} = 3.100 \text{ m/s.}$$

lo que nos indica que la onda sísmica ha pasado ya bajo la capa que produjo el aumento de velocidad. Si tomamos el promedio de los dos valores anteriores, resultan 6.400 metros por segundo, y si calculamos directamente la velocidad, resulta

$$V_{8-9} = \frac{2,647 - 2,260}{0,574 - 0,513} = 6.400 \text{ m/s.}$$

o sea exactamente el mismo valor, que sabemos, además, es el que corresponde a la sal.

Podemos afirmar que el rayo sísmico que ha llegado a la estación 7, ha pasado por la formación salina y sentar

$$V_{7-9} = V_4 = 6.400 \text{ m/s.}$$

Desde la posición 9 a la 10, obtenemos el valor de 4.400 metros por segundo, en el que tiene que manifestarse la influencia del anterior $V_{8-9} = 3.100 \text{ m/s.}$, por lo que consideramos como lo más aproximado el promedio de ambos

$$V_{8-9} = 3.100 \text{ m/s.} \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{8-10} = V_5 = \\ \frac{2,768 - 2,495}{0,601 - 0,525} = \\ \frac{2,768 - 2,648}{0,601 - 0,574} = 4.400 \text{ m/s.} \\ = 3.600 \text{ m/s.} \end{array} \right.$$

Este resultado nos demuestra que el rayo sísmico que llega a las estaciones 9 y 10, pasa por las margas situadas debajo del banco salino y que éste queda, por consiguiente, determinado por las posiciones 7 y 9.

Al pasar de la posición 10 a la 11, volvemos a obtener un nuevo aumento importante en la velocidad

$$V_{10-11} = V_6 = \frac{3,307 - 2,768}{0,681 - 0,601} = 6.700 \text{ m/s.}$$

que corresponde a otro banco de sal, que no ha alcanzado el sondeo. No damos importancia a la diferencia de los valores 6.700 y 6.400, obtenidos para cada uno de ellos, puesto que sólo son valores aparentes. El de 6.700 hubiera resultado seguramente menor si aumentamos un poco la distancia de la estación 10 a la 11.

Desde la estación 11 en adelante, obtenemos una gran constancia en los valores de la velocidad, en efecto:

$$V_{11-13} = \frac{3,520 - 3,307}{0,726 - 0,681} = 4.800 \text{ m/s.}$$

$$V_{12-13} = \frac{4,607 - 3,520}{0,970 - 0,726} = 4.500 \text{ m/s.}$$

$$V_{11-13} = \frac{4,607 - 3,307}{0,970 - 0,681} = 4.500 \text{ m/s.}$$

Este último valor podemos aceptarlo para la velocidad del trozo de línea dromocrónica correspondiente

$$V_{11-13} = V_7 = 4.500 \text{ m/s.}$$

Como precisamente es la constante de las capas calizas, creemos que el rayo sísmico que llega a los sismógrafos desde la estación 11 en adelante, ha alcanzado ya la zona de calizas eocenas.

Resumiendo los valores anteriores, podemos sentar las constantes de velocidad que corresponden a los distintos horizontes, exactamente conocidos por el sondeo de Callús, y a los que este estudio ha puesto de manifiesto.

| | |
|--------------------|---|
| $V_1 = 3.900$ m/s. | margas silíceas con bancos calizos de muy poco espesor. |
| $V_2 = 4.300$ | » margas silíceas con bancos calizos de bastante espesor. |
| $V_3 = 5.000$ | » yesos y anhidritas. |
| $V_4 = 6.400$ | » bancos de sal. |
| $V_5 = 3.600$ | » margas silíceas. |
| $V_6 = 6.700$ | » bancos de sal. |
| $V_7 = 4.500$ | » calizas eocenas. |

Es notable, además, la coincidencia de las profundidades obtenidas en el sondeo, con las que podemos deducir del estudio sísmico.

Como el rayo sísmico corta la sal para una distancia epicentral de 2.260 metros, y su profundidad determinada en el sondeo es de 456 metros,

$$K = \frac{456}{2.260} = 0,20$$

Aplicando este coeficiente a cada una de las distancias

epicentrales, obtenemos las profundidades de los horizontes mencionados, con muy pequeñas discrepancias de las conocidas por el sondeo.

La de la sal resulta también completamente igual, por el empleo de la fórmula

$$h_0 = \frac{t}{2} \cdot \frac{V_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}}, \text{ en que}$$

$$\left. \begin{array}{l} t = 0,16 \\ V_1 = 4.300 \\ V_2 = 6.400 \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_0 = 0,08 \frac{4.300}{\sqrt{1 - \left(\frac{43}{64}\right)^2}} = 0,08 \frac{4.300}{\sqrt{1 - 0,45}} = \\ = 0,08 \frac{4.300}{0,74} = 464 \text{ metros.} \end{array}$$

| | |
|---------------------------------------|---------------|
| Altitud del barreno..... | + 290 metros. |
| h_0 | - 464 » |
| Altitud del techo de la sal . | - 174 » |
| Comprobación: | |
| Altitud del sondeo | + 270 » |
| Profundidad del techo de la sal | - 456 » |
| Altitud del techo de la sal.. | - 186 » |
| Diferencia | + 12 metros. |

Si tenemos en cuenta que las distancias epicentrales que corresponden al techo y muro de la sal son de 2.260 y 2.648 metros respectivamente y que su diferencia sólo es de 388 metros, podremos comprender que no es posible calcular la profundidad del banco salino en ningún punto intermedio, por el procedimiento del análisis del trayecto descendente del rayo sísmico, del horizontal y del ascendente.

Lo mismo debemos decir para el segundo horizonte sa-

lino encontrado. Al aplicar el coeficiente $K = 0,20$ a la distancia de 388 metros, encontramos para la potencia del primer banco salino la cifra de 77 metros, un poco menor que la verdadera, lo que nos indica que la estación correspondiente al techo de la sal, debe encontrarse unos 60 metros antes de la 7.

El segundo banco no está tan bien precisado como el primero por necesitarse, para ello, una estación sísmica más a la distancia epicentral de 3.000 metros, que nosotros no podíamos prever hasta el momento de llegar al estudio de la interpretación. Sin embargo, creemos que las estaciones 10 y 11 tienen que estar próximas a sus posiciones críticas y algo más separadas entre sí.

De ello resulta que la profundidad del techo del segundo horizonte salino, debe ser algo más de $2.768 \times 0,20 = 554$ metros y su potencia un poco más que la del superior.

Línea II.—Esta línea coincide completamente, en sus

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS
Línea dromocrónica número 2

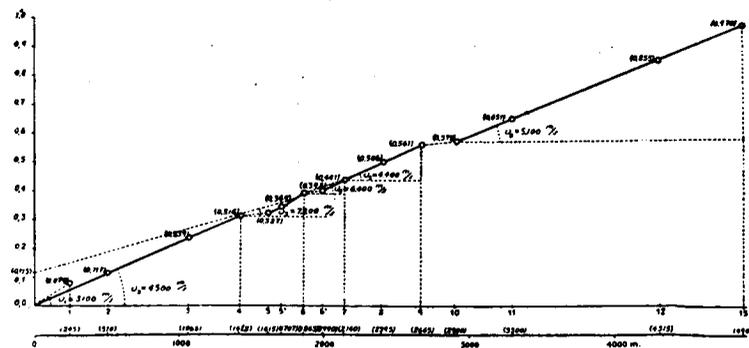


Fig. 59.

indicaciones, con la que acabamos de describir. (Fig. 59).

Desde el barreno a la posición 1, encontramos la velocidad

$$V_{0-1} = V_1 = \frac{0,245}{0,079} = 3.100 \text{ m/s.}$$

que como sabemos corresponde a las margas pobres en cal.

Hasta las estaciones 2, 3 y 4, obtenemos una gran constancia en la velocidad, de 4.500 metros por segundo, correspondiente a las margas con bancos calizos potentes.

$$\left. \begin{aligned} V_{0-2} &= \frac{0,510}{0,117} = 4.400 \text{ m/s.} \\ V_{0-3} &= \frac{1,063}{0,239} = 4.500 \text{ m/s.} \\ V_{0-4} &= \frac{1,413}{0,316} = 4.500 \text{ m/s.} \end{aligned} \right\} V_2 = V_{0-4} = 4.500 \text{ m/s.}$$

En la línea dromocrónica número II se ve con claridad que la velocidad indicada por ella, entre las estaciones 1 y 2, es sólo aparente y que, en cambio, es real la correspondiente a las posiciones 2-4, por tener las margas calizas potencia suficiente para permitir la colocación de los sismógrafos en tres posiciones, sin que el rayo sísmico se salga del muro de ellas.

Al pasar de la estación 4 a la 5, obtenemos un enorme aumento de velocidad aparente

$$V_{4-5} = \frac{1,615 - 1,413}{0,327 - 0,316} = 18.500 \text{ m/s.}$$

que no corresponde a ninguna formación geológica. Sólo nos indica, como hemos explicado anteriormente, que el rayo sísmico ha penetrado desde muy atrás de la posi-

ción 4, en una capa de mayor velocidad que la que antes poseía. Desde el barreno a la posición 5 tiene la velocidad media de 4.900 m/s.

$$V_{0-5} = \frac{1,615}{0,327} = 4.900 \text{ m/s.}$$

y para aumentar 400 metros por segundo en tan pequeña distancia horizontal, tiene que aparecer el enorme valor encontrado.

Después disminuye rápidamente la velocidad del rayo sísmico

$$\left. \begin{aligned} V_{5-5'} &= \frac{1,707 - 1,615}{0,349 - 0,327} = 4.200 \text{ m/s.} \\ V_{5'-6} &= \frac{1,863 - 1,707}{0,398 - 0,349} = 3.700 \text{ m/s.} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} V_{5-6} &= \frac{1,863 - 1,615}{0,398 - 0,327} = \\ &= 3.500 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

lo que nos prueba que ha pasado debajo de la capa que produjo el aumento de velocidad.

Tratemos de estudiar, cual puede ser la naturaleza de dicha capa. Si consideramos las posiciones 4 y 5' obtenemos:

$$V_{4-5'} = \frac{1,707 - 1,413}{0,349 - 0,316} = 8.900 \text{ m/s.}$$

y si relacionamos las 4 y 6, resulta

$$V_{4-6} = \frac{1,863 - 1,413}{0,398 - 0,316} = 5.500 \text{ m/s.}$$

El primer valor es demasiado grande para corresponder al banco salino, y el segundo demasiado pequeño. Si examinamos la línea dromocrónica número II en el tra-

yecto 5-6, podemos comprobar que una estación intermedia entre estas, unida con la 4, nos daría la velocidad de 6.400 metros por segundo que corresponde a la sal. Si tenemos además en cuenta que el promedio de los dos anteriores $V_3 = 7.200$ metros por segundo, podremos concluir afirmando que la capa que tratábamos de dilucidar es precisamente el banco salino y que la posición 6 está a mayor distancia epicentral que la que corresponde a su muro.

También nos explicamos así la existencia de las margas poco calizas, con la velocidad de 3.500 metros por segundo bajo el horizonte salino, como hemos visto en la línea anterior.

El segundo banco salino aparece muy claramente en esta línea. Desde la posición 6 a la 6' aparece, de nuevo, el enorme aumento de velocidad aparente:

$$V_{6-6'} = \frac{1,990 - 1,863}{0,402 - 0,398} = 31.700 \text{ m/s.}$$

con una rápida disminución posterior

$$V_{6'-7} = \frac{2,140 - 1,990}{0,441 - 0,402} = 3.900 \text{ m/s.}$$

La resultante de ambas es $V_{6-7} = 6.400$ metros por segundo, como debía suceder

$$V_{6-7} = \frac{2,140 - 1,868}{0,441 - 0,398} = 6.400 \text{ m/s.}$$

Continuando el análisis de la línea dromocrónica número II, encontramos:

$$V_{7-8} = \frac{2,395 - 2,140}{0,506 - 0,441} = 3.900 \text{ m/s.}$$

$$V_{8-9} = \frac{2,665 - 2,395}{0,561 - 0,506} = 4.900 \text{ m/s.}$$

cuya resultante es

$$V_{7-9} = V_5 = \frac{2,665 - 2,140}{0,561 - 0,441} = 4.400 \text{ m/s.}$$

que debe corresponder a las calizas eocenas, situadas bajo la formación salina.

Después sobreviene otro aumento brusco de la velocidad, que interpretamos debido al paso del rayo sísmico por una capa de mayor velocidad que la que hasta entonces poseía, desde muy atrás, respecto a la posición 9.

De la 9 a la 10, resulta

$$V_{9-10} = \frac{2,900 - 2,665}{0,577 - 0,561} = 15.000 \text{ m/s.}$$

Esta interpretación se comprueba con los valores obtenidos después. Desde la posición 10 a la 13, obtenemos una velocidad real de 5.100 m/s., en efecto,

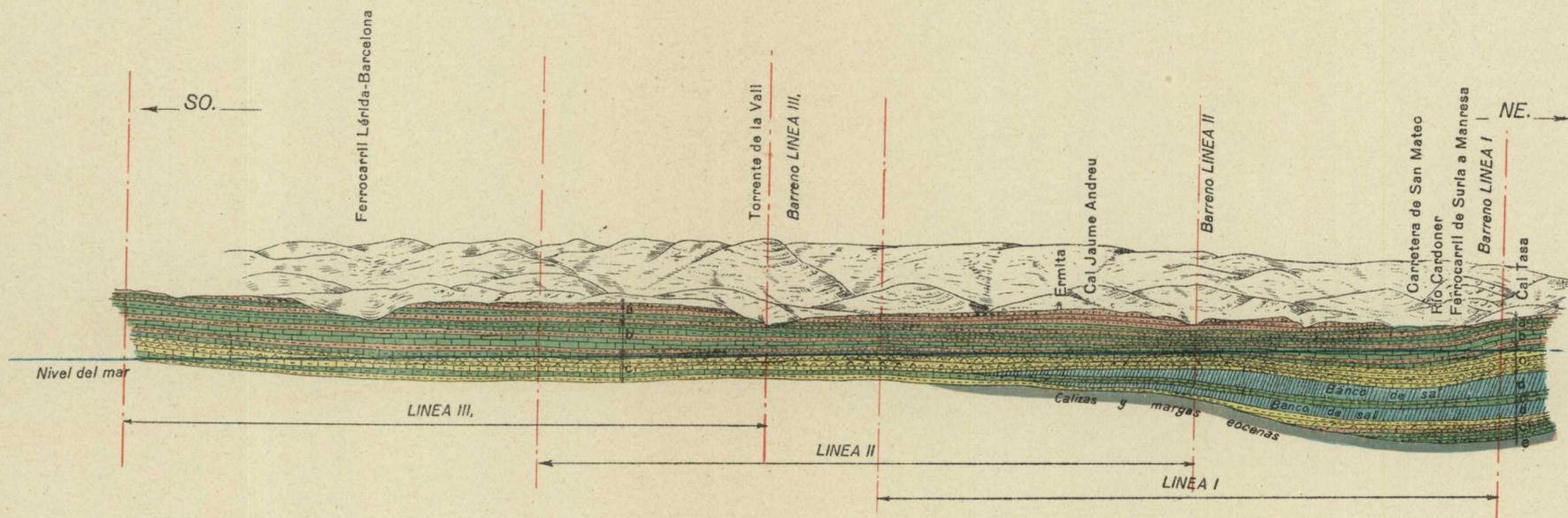
$$\left. \begin{aligned} V_{10-11} &= \frac{3,300 - 2,900}{0,651 - 0,577} = 5.400 \text{ m/s.} \\ V_{11-12} &= \frac{4,315 - 3,300}{0,855 - 0,651} = 5.000 \text{ } \\ V_{12-13} &= \frac{4,900 - 4,315}{0,970 - 0,855} = 5.100 \text{ } \end{aligned} \right\} \begin{aligned} V_6 &= V_{10-13} = \\ &= \frac{4,900 - 2,900}{0,970 - 0,577} = \\ &= 5.100 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Las calizas eocenas han debido hacerse muy duras y compactas, con enorme potencia, y por eso se manifiestan con la velocidad anteriormente escrita.

Obsérvese, además, en el corte estratigráfico de las lí-

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS

CORTE ESTRATIGRÁFICO SEGÚN PLANOS VERTICALES DE PROYECCIÓN
(LÍNEAS I-II-III DEL ESTUDIO SÍSMICO)



EXPLICACIÓN

Escala 1:50.000

- a Zona de conglomerados, areniscas y margas rojas predominantes.
- b Zona de calizas y margas, rojas y grises, con cantos de conglomerados numulíticos en el extremo Noreste del corte.
- c Zona de margas. grises y rojas, con yesos y algo de sal.
- d Capas de sal.
- e Calizas y margas eocenas.

neas I, II y III (lámina III), que el rayo sísmico ha podido cortar un horizonte del Eoceno, al que no alcanzó en la línea I, a causa de su mayor profundidad.

Por la fórmula ya mencionada podemos calcular la profundidad del techo de la sal en el barreno

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = 4.500 \text{ m/s.} \\ V_2 = 6.400 \text{ } \\ t = 0,115 \text{ } \end{array} \right\} h_0 = 0,057 \frac{4.500}{\sqrt{1 - \left(\frac{45}{64}\right)^2}} =$$

$$= 0,057 \frac{4.500}{0,71} = 0,57 \times 6.350 = 362 \text{ m.}$$

| | |
|------------------------------|---------------|
| Altitud del barreno..... | + 310 metros. |
| h_0 | - 362 » |
| Altura del techo de sal | - 52 » |

El valor del coeficiente K para esta línea resulta ser

$$K = \frac{362}{1.413} = 0,25$$

y, por consiguiente, su potencia será: $0,25 \times (1.760 - 1.413) = 86$ metros.

Si aplicamos este valor de K a la distancia epicentral de 1.863 metros, correspondiente al techo del segundo horizonte salino, tendremos que su profundidad es

$$0,25 \times 1.863 = 466 \text{ metros.}$$

De modo que el segundo horizonte de sal está 156 metros debajo del primero.

Su potencia está bien determinada por las distancias epicentrales de 1.863 y 2.140 metros, cuya diferencia, multiplicada por el coeficiente K , nos da la cifra de 69 metros. (Véase el corte stratigráfico).

Línea III.—Con objeto de conocer la constante de velocidad de los conglomerados superficiales, hemos colocado el primer sismógrafo a la pequeña distancia de 170

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS
Línea dromocrónica número 3

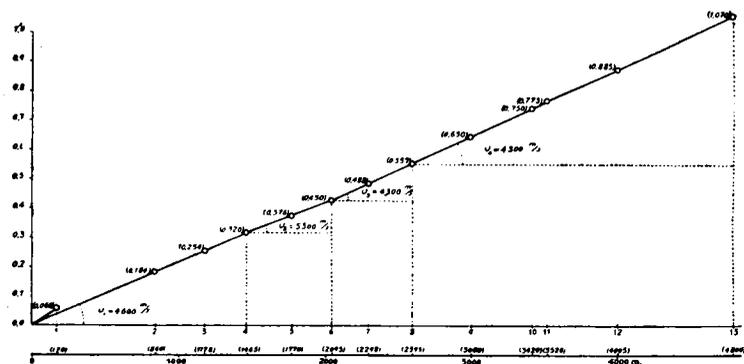


Fig. 60.

metros del barreno. De la línea dromocrónica número III (figura 60) deducimos

$$V_{0-1} = \frac{0,170}{0,060} = 2.800 \text{ m/s. } V_1 = 2.800 \text{ m/s.}$$

En las siguientes posiciones el rayo sísmico pasa debajo de estos conglomerados por las margas con bancos potentes de caliza; así obtenemos

$$\left. \begin{aligned} V_{0-2} &= \frac{0,840}{0,184} = 4.600 \text{ m/s.} \\ V_{2-3} &= \frac{1,178 - 0,840}{0,254 - 0,184} = 4.800 \text{ m/s.} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} V_2 &= V_{0-4} = 4.600 = \\ &= \frac{1,465}{0,320} \end{aligned}$$

Desde la posición 4 a la 6 aumenta su velocidad, pero no en el grado de las líneas anteriores.

$$\left. \begin{aligned} V_{4-5} &= \frac{1,770 - 1,465}{0,376 - 0,320} = 5.500 \text{ m/s.} \\ V_{5-6} &= \frac{2,045 - 1,770}{0,430 - 0,376} = 5.100 \text{ } \end{aligned} \right\} V_3 = V_{4-6} = 5.300 \text{ m/s.}$$

Este horizonte es, sin duda alguna, el de los yesos, que en las anteriores líneas estaba sobre el banco salino.

A partir de la posición 6, disminuye un poco la velocidad del rayo sísmico y se conserva con una constancia extraordinaria, según podemos comprobar en los cálculos siguientes:

$$\left. \begin{aligned} V_{6-7} &= \frac{2,298 - 2,045}{0,488 - 0,430} = 4.400 \text{ m/s.} \\ V_{7-8} &= \frac{2,595 - 2,298}{0,557 - 0,488} = 4.300 \text{ } \\ V_{8-9} &= \frac{3,000 - 2,595}{0,650 - 0,557} = 4.300 \text{ } \\ V_{9-10} &= \frac{3,420 - 3,000}{0,750 - 0,650} = 4.200 \text{ } \\ V_{10-11} &= \frac{3,520 - 3,420}{0,773 - 0,750} = 4.300 \text{ } \\ V_{11-12} &= \frac{4,005 - 3,520}{0,885 - 0,773} = 4.300 \text{ } \\ V_{12-13} &= \frac{4,800 - 4,005}{1,070 - 0,885} = 4.300 \text{ } \end{aligned} \right\} V_4 = 4.300 \text{ m/s.}$$

Esto nos demuestra que debajo del horizonte de las margas yesosas no hay sal y que éstas están colocadas directamente sobre las calizas eocenas.

El banco salino ha quedado terminado entre los barrenos de las líneas II y III. Para precisar algo más su límite, podría observarse una nueva línea sísmica cuyo origen

estuviese a la mitad de la distancia de los dos anteriores, pero no lo hemos creído necesario.

Con los datos obtenidos en las tres líneas consideradas, se ha trazado el corte estratigráfico presentado.

Línea IV.—Nuevamente volvemos a colocar los barrenos en las cercanías del sondeo de Callús, para estudiar el corte estratigráfico del terreno, en dirección Norte-Sur.

El primer sismógrafo, colocado a 542 metros del origen,

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS
Línea dromocrónica número 4

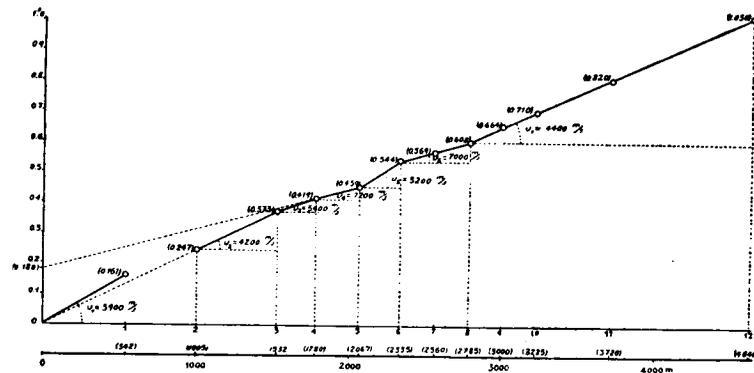


Fig. 61.

nos determina la velocidad del horizonte de las margas pobres en cal (véase la línea dromocrónica n.º III), figura 61.

$$V_{0-1} = \frac{0,542}{0,161} = 3.900 \text{ m/s. } V_1 = 3.900 \text{ m/s.}$$

Al profundizar más el rayo sísmico, nos suministra la velocidad de las margas calizas, en las estaciones 2 y 3.

$$V_{0-2} = \frac{1,005}{0,247} = 4.100 \text{ m/s. } V_{2-3} = \frac{1,532 - 1,005}{0,373 - 0,247} =$$

$$V_{0-3} = \frac{1,532}{0,373} = 4.100 \text{ m/s. } V_3 = 4.200 \text{ m/s. } V_3 = 4.200 \text{ m/s.}$$

Desde la posición 1 a la 2, se manifiesta una velocidad de 5.400 m/s.

$$V_{1-2} = \frac{1,005 - 0,542}{0,247 - 0,161} = 5.400 \text{ m/s. } V_3 = 5.400 \text{ m/s.}$$

que no corresponde a las formaciones geológicas existentes y ya hemos explicado que es tan solo aparente, debida a que el aumento de velocidad del rayo sísmico empieza poco después del origen.

Entre la posición 3 y 4, aumenta la velocidad del rayo sísmico a 5.400 metros, que nos indica el horizonte de las margas yesosas.

$$V_{3-4} = \frac{1,780 - 1,532}{0,419 - 0,373} = 5.400 \text{ m/s.}$$

Poco después hay otro aumento importante en la velocidad, hasta alcanzar el valor de la de la sal,

$$V_{4-5} = \frac{2,067 - 1,780}{0,459 - 0,419} = 7.200 \text{ m/s. } V_4 = 7.200 \text{ m/s.}$$

Si hubiéramos colocado una nueva estación entre las dos últimamente mencionadas, habríamos obtenido primero el aumento brusco, hasta un valor excesivo y la rápida disminución posterior.

Inmediatamente después, se presentan las margas pobres en cal, con su velocidad característica de 3.200 metros por segundo.

$$V_{5-6} = \frac{2,335 - 2,067}{0,544 - 0,459} = 3.200 \text{ m/s. } V_5 = 3.200 \text{ m/s.}$$

Otra vez encontramos el aumento brusco de velocidad como en la línea I.

Los valores obtenidos para las posiciones 7 y 8 son:

$$V_{6-7} = \frac{2,560 - 2,335}{0,569 - 0,544} = 9,000 \text{ m/s.} \quad \left. \begin{array}{l} V_{6-8} = \frac{2,785 - 2,335}{0,608 - 0,544} = \\ = 7,000 \text{ m/s.} \\ V_6 = 7,000 \text{ m/s.} \end{array} \right\}$$

que nos demuestran la existencia del segundo horizonte salino, que dimos a conocer por medio de la línea I.

Después vuelven las margas algo calizas, entre las estaciones 8 y 9, con su velocidad

$$V_{8-9} = \frac{3,000 - 2,785}{0,664 - 0,608} = 3,800 \text{ m/s.} \quad V_7 = 3,800 \text{ m/s.}$$

Y por último, después de un aumento brusco de velocidad, que no corresponde a las capas existentes del terreno, sino a las razones explicadas repetidamente, encontramos la velocidad de las margas y calizas eocenas.

Entre las estaciones 9 y 10, se manifiesta el aumento mencionado,

$$V_{9-10} = \frac{3,225 - 3,000}{0,710 - 0,664} = 5,900 \text{ m/s.}$$

Desde la 10 a la última, obtenemos los valores siguientes:

$$\left. \begin{array}{l} V_{10-11} = \frac{3,720 - 3,225}{0,820 - 0,710} = 4,500 \text{ m/s.} \\ V_{11-12} = \frac{4,640 - 3,720}{1,030 - 0,820} = 4,400 \text{ m/s.} \end{array} \right\} V_8 = 4,500 \text{ m/s.}$$

Resumiendo los valores obtenidos para la velocidad en la línea IV, obtenemos

$$V_1 = 3,900 \text{ m/s.}$$

$$V_2 = 4,200 \text{ »}$$

$$V_3 = 5,400 \text{ »}$$

$$V_4 = 7,200 \text{ »}$$

$$V_5 = 3,200 \text{ »}$$

$$V_6 = 7,000 \text{ »}$$

$$V_7 = 3,800 \text{ »}$$

$$V_8 = 4,500 \text{ »}$$

Estos valores son casi exactamente iguales a los obtenidos en la línea I y como en ella, indican con verdadera precisión los distintos horizontes geológicos cortados en el sondeo.

Al aplicar la fórmula para el cálculo de la profundidad del horizonte salino, obtenemos:

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = 4,100 \\ V_2 = 7,200 \\ t = 0,18 \end{array} \right\} h_0 = 0,09 \frac{4,100}{\sqrt{1 - \left(\frac{41}{72}\right)^2}} = 0,09 \frac{4,100}{\sqrt{1 - 0,32}} =$$

$$= 0,09 \frac{4,100}{0,82} = 450 \text{ metros.}$$

$$\text{Altitud del barreno } + 290 \text{ m.}$$

$$h_0 \text{ } - 450 \text{ »}$$

$$\text{Altitud del techo de la sal .. } - 160 \text{ m.}$$

Este valor difiere solamente 14 metros del obtenido por el cálculo de la línea I.

El valor del coeficiente K , en esta línea, no es igual al de la primera, a consecuencia de la pendiente de las capas en el sentido del perfil. Resulta en este caso:

$$K = \frac{450}{1,780} = 0,25$$

Por medio de este coeficiente podemos calcular la potencia del primer horizonte salino. Las distancias epicentrales que le comprenden son de 2.067 y 1.780 metros, respectivamente, cuya diferencia multiplicada por *K*, nos da el valor de 72 metros, también un poco menor del verdadero, como en la línea I, a causa de no encontrarse las estaciones 4 y 5 en las posiciones precisas para ello. Creemos que la 5 debía encontrarse a 100 metros más de distancia al origen, puesto que la disminución de potencia de la sal corresponde con el aumento de la correspondiente a las margas subyacentes.

La profundidad del segundo banco, no está completamente bien determinada, por la situación de la estación 6. Esta estación debía estar colocada un poco antes, con lo que disminuiría la velocidad de 9.000 metros por segundo encontrada para el trayecto 6-7. Colocada 100 metros antes obtendríamos para la profundidad del techo de la segunda capa de sal

$$2.235 \times 0,25 = 558$$

que apenas difiere del obtenido anteriormente. Si efectuamos el cálculo sin variar la distancia epicentral, resulta

$$2.835 \times 0,25 = 582$$

que sólo se diferencia del anterior en 24 metros, o sea menos del 5 %.

Probablemente será aun más aproximado el promedio de ambos.

La potencia de este banco será también un poco más que la del superior.

Línea V.—Como no tiene importancia para nuestro estudio el conocimiento de las velocidades correspondientes a los estratos superficiales, hemos colocado el primer

sismógrafo a 592 metros del barreno. La velocidad obtenida es (figura 62)

$$V_{0-1} = \frac{0,592}{0,145} = 4.100 \text{ m/s.} \quad V_1 = 4.100 \text{ m/s.}$$

que corresponde al horizonte de las margas calizas.

De la posición 1 a la 2 se presenta un aumento aparente

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS
 Línea dromocrónica número 5

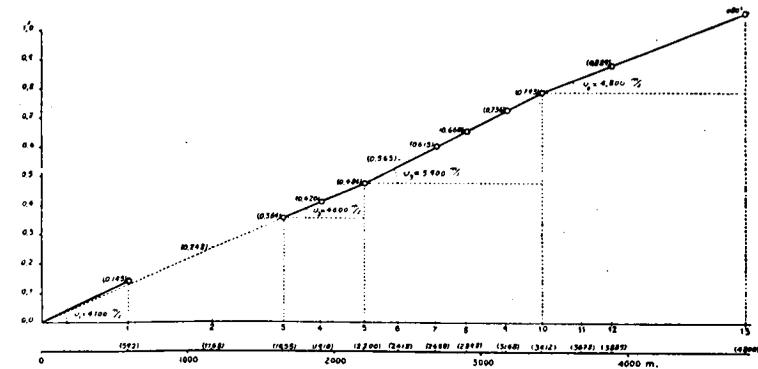


Fig. 62.

te de la velocidad hasta el valor de 5.600 metros por segundo que, como en los casos anteriores, no corresponde a la naturaleza de las rocas del subsuelo. En realidad, el aumento de velocidad, se ha producido desde poco después del origen.

Entre las posiciones 3, 4 y 5, se obtiene la velocidad real, en el trozo correspondiente de la línea dromocrónica número 5,

$$\left. \begin{aligned} V_{3-4} &= \frac{1,910 - 1,655}{0,420 - 0,364} = 4.600 \text{ m/s.} \\ V_{4-5} &= \frac{2,200 - 1,910}{0,484 - 0,420} = 4.500 \text{ m/s.} \end{aligned} \right\} V_{3-5} = \frac{2,200 - 1,655}{0,484 - 0,364} = 4.600 \text{ m/s.} = V_3$$

Como comprobación de la interpretación efectuada en el párrafo anterior, podemos calcular directamente la velocidad del rayo sísmico, desde el barrenado a la posición 5, que resulta exactamente igual a los 4.600 metros por segundo mencionados.

$$V_{0-5} = \frac{2.200}{0,484} = 4.600 \text{ m/s.}$$

Esta velocidad corresponde a las margas con bancos de caliza de bastante potencia y probablemente con algún yeso en su parte inferior.

A partir de la estación 5, entre ésta y la 6, la velocidad experimenta una gran disminución hasta el valor de 2.700 metros por segundo

$$V_{5-6} = \frac{2,418 - 2,200}{0,565 - 0,484} = 2.700 \text{ m/s.}$$

correspondiente a las margas poco calizas, que anteriormente estaban bajo el yacimiento salino superior, o sea que el rayo sísmico no ha encontrado éste, ya sea por no existir o por estar reducido a un espesor insignificante.

Después, entre las posiciones 6, 7 y 8, se repite el gran aumento de velocidad, sin llegar al valor correspondiente a la sal. El valor obtenido es

$$\left. \begin{aligned} V_{6-7} &= \frac{2.688 - 2.418}{0,615 - 0,565} = 5.400 \text{ m/s.} \\ V_{7-8} &= \frac{2.898 - 1,686}{0,660 - 0,615} = 4.700 \text{ m/s.} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} V_{6-8} &= \frac{2.898 - 2,418}{0,660 - 0,565} = \\ &= 5.000 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Nosotros creemos que este valor corresponde al segundo horizonte salino, que aquí sólo contiene margas yesosas y quizás alguna pequeña veta de sal.

A continuación se presenta también la disminución de velocidad, que podríamos preveer, entre las estaciones 8 y 9.

$$V_{8-9} = \frac{3,168 - 2,898}{0,736 - 0,660} = 3.600 \text{ m/s.}$$

como correspondiente a las margas que ya sabemos se encuentra bajo el horizonte salino inferior.

Entre las posiciones 9 y 10 la velocidad sísmica vuelve a aumentar

$$V_{9-10} = \frac{3,412 - 3,168}{0,793 - 0,736} = 4.300 \text{ m/s.}$$

Este valor está ya determinado para las margas eocenas superiores.

Creemos, por consiguiente, que ha terminado la formación salina explotable, antes del origen de la línea V.

En la línea dromocrónica hemos tomado el promedio de las velocidades, desde la posición 5 a la 10, que resulta de 3.900 metros por segundo.

Las velocidades obtenidas en las estaciones siguientes son:

$$\left. \begin{aligned} V_{10-12} &= \frac{3,885 - 3,412}{0,889 - 0,793} = 4.900 \text{ m/s.} \\ V_{12-13} &= \frac{4,800 - 3,885}{1,080 - 0,989} = 4.800 \text{ m/s.} \end{aligned} \right\} V_4 = 4.800 \text{ m/s.}$$

que corresponden al horizonte Eoceno de las calizas duras, ya encontradas en el perfil determinado por las líneas sísmicas I, II y III.

Como los horizontes yesosos no están bien delimitados no es posible calcular sus profundidades más que a grosso

modo, al aplicar el coeficiente $K = 0,25$ a la distancia epicentral de 1,655 metros. Así resultan 414 metros para el techo del primer horizonte y unos 125 metros más para el segundo. Esta última cifra la damos únicamente para poder dibujar el corte estratigráfico, pues la distancia epicentral, a que corresponde el segundo horizonte, estará entre la posición 5 y la 6 y no se ha determinado.

Con los datos obtenidos para las profundidades de los distintos horizontes salinos y los geológicos suministrados por el estudio del terreno, hemos dibujado el corte estratigráfico correspondiente a las líneas IV y V, lámina IV.

Línea VI.—Ya hemos dicho que el perfil, constituido por las líneas VI y VII, tiene dirección contraria al anterior, figura 63.

Por las razones ya expuestas, colocamos el primer sis-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS
Línea dromocrónica número 6

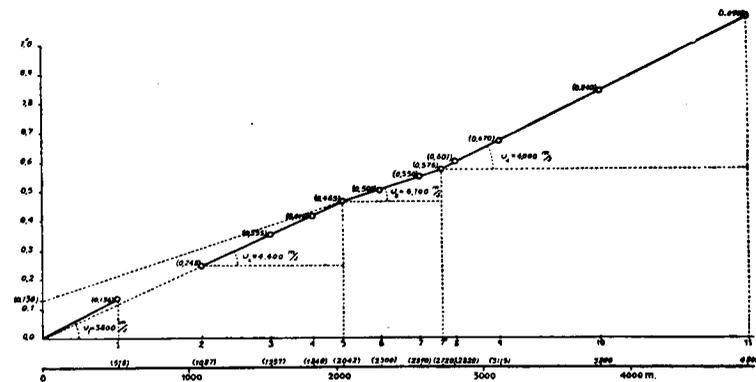
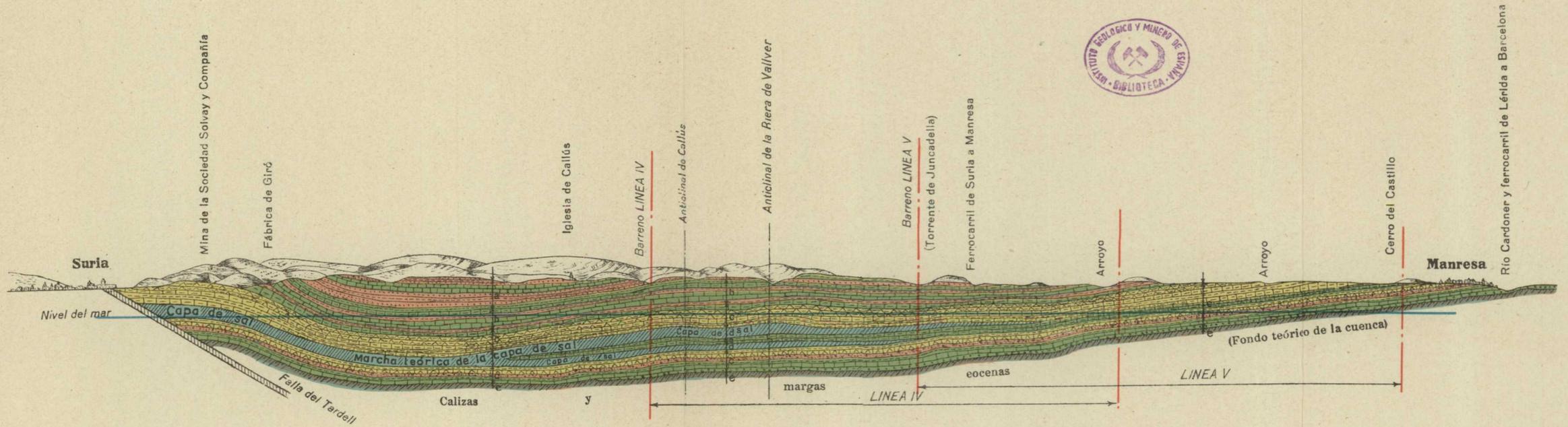


Fig. 63.

mógrafo a 518 metros del barreno y nos resultó la velocidad

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS

CORTE ESTRATIGRÁFICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL DE PROYECCIÓN ENTRE SURIA Y MANRESA.—LÍNEAS IV Y V DEL ESTUDIO SÍSMICO



EXPLICACIÓN

- a Zona de areniscas y margas rojas predominantes.
- b Zona de calizas y margas, rojas y grises, con conglomerados numulíticos.
- c Zona de margas, rojas y grises, con yesos, algo de sal y conglomerados numulíticos.
- d Capas de sal.
- e Calizas y margas eocenas.

Escala 1:50.000

$$V_{0-1} = \frac{0.518}{0.136} = 3.800 \text{ m/s.} \quad V_1 = 3.800 \text{ m/s.}$$

del conocido horizonte de las margas y conglomerados.

Después de un aumento aparente, entre la posición 1 y la 2, se obtiene una velocidad casi constante, entre la 2 y la 5

$$\left. \begin{aligned} V_{2-3} &= \frac{1,557 - 1,087}{0,355 - 0,248} = 4.400 \text{ m/s.} \\ V_{3-4} &= \frac{1,840 - 1,557}{0,415 - 0,355} = 4.700 \text{ m/s.} \\ V_{4-5} &= \frac{2,042 - 1,840}{0,465 - 0,415} = 4.100 \text{ m/s.} \end{aligned} \right\} V_{2-5} = \frac{2,042 - 1,087}{0,465 - 0,248} = 4.400 \text{ m/s.} = V_2$$

que nos demuestra la existencia del repetido horizonte de las margas calizas. Inmediatamente después, entre las posiciones 5 y 7' obtenemos la velocidad de la sal

$$\left. \begin{aligned} V_{5-6} &= \frac{2,300 - 2,042}{0,501 - 0,465} = 7.200 \text{ m/s.} \\ V_{6-7} &= \frac{2,570 - 2,300}{0,550 - 0,501} = 5.500 \text{ m/s.} \\ V_{7-7'} &= \frac{2,720 - 2,570}{0,576 - 0,550} = 5.700 \text{ m/s.} \end{aligned} \right\} V_{5-7'} = \frac{2,720 - 2,042}{0,576 - 0,465} = 6.100 \text{ m/s.} = V_3$$

El barrenado de esta línea está, por consiguiente, sobre el yacimiento salino explotable, con toda seguridad.

Después obtenemos una gran constancia de la velocidad, desde la estación 7' a la 11, con el valor de 4.000 metros que corresponde al horizonte que antes se hallaba bajo el segundo manto salino, que aquí existe.

$$\left. \begin{aligned} V_{7-8} &= \frac{2,820 - 2,720}{0,601 - 0,576} = 4.000 \text{ m/s.} \\ V_{8-9} &= \frac{3,115 - 2,820}{0,670 - 0,601} = 4.300 \text{ m/s} \\ V_{9-10} &= \frac{3,800 - 3,115}{0,840 - 0,670} = 4.000 \text{ m/s.} \\ V_{10-11} &= \frac{4,800 - 3,800}{1,090 - 0,840} = 4.000 \text{ m/s.} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} V_4 = V_{7-11} = \\ \frac{4,800 - 2,720}{1,090 - 0,576} = 4.000 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

La línea dromocrónica número VI nos permite calcular la profundidad del techo del banco de sal

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= 4,400 \\ V_2 &= 6,100 \\ V &= 0,130 \end{aligned} \right\} h_0 = 0,065 \frac{4.400}{\sqrt{1 - \left(\frac{44}{61}\right)^2}} = 0,065 \frac{4.400}{0,69} = 0,65 \times 6.376 = 414 \text{ mts.}$$

Altitud del barreno..... + 247 mts.
 h_0 - 414 »
 Altitud del techo de la sal..... - 167 mts.

El coeficiente de profundización K , resulta

$$K = \frac{414}{2.042} = 0,20$$

y la potencia del banco salino, de

$$0,20 \times (2.300 - 2.042) = 52 \text{ metros}$$

Esta cifra puede tener algún aumento, por no estar exactamente determinada la estación límite, entre las 6-7.

Línea VII.—La línea dromocrónica n.º VII, figura 64, nos manifiesta primeramente la velocidad

$$V_{0-1} = \frac{0,595}{0,160} = 3.700 \text{ m/s.} = V_1$$

como en los casos anteriores.

Entre las estaciones 1, 2 y 3 se obtiene una velocidad constante de 5.100 m/s.

$$\left. \begin{aligned} V_{1-2} &= \frac{0,988 - 0,595}{0,257 - 0,160} = 5.100 \text{ m/s.} \\ V_{2-3} &= \frac{1,575 - 0,988}{0,355 - 0,237} = 5.000 \text{ m/s.} \\ V_{3-4} &= \frac{1,785 - 1,575}{0,396 - 0,355} = 5.100 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} V_{1-4} &= \frac{1,785 - 0,395}{0,396 - 0,160} = \\ &= 5.100 \text{ m/s.} = V_2 \end{aligned}$$

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS

Línea dromocrónica número 7

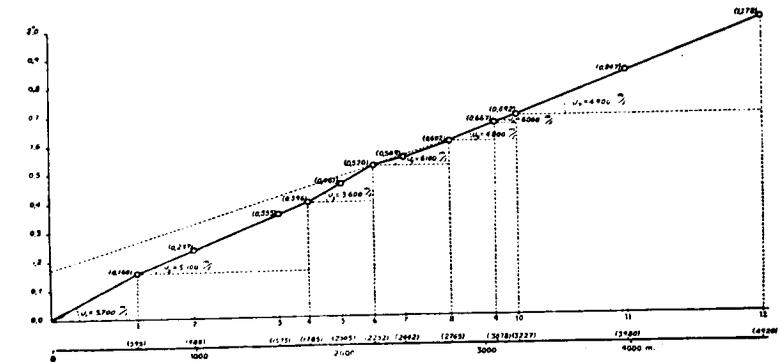


Fig. 64.

que nos indica la gran potencia de las calizas intercaladas entre las margas.

A continuación disminuye entre las estaciones 4 y 6 el valor de 3.600 m/s.

$$\left. \begin{aligned} V_{4-5} &= \frac{2,005 - 1,785}{0,461 - 0,396} = 3.400 \text{ m/s.} \\ V_{5-6} &= \frac{2,232 - 2,005}{0,520 - 0,461} = 3.900 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} V_{4-6} &= \frac{2,252 - 1,785}{0,520 - 0,396} = \\ &= 3.600 \text{ m/s.} = V_3 \end{aligned}$$

Si consideramos como un conjunto los dos horizontes

correspondientes a las velocidades V_2 y V_3 obtenemos para este parámetro el valor hallado en las líneas anteriores de 4.300 m/s.

$$V_{1-6} = \frac{2,232 - 0,595}{0,520 - 0,160} = 4.300 \text{ m/s.}$$

Pasada la estación 6, el rayo sísmico alcanza ya la formación salina, pues en efecto,

$$\left. \begin{aligned} V_{6-7} &= \frac{2,442 - 2,232}{0,549 - 0,520} = 7.200 \text{ m/s.} \\ V_{7-8} &= \frac{2,765 - 2,442}{0,602 - 0,549} = 6.100 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} V_{6-8} &= \frac{2,765 - 2,232}{0,602 - 0,520} = \\ &= 6.500 \text{ m/s.} = V_4 \end{aligned}$$

Desde la estación 8 a la 9 hay una disminución de la velocidad, como en todos los perfiles anteriores

$$V_{8-9} = \frac{3,078 - 2,765}{0,667 - 0,602} = 4.800 \text{ m/s.} = V_3$$

que inmediatamente después vuelve a aumentar hasta 600 m/s., como corresponde a la existencia de un segundo horizonte salino.

$$V_{9-10} = \frac{3,227 - 3,078}{0,692 - 0,667} = 6.000 \text{ m/s.} = V_6$$

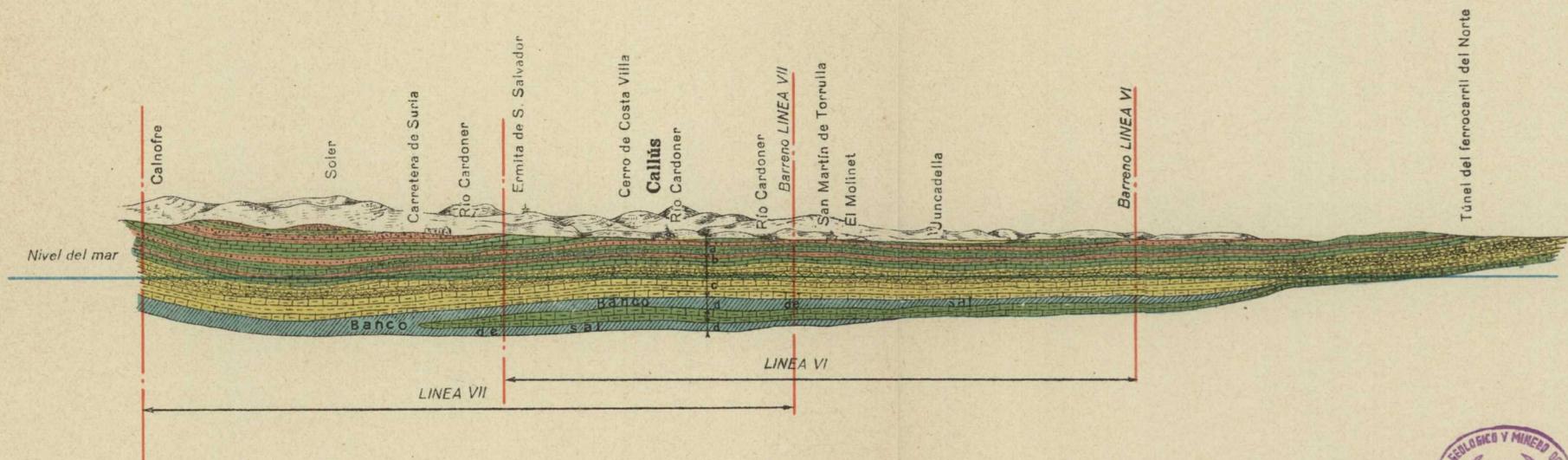
Las últimas estaciones corresponden a las margas calizas y calizas duras eocenas respectivamente.

$$\left. \begin{aligned} V_{10-11} &= \frac{3,980 - 3,227}{0,847 - 0,692} = 4.900 \text{ m/s.} \\ V_{11-12} &= \frac{4,920 - 3,980}{1,025 - 0,847} = 5.000 \end{aligned} \right\} V_1 = 4.900 \text{ m/s.}$$

La línea dromocrónica nos da para el valor h_0 del techo del primer horizonte salino

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS

CORTE ESTRATIGRÁFICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL DE PROYECCIÓN ENTRE
CORTÉS Y VILATORATA.—LÍNEAS VI-VII DEL ESTUDIO SÍSMICO



EXPLICACIÓN

- a Zona de areniscas y margas rojas predominantes. (Superficialmente restos de los conglomerados numulíticos).
- b Zona de calizas y margas, rojas y grises, con conglomerados numulíticos.
- c Zona de margas, rojas y grises, con yeso y algo de sal.
- d Capas de sal.

Escala 1:50.000



$$\left. \begin{array}{l} V_1 = 4,300 \\ V_2 = 6,500 \\ t = 0,172 \end{array} \right\} h_0 = 0,086 \frac{4,300}{\sqrt{1 - \left(\frac{43}{65}\right)^2}} = 0,086 \frac{4,300}{0,81} =$$

$$= 0,086 \times 5.600 = 456 \text{ metros}$$

| | |
|-----------------------------------|------|
| Altitud del barreno | 256 |
| h_0 | 456 |
| Altitud del techo de la sal | -200 |

El coeficiente de profundización del rayo sísmico K , resulta

$$K = \frac{456}{2.232} = 0,20$$

y la potencia del horizonte salino superior, menor de 100 metros, que corresponden al total de la diferencia de distancias epicentrales 2.765 y 2.232. La estación límite tiene que estar entre la estación 7 y la 8, a unos 2.600 metros del origen.

Con este valor resulta, para la potencia de que tratamos,

$$0,20 (2.600 - 2.232) = 73 \text{ metros}$$

que es el número que ha servido para construir el corte estratigráfico, representado en la lámina V.

El segundo banco de sal tiene una potencia mucho menor, según manifiesta la línea dromocrónica y por esta razón no es posible calcular su profundidad, con aproximación suficiente.

Como dato que permite construir el dibujo con claridad, se ha tomado el valor de 150 metros, desde el techo del horizonte superior.

De las distancias epicentrales 2.600 y 3.078 se obtiene

$$0,20 \times (3.078 - 2.600) = 95 \text{ metros}$$

que nos parece un poco pequeño, por la situación de las estaciones.

§ 18. **Resumen.**—El estudio sísmico efectuado nos ha permitido conocer la profundidad y potencia del yacimiento salino en la región comprendida entre Callús, Rajadell y Manresa, así como la línea límite de la zona explotable.

También nos ha puesto de manifiesto que debajo de la capa salina cortada en el sondeo de Callús, existe otra que no ha sido alcanzada por la sonda.

Ha permitido, asimismo, fijar como límite inferior del Oligoceno el muro del primer banco de conglomerados que aflora en las proximidades de la pasarela de la estación de Manresa.

CAPÍTULO V

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SURIA

§ 19. **Zona de Suria. Prólogo.**—Esta zona es de gran extensión, como puede apreciarse en el plano topográfico de la lámina I. A consecuencia de ello sólo podemos efectuar un estudio general de la misma, con estaciones situadas a 500 metros unas de otras, próximamente.

La dirección de los perfiles debe coincidir con la de estratificación, o sea con el eje de los anticlinales o sinclinales, si se presentan estas estructuras geológicas, como sucede en este caso.

Hubiera sido muy interesante efectuar observaciones sísmicas a lo largo del anticlinal que arranca de Suria y se dirige hacia el Oeste. Pero los accidentes topográficos que presenta y el espeso bosque de que está cubierto, casi lo impiden por completo.

Sin embargo, venciendo enormes dificultades, hemos observado un perfil de más de cuatro kilómetros, en la parte más interesante del mismo.

Ha sido preciso buscar, geológicamente, el sinclinal situado al Sur, que nos ha servido para el estudio de los perfiles, en la zona de Suria. En la de Balsareny se ha procedido de la misma manera.

Los sondeos efectuados en las proximidades de la zona, nos manifiestan que el techo de la sal puede encontrarse de 500 a 800 metros de profundidad, bajo la superficie del terreno. Teniendo en cuenta la relación que existe entre la distancia epicentral y la profundidad alcanzada por el rayo sísmico, que nosotros hemos determinado en todos los perfiles, la longitud de éstos basta que alcance unos cuatro kilómetros.

El trabajo ha sido dividido en dos partes. La primera para la investigación de la zona de Suria y, la segunda, para la de Balsareny, según se detalla en el capítulo referente a las mediciones sísmicas.

Antes de ocuparnos de ellas daremos una breve reseña geográfica y geológica de la zona, para poder seguir su estudio con más facilidad y orientarse para la interpretación de los resultados, que constituirá la última parte de este capítulo.

§ 20. Reseña geográfica y geológica.

a) *Reseña geográfica.* —Tomando como referencia el pueblo de Suria, que da nombre a la región desde el punto de vista de los yacimientos potásicos, por estar en él enclavada una de las minas más importantes de la cuenca, las zonas que vamos a estudiar se encuentran situadas al Este y al Oeste de aquél.

Seguiremos, en esta somera descripción, el orden en que fueron ejecutados los trabajos, empezando por la segunda de dichas zonas, que comprende una extensión limitada por el río Cardoner, desde Suria hasta las inmediaciones de Antius, y por una línea ideal, que va desde este punto hasta los altos situados al Sur de Fonollosa. El perímetro de esta línea se cierra por otra en dirección Norte Sur, que arranca en el torrente de la Vall y se pro-

longa por Castelltallat hasta el de Claret, y sigue, por último, en la dirección de este mismo arroyo, hasta su enlace con el Cardoner.

La configuración topográfica del suelo es muy variable. Sus distintos niveles oscilan con relación al medio del Mediterráneo, entre cotas algo superiores a los 900 metros en la parte más alta, correspondiente al cordal orientado de levante a poniente, de los altos de Suria y Castelltallat, y alrededor de los 300 metros, en los valles donde discurren el torrente de la Vall y el río Cardoner. Es decir, que dentro de los expresados límites se encuentra una serie ilimitada de niveles diferentes, que en su conjunto constituyen lo que podemos llamar terreno verdaderamente accidentado.

La parte que pudiera considerarse como una excepción, aunque sin corresponderle el calificativo de terreno llano, es la comprendida por los términos de Camps y Fonollosa, pues aun cuando también se encuentra surcada por diversos barrancos sus respectivas cotas oscilan entre los 500 y 600 metros, dentro de una extensión que excede de 36 kilómetros cuadrados.

En cuanto a vías de comunicación, a más de la carretera general de Manresa, que bordea la zona por levante, entre dicha población y Suria, podemos mencionar la carretera de tercer orden que arranca del puente de Callús y continúa, a media ladera, hasta las inmediaciones de San Mateo de Bagés, y otra, que desde Vilatorata, sigue el curso del torrente de la Vall hasta el molino de Buxeda, en las inmediaciones de Fals.

Las demás se limitan a simples caminos para el paso de carretas, en muy mal estado de conservación, y distintas veredas que utilizan los naturales del país y que nosotros hemos empleado en nuestras diferentes excursiones.

La hidrografía está representada, en esencia, por la región occidental de la cuenca del Cardoner, limitada a la extensión que consideramos. En la vertiente septentrional de la divisoria de aguas, se forman los diversos arroyos que discurren por los barrancos abiertos sobre dicha ladera, hasta el torrente de Claret, afluente del Cardoner por su margen derecha.

A la falda meridional de la divisoria mencionada, corresponden: el torrente del Espaltat, que nace en los altos de Castelltallat y, después de atravesar el arrabal de la Poca Fariña, desemboca al Este de Fonollosa, en el torrente de la Vall; el Puig de Llivot, que desciende de los altos del Garrigal, para unir sus aguas al Tom, desembocando juntos en el citado torrente, inmediatamente debajo del molino de Buxeda; y otros de menor importancia, afluentes de los anteriores, a más de los que desembocan directamente en el Cardoner, entre los que mencionaremos el que nace en las faldas de Surerot y desciende por San Mateo y Truyá, en las inmediaciones de Antius.

Todos estos torrentes cortan transversalmente el terreno, donde se encuentran las líneas I, II y III del estudio sísmico y son, en esencia, los que caracterizan la configuración del suelo, en la parte comprendida por dicho estudio. Como corresponden a un terreno accidentado, tienen fuertes pendientes y son de régimen torrencial, por cuya razón sus gastos son en extremo variables.

La segunda zona, o zona de levante, está situada a unos 15 kilómetros de Suria, dentro de los términos de Balsareny y Sampedor, correspondientes al valle del río Llobregat.

Su relieve, también relativamente accidentado, presenta diferencias de nivel más moderadas, con relación a la zona occidental que dejamos descrita. Sus principales al-

turas son los picos donde se alza la torre de Castellnou, con 622 y 620 metros de nivel sobre el nivel del mar; los de Castellat con 540, 500 y 420 en las inmediaciones de Balsareny, para quedar, como en la zona anterior, en las partes bajas o tierras llanas, con alturas que difieren poco de los 300 metros. Al Norte de Sampedor y al Oeste de Sallent se encuentran los cerros de Costa Villa, con 488 metros; el de Costa Grand con 468 y el Soler con 564.

Su perímetro está constituido por las carreteras de Aviñó y de Manresa, desde el kilómetro 41 de la primera hasta la desembocadura de la Rambla de Sallent en el Llobregat, y por una línea ideal desde este último punto hasta el cerro de Costa Villa, donde dobla al Norte por el camino de Sampedor hacia Castellnou, castillo de Balsareny y el citado kilómetro 41, en la carretera de Aviñó.

Las vías de comunicación, aparte de las carreteras que conducen a Manresa, Suria y Aviñó, en buen estado de conservación generalmente, difieren poco de las de la parte de poniente.

La hidrología de esta zona corresponde a la cuenca del Llobregat, estando representada la de su margen derecha por los torrentes Daliga o Rambla de Sallent, que nace en los altos de Castellat y desemboca en el mencionado río, aguas arriba del pueblo de Sallent, y el que desciende por Castellnou, pasa al Este de Sampedor y lleva sus aguas al mismo Llobregat, a unos dos kilómetros aguas arriba de San Fructuoso de Bagés. Por la margen izquierda se reduce a simples arroyos de régimen intermitente.

Todos ellos reciben sus aguas de otros de menor importancia, que surcan transversalmente las laderas contiguas y, como en el caso anterior, tienen fuertes pendientes y son de gasto muy variable y régimen torrencial.

b) *Reseña geológica.*—Sin entrar en detalles acerca de

las causas que hayan influido en la configuración geológica de la cuenca, entre otras razones, por salirse fuera de los límites de este trabajo, y por considerar además insuficientes para ello los datos recogidos en tan reducida superficie, haremos unas ligeras consideraciones sobre su relieve y estructura, a título de simple orientación.

Al recorrer el terreno, se observa perfectamente que las principales arrugas que caracterizan el relieve están orientadas, sensiblemente, en el sentido de levante-poniente, salvo algunos casos, y forman una serie de pliegues paralelos, cuyas crestas, denudadas en diferentes sitios por la erosión superficial, presentan al exterior parte de sus estratos inferiores.

En el sentido transversal, o sea de Norte a Sur, ocurre lo mismo; es decir, que también existen diferentes accidentes análogos, aunque con mucho menos desarrollo, sobre todo, en el sentido de su eje de levantamiento, pero completamente evidentes y determinados. Uno de ellos, quizá el más importante, es el de Suria; además existen otros varios, a uno y otro lado del mismo, amén de multitud de ondulaciones a manera de sillas, cúpulas y otras diversas formas.

También se observan diferentes hundimientos y fallas, una de las cuales, de gran importancia, es la conocida con el nombre de falla del Tordell, por coincidir su dirección con el barranco del mismo nombre.

Todo parece indicar que tales pliegues y trastornos obedecen esencialmente a dos sistemas de empujes; uno de ellos, en el sentido Norte-Sur, que es el que por sus efectos revela mayor importancia y, el otro, potencial o resistente, de levante-poniente. El primero plegó los estratos, formando los principales cordales en la dirección que caracteriza el relieve, y los segundos en la perpendi-

cular, presentando a veces señales de los más violentos esfuerzos, como sucede en el pueblo de Suria, donde llegaron a producir hasta la rotura y desplazamiento de las capas, según la línea de máxima pendiente de la falla, rompiendo incluso el pliegue principal y debilitando la resistencia de dichas capas en términos tales que, por efecto de erosiones posteriores, se abrió fácilmente el cauce del río Cardoner, en los términos que hoy le apreciamos.

Los cortes estratigráficos que insertamos en este trabajo ponen de manifiesto estos accidentes, pues han sido elegidos en tal forma que, sin perder la condición esencial de seguir la dirección sensible de las líneas del estudio sísmico, comprendieran el mayor número posible de detalles geológico-tectónicos.

Uno de dichos cortes (lámina VIII), representa el pliegue transversal de Suria que, como se ve, forma un pequeño anticlinal denudado por el Cardoner, cuyas capas doblan gradualmente hacia el poniente, y aparecen, en consecuencia, después de Can Torras, sensiblemente horizontales, puesto que su dirección concuerda con la del corte, a partir de dicho punto. (Véase el plano topográfico general de la lámina I).

Este anticlinal, cuyo eje sigue la dirección del río Cardoner, se limita por el Sur, en la fábrica de Girón, desde donde doblan sus capas hasta colocarse en sentido paralelo a dicho río, con buzamientos hacia el Oeste; después sigue la marcha de la falla, y atraviesa el torrente de Claret, entre su conjunción con el Cardoner y el pueblo de Coané.

A partir de la falla, y en la dirección Oeste, el anticlinal de Suria, que es el más importante de la cuenca, dentro de la extensión considerada, se divide en dos ramas: una

que arranca de la conjunción del arroyo de Claret con el Cardoner y pasa por el pueblo de Coané, que se levanta precisamente en el eje del pliegue, y otra que sigue al Sur de la primera y recorre la falda septentrional del cordal entre su cresta y Cal Solar Nou. (Línea sísmica número VIII). Lámina VIII.

No hemos podido seguir la marcha de ambos anticlinales entre Coané y Castelltallat por estar el terreno cubierto de nieve; pero todo parece indicar que uno de ellos se desvanece en dicha dirección y queda únicamente el otro que gana la cumbre y sigue con la dirección de la misma, por Castelltallat. (Véanse los cortes de la lámina X).

En la zona de Balsareny las inclinaciones de los estratos, tanto en una rama como en la otra, se hacen menos sensibles y dan lugar a repetidas y suaves ondulaciones, hasta el valle del Llobregat.

En su rama meridional, algo al Sur de Can Daliaga y concordando con la conjunción de dos torrentes que bajan respectivamente de la ladera del castillo de Castellnou y de los altos de Castellat, se manifiesta un accidente que tiene todos los caracteres de una falla, con dirección sensiblemente concordante con la de Tordell; por cuya razón, unida a la coincidencia de tener la misma posición que aquella, con relación al eje del anticlinal, debemos considerarla como la prolongación de la misma.

Los estratos, ligeramente levantados, han resistido mejor que los de Suria el empuje Norte-Sur, y sus efectos, lo mismo que los de erosión, no han sido tan pronunciados, por cuya causa, así como por la marcha de la estratificación, la capa de sal no debe estar tan somera como en aquella región.

Tampoco se manifiesta, en esta zona, el empuje lateral con la intensidad que presenta en el valle del Cardoner;

pues aunque no dejan de apreciarse en ella tales accidentes, se caracterizan más bien como suaves ondulaciones, que como anticlinales propiamente dichos. Se observan, sin embargo, en el mismo valle del Llobregat y en el arroyo de Castellnou, donde los estratos pasan de la dirección E.-NE. a la de O. NO., con buzamientos al exterior.

El terreno, tanto en una zona como en la otra, se presenta en disposición completamente normal, es decir, tal como aparece en el resto de la cuenca, ocupando las partes más elevadas geológicamente, las rocas de origen clástico.

En la zona occidental abundan más estas rocas. Se observan en San Mateo de Bagés, en Camps y en Fonollosa y, en términos generales, forman la cobertera del sinclinal ocupado por dichos pueblos, según se indica en los cuatro cortes geológicos ya mencionados.

Constituyen verdaderos conglomerados, y el tamaño de sus granos no suele pasar del de las almendras; son de naturaleza silíceo muchos de ellos y otros calcáreos, trabados todos por un cemento aparentemente margoso.

A continuación de este tramo de conglomerados, que parece representar los últimos niveles del Oligoceno, se encuentran las areniscas, primero de textura grosera, y después disminuye el tamaño de los granos gradualmente hasta convertirse en arenisca fina. Alternan con ellas algunos bancos de caliza más o menos sabulosa y compacta, y otros de margas con algún lecho arcilloso. Suelen aparecer también pequeños lechos de lignito impuro, algunos de los cuales se representan en los cortes.

Al tramo anterior siguen las calizas, generalmente de carácter margoso, alternando con lechos, no muy abundantes, de arcillas y margas.

De vez en cuando se presentan, intercalados, algunos



bancos de arenisca, y tampoco es raro encontrar entre las margas manifestaciones yesosas y salitrosas en pequeñas partículas, especialmente cuando se trata de horizontes algo profundos. Se observan, dentro de la zona occidental, en las margas de la denudación de Coané, y en la oriental, en la Rambla de Sallent, aguas abajo de la cascata del Llaner y en Sampedor, en el camino de Castellnou, antes de subir al alto de Costa Villa.

Y por último, después de este tramo se manifiestan las margas y yesos blancos que forman ordinariamente la parte superior de los bancos de sal.

En la región de Balsareny las areniscas más o menos bastas suelen formar la parte superior del sinclinal, no viéndose, dentro de la extensión recorrida, banco alguno de conglomerados de los que se aprecian en la parte occidental, lo cual parece indicar que se trata de un horizonte geológico más bajo, por haber desaparecido, quizá por denudación, la cobertera formada por aquéllos.

Ocupando las partes bajas de la cuenca del Llobregat, o sea en la vega de Balsareny, se manifiesta una primera zona de terreno aluvial, cuyo espesor varía, desde un metro en los bordes hasta 10 en el centro. Se trata de cantos rodados algo sueltos a veces y otras mezclados y cementados con arcillas y margas y alguna cantidad de arena, descansando todo sobre bancos de caliza margosa.

En general, los horizontes estratigráficos no se presentan tan perfectamente delimitados como parece por las acotaciones de los cortes, no siendo raro ver bancos calcáreos dentro de zonas de conglomerados y areniscas, del mismo modo que éstas se aprecian también entre los primeros. En realidad, la distribución se ajusta en términos generales, a lo siguiente: considerando el terreno de arriba a abajo, empieza por los bancos de conglomerados,

donde existen, como en la zona occidental, y por las areniscas en caso contrario, como en la oriental, convirtiéndose de un modo gradual en areniscas de grano cada vez más fino y siendo más raras con la profundidad; después continúan las calizas más o menos sabulosas que van perdiendo tal carácter para pasar lentamente al de margosas a medida que se desciende de nivel, alternando indistintamente con otras de margas y algún lecho arcilloso. Hay un verdadero tránsito insensible de unas rocas a otras, dentro del espesor de la cuenca.

La potencia de las capas suele ser variable, sobre todo en las zonas altas. Las areniscas y conglomerados son las que tienen mayores espesores, que llegan algunas veces a dos metros y aun más, pero en general se presentan en lechos delgados, que oscilan entre 5 y 40 centímetros, sobre todo en los niveles profundos.

Una cosa parecida ocurre en la coloración: en los niveles altos suele predominar el color rojo, y en los bajos el gris, aunque no sea raro encontrar zonas del primero intercaladas en el segundo y viceversa. Esta circunstancia nos ha servido de guía, en muchos casos, para seguir la marcha de las capas y confeccionar los cortes que acompañan a este trabajo.

§ 21. La interpretación geológica de los resultados.

A) ZONA DE BALSARENY.—Para explicar el procedimiento de cálculo seguido en la interpretación geológica de las mediciones sísmicas, empezaremos por la de la zona de Balsareny, que se presta mejor para ello por partir de un sondeo y tener una estructura geológica muy sencilla.

El perfil número IX es el que arranca en el mencionado sondeo y de él nos ocuparemos en primer lugar.

Línea IX.—La inspección de la línea dromocrónica, fi-

gura 65, construída por puntos, tomando como abscisas las distintas epicentrales de las distintas estaciones y por ordenadas los tiempos correspondientes a cada una de ellas, medidos en los sismógramas, nos hace ver que consta de cuatro trozos distintos, que forman con el eje de distan-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS
 Línea dromocrónica número 9

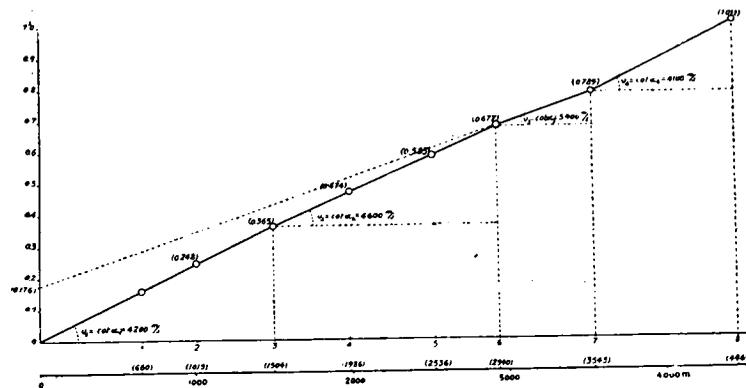


Fig. 65.

cias, los ángulos $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ y α_4 , cuyas cotangentes son las velocidades que corresponden al rayo sísmico, en los distintos estratos que constituyen el subsuelo de la zona.

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{1,504}{0,365} = 4.200 \text{ m/s.} \\ V_2 &= \frac{2,940 - 1,504}{0,677 - 0,365} = 4.600 \text{ m/s.} \\ V_3 &= \frac{3,545 - 2,940}{0,789 - 0,677} = 5.400 \text{ m/s.} \\ V_4 &= \frac{4,460 - 3,545}{1,011 - 0,789} = 4.100 \text{ m/s.} \end{aligned} \right\} V_m = 4.400 \text{ m/s.}$$

La onda sísmica pasa por las capas superficiales del subsuelo a la velocidad de 4.200 metros por segundo, pa-

ra continuar después a la de 4.600. Creemos que este tránsito no es brusco, y que si hubiéramos observado más estaciones, también tendríamos las velocidades intermedias, por lo que aceptamos el valor medio de 4.400 para este conjunto de capas.

Esta velocidad corresponde a las margas calizas con intercalaciones yesosas, que efectivamente son las encontradas en el sondeo.

Desde la estación 6 a la 7 obtenemos la velocidad de 5.400 m/s. que caracteriza el banco de sal. Observamos que este valor sólo se obtiene en una distancia de 605 metros, porque este dato nos servirá después para calcular la potencia del mismo.

Pasada la estación 7, la velocidad disminuye bruscamente a 4.100 m/s., lo que nos prueba que el rayo sísmico ha profundizado más, bajo del muro de la capa de sal.

Para calcular la profundidad de la sal en el lugar del barreno emplearemos la fórmula publicada en mi obra (*)

$$h = \frac{t}{2} \cdot \frac{V_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2}}$$

El tiempo

$$\frac{t}{2}$$

medido en el eje de los tiempos de la línea dromocrónica, es de 0,088 y las velocidades son 4.400 y 5.400 metros por segundo respectivamente.

$$h = 0,088 \cdot \frac{4.400}{\sqrt{1 - \left(\frac{44}{54}\right)^2}} = 0,88 \times 7.600 = 669 \text{ metros.}$$

(*) Los Métodos Geofísicos de Prospección, por José G. Siñeriz. Madrid, 1928.

Así obtenemos el valor de 669 metros para la profundidad del techo de la capa de sal en el emplazamiento del barreno.

En el sondeo se le ha cortado a la profundidad de 674 metros, valor que concuerda con el anterior, casi exactamente.

La distancia epicentral de la estación 6 es de 2,940 metros. Si dividimos la profundidad de la sal por este valor obtendremos la relación:

$$K = \frac{669}{2,940} = 0,23 \begin{cases} \Delta_2 = 3,545 \\ \Delta_2 - \Delta_1 = 605; (\Delta_2 - \Delta_1) \cdot K = \\ \Delta_1 = 2,940 \\ = 138 \text{ metros.} \end{cases}$$

Este valor, multiplicado por la distancia epicentral de 605 metros, que ya hemos mencionado, nos dará la potencia del banco salino, que resulta igual a 138 metros.

El muro del mismo se encontrará por nuestro cálculo a la profundidad de 807 metros. El sondeo le ha cortado a los 810 metros.

Para obtener más puntos del techo de la capa de sal, hemos hecho el estudio de interpretación representado en la figura 66.

En la línea dromocrónica hemos visto que la sal es cortada solamente por el rayo sísmico, que emerge en las estaciones 6 y 7, de manera que sólo podremos calcular la profundidad de la sal para ellas.

Empezaremos el estudio por la estación 6. El tiempo total que ha empleado el rayo sísmico en llegar a dicha estación es de 0,677 segundos. Este tiempo puede descomponerse en tres partes; la correspondiente al trayecto descendente, la correspondiente al horizontal y la del ascendente. La primera la conocemos, puesto que sabemos

la profundidad, ya calculada y la velocidad media de propagación de las ondas.

Para conocer las otras dos, supondremos primero que la capa de sal es horizontal, para obtener una primera aproximación que nos indique el sentido de su pendiente, y conocida ésta procederemos al cálculo definitivo.

El ángulo de emergencia es de 60°, de modo que la trayectoria del rayo sísmico sería $O - A - B - 6$, si la ve-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS
Estudio de interpretación de la línea dromocrónica número 9

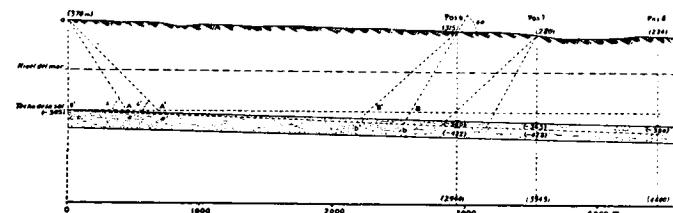


Fig. 66.

locidad de las ondas fuese constante, en todo el trayecto descendente.

Pero como no sucede así, sino que esta velocidad va aumentando constantemente desde 4.200 a 4.600 metros por segundo, el rayo sísmico se irá refractando y seguirá una trayectoria curvilínea, que cortará la supuesta capa de sal en los puntos A' y B' , determinados por la condición.

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } i'} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{4.600}{4.200}$$

Ya conocemos, por consiguiente, la longitud de los trayectos $O - A' = 800$ metros; $A' - B' = 1.600$ metros y $B' - 6$ que representamos por L .

Podremos, por consiguiente, establecer el siguiente cálculo:

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = 4.400 \text{ m/s.} \\ V_2 = 5.400 \text{ m/s.} \end{array} \right\} T = 0^s,677 \quad \Delta = 2.940 \text{ m.}$$

$$0,677 = \frac{0,800}{4,400} + \frac{1,600}{5,400} + \frac{L}{4,400} = 0,478 + \frac{L}{4,400};$$

$$\frac{L}{4,400} = 0^s,199$$

t (descendente) $0^s,182$. Profundidad descendente 675 m.

t (ascendente) $0^s,199$. Profundidad ascendente

$$\text{te } \frac{0,199 \times 675}{0,182} \text{ metros} = \dots\dots\dots 737 \text{ »}$$

$$\text{Altitud de la posición 6.} \dots\dots\dots 315 \text{ »}$$

$$\text{— 422 m.}$$

primer valor aproximado de la altitud sobre el nivel del mar del techo de la sal.

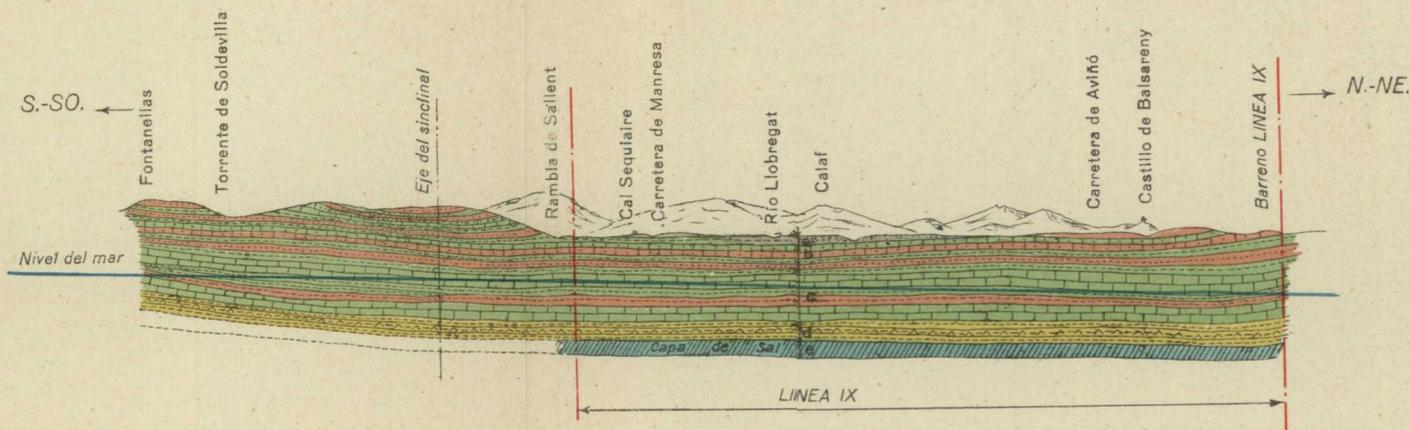
Llevemos este valor a la figura y tracemos en ella la línea $O' - a - a' - b' - b$, que representa una primera aproximación del techo de la sal y que nos sirve para repetir los cálculos y razonamientos anteriores, hasta obtener el valor definitivo de la profundidad buscada.

$$0,677 = \frac{1,000}{4,400} + \frac{1,450}{5,400} + \frac{L}{4,400} = 0,495 + \frac{L}{4,400};$$

$$\frac{L}{4,400} = 0^s,182$$

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SURIA

CORTE ESTRATIGRÁFICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL DE PROYECCIÓN NE.-SO.
LÍNEA IX DEL ESTUDIO SÍSMICO



EXPLICACIÓN

- a Aluvial.
- b Areniscas, arcillas y margas con algún banco de caliza sabulosa.
- c Calizas, margas y arcillas con algún banco de arenisca.
- d Margas con anhidrita, con manifestaciones de sal.
- e Banco de sal.

Escala 1:50.000



t (descendente) 0,182. Profundidad ascenden-

$$te \frac{0,182 \times 675}{0,182} = \dots\dots\dots 675 \text{ m.}$$

t (ascendente) 0,182. Altitud de la posición 6... 315 »
 — 360 m.

Así obtenemos para valor definitivo de la profundidad del techo de la sal, bajo el nivel del mar, la cantidad de — 360 metros.

Este cálculo se ha repetido para la posición 7, y nos ha dado, para la misma magnitud, la cifra de — 365 metros.

Como comprobación, podemos observar que los tres puntos determinados caen en la línea recta.

La profundidad de la sal en la posición 8, no la podemos determinar directamente por medio de la línea IX; pero como la estratigrafía de la zona comprendida entre la posición 7 y la 8 permanece uniforme y constante, podemos, sin temor alguno, suponer que la capa de sal continúa hasta ella y asignaría la profundidad de — 380 metros.

Con los resultados obtenidos hemos dibujado el corte geológico representado en la lámina VI.

Línea X.—La construcción de la línea dromocrónica número X, figura 67, nos pone de manifiesto la diversidad de velocidades de las ondas sísmicas en el subsuelo de las estaciones de que consta y que analizaremos sucesivamente.

Desde el barreno a la estación 2, obtenemos el valor de 4.200 metros, completamente igual a la de la línea anterior. Los estratos superficiales son, por consiguiente, los mismos que en aquella. Después, desde la estación 2 a la 5, se eleva a 5.100 metros por segundo.

A primera vista pudiera creerse que el rayo sísmico ha-

bía cortado la sal a menor profundidad que en el perfil IX, pero un análisis más detenido nos demostrará que puede no ser así. En efecto, en el trozo comprendido desde la posición 2 a la 3, la velocidad es de 5.100 metros; desde la 3 a la 4 de 5.200; y desde la 4 a la 5 de 5.000. Luego en ningún trozo hemos contenido la velocidad característica de la sal de 5.400 metros y además la velocidad

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS
Línea dromocrónica número 10

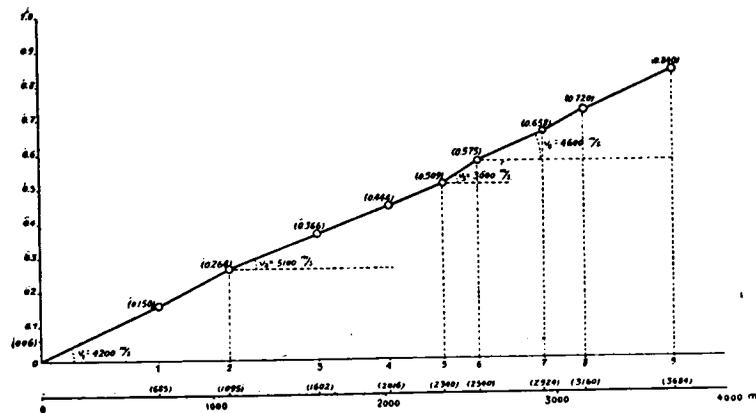


Fig. 67.

ha disminuído al final del trayecto, en lugar de haber permanecido constante.

Creemos que este aumento de velocidad es debido a la interestratificación de los bancos de caliza, ya cortados en el sondeo de Balsareny, pero que sin duda, allí eran de menor potencia, o sea que en este lugar las margas se han transformado en verdaderas calizas, o han sido sustituidas por capas yesosas. Sin embargo, también pudiera ser debido a algún banco de sal, atravesado por el rayo sísmico entre las estaciones 3 y 4.

Entre las estaciones 5 y 6 la velocidad desciende bruscamente a 3.000 m/s. Esto nos indica que el rayo sísmico ha encontrado una falla apreciable en la superficie; que pone en contacto rocas de muy distinta elasticidad, o simplemente produce una solución de continuidad en los estratos.

Desde la 6 a la 7 la velocidad vuelve a aumentar a 4.600 m/s. Es decir, que si no hubiera habido la anterior pérdida de velocidad, este valor pasaría con mucho la cifra de 5.000 metros por segundo.

Después, desde la 7 a la 8, encontramos otro brusco descenso a 3.900 m/s. que nos indica que el rayo sísmico en su trayectoria curvilínea ascendente ha vuelto a cortar a la falla y que el buzamiento de ésta tiene que ser en el sentido del perfil.

Y, por último, desde la posición 8 a la 9, volvemos a obtener la velocidad de 4.600 metros por segundo.

En resumen, si antes de la posición 6 el rayo sísmico no ha cortado la sal, como a esta posición le corresponde una distancia epicentral de 2.540 metros, que multiplicados por la constante $K = 0,23$ determinada en el perfil anterior, nos da la cifra de 584 metros, obtendremos para la profundidad de la sal en el barreno de la línea X, un valor mayor de la indicada por esa cifra. Si fuere cierta la hipótesis de haberla cortado entre las estaciones 3 y 4, su profundidad sería de unos 350 metros.

No podemos calcular exactamente su valor, por impedir la falla la determinación del codo de la línea dromocrónica.

Para asegurar el valor medio de la profundidad de la sal en este perfil, sería preciso observar otro nuevo en su misma dirección, y con el origen situado 1.500 metros más atrás, para evitar el obstáculo de la falla.

A continuación se han escrito los valores que han servido para la determinación de las distintas velocidades interpretadas.

$$\begin{array}{l}
 V_1 = \frac{1,095}{0,264} = 4.200 \text{ m/s.} \\
 V_2' = \frac{1,612 - 1,095}{0,366 - 0,264} = 5.100 \text{ m/s.} \\
 V_2'' = \frac{2,016 - 1,612}{0,444 - 0,366} = 5.200 \text{ »} \\
 V_2''' = \frac{2,340 - 2,016}{0,509 - 0,444} = 5.000 \text{ »} \\
 V_3 = \frac{2,540 - 2,340}{0,575 - 0,509} = 3.000 \text{ »} \\
 V_4 = \frac{2,924 - 2,540}{0,658 - 0,575} = 4.600 \text{ »} \\
 V_4'' = \frac{3,160 - 2,924}{0,720 - 0,658} = 3.900 \text{ »} \\
 V_4''' = \frac{3,684 - 3,160}{0,840 - 0,720} = 4.600 \text{ »}
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\}
 \begin{array}{l} \\ \\ V_2 = 5.100 \text{ m/s.} \\ \\ \\ \\ V_4 = 4.300 \text{ m/s.} \\ \\ \end{array}$$

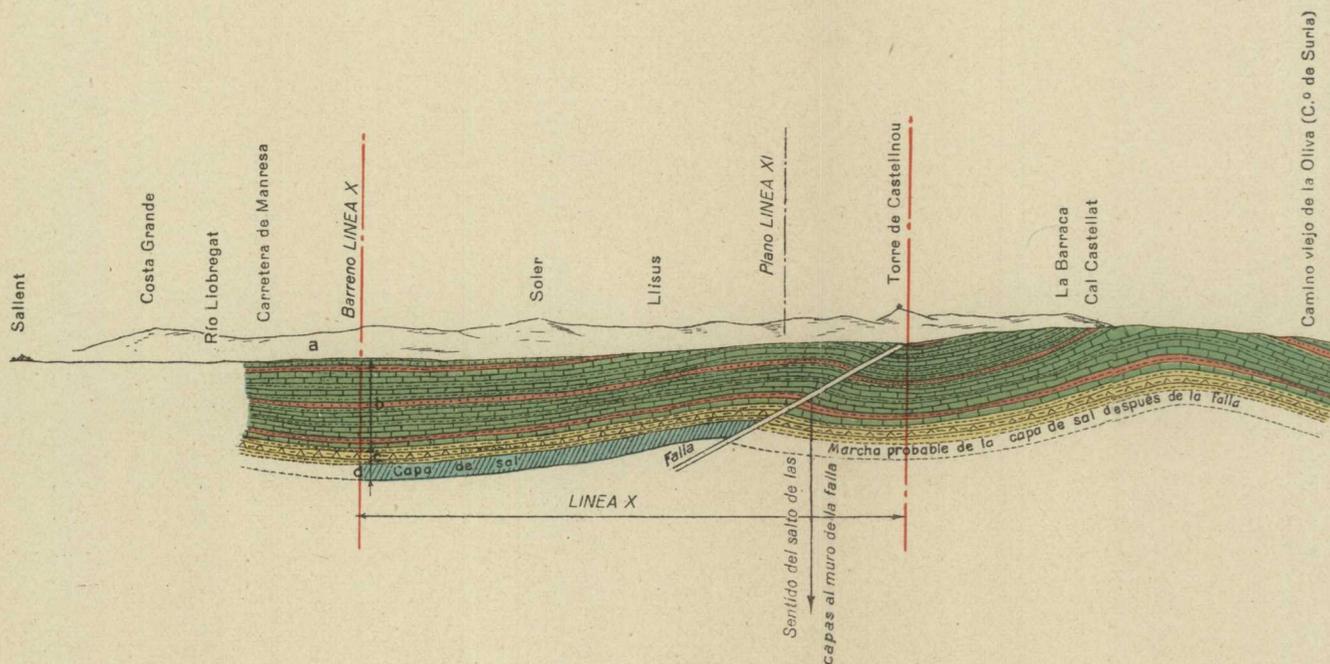
Línea XI.—La línea dromocrónica número XI (fig. 68), es muy interesante, porque nos pone de manifiesto la existencia de la sal en la región de Sampedor.

Desde el barreno a la estación 1, obtenemos la velocidad de 3.400 metros, que nos indica la disminución de caliza de las margas superficiales, como efectivamente se comprueba por medio del reconocimiento geológico.

Entre las estaciones 1 y 4, se vuelven a presentar las margas del perfil anterior, puesto que la velocidad ha aumentado hasta 4.700 m/s. El promedio, desde el barreno a la estación 4, es 4.200, valor ya obtenido en el perfil anterior. La constitución geológica del subsuelo sigue, por consiguiente, constante.

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SURIA

CORTE ESTRATIGRÁFICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL DE PROYECCIÓN
N. NE.-S. SO.—LÍNEA X DEL ESTUDIO SÍSMICO



EXPLICACIÓN

Escala 1:50.000

- a** Terreno de labor y Aluvial.
- b** Calizas, margas (algunas salitrosas) y arenisca.
- c** Id. id. y yesos.
- d** Capa de sal.

Desde la estación 4 a la 6 la velocidad asciende a 5.500 metros, que caracteriza la sal de esta zona. Queda pues, fuera de duda, que existe bajo el emplazamiento del barreno.

Por medio de las estaciones restantes del perfil, deter-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS
Línea dromocrónica número 11

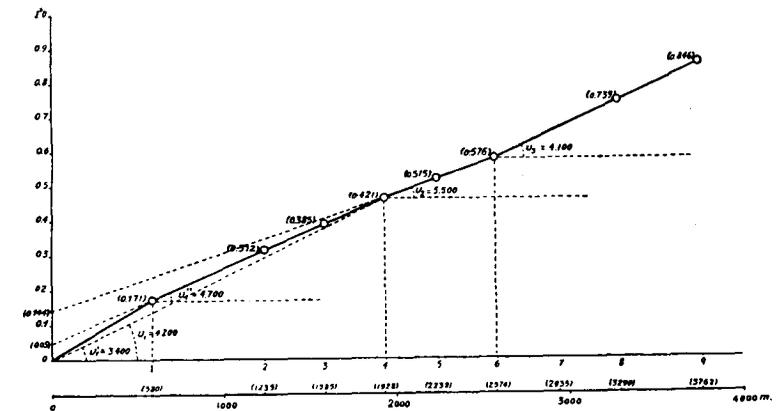


Fig. 68.

minamos el valor de 4.100 m/s., que nos demuestra que el rayo sísmico ha pasado ya bajo la capa de sal.

La línea dromocrónica número XI nos permite calcular la profundidad del primer conjunto de margas poco calizas; del segundo, limitado por el techo del banco de sal y la potencia de este último.

A continuación escribimos los cálculos efectuados para los que no creemos sea necesario repetir las explicaciones que hemos dado anteriormente.

$$\begin{array}{l}
 V'_1 = \frac{0,580}{0,171} = 3.400 \text{ m/s.} \\
 V''_1 = \frac{1,938 - 0,580}{0,461 - 0,171} = 4.700 \text{ m/s.} \\
 V_2 = \frac{2,574 - 1,938}{0,576 - 0,461} = 5.500 \text{ m/s.} \\
 V'_3 = \frac{3,290 - 2,574}{0,739 - 0,576} = 3.800 \text{ m/s.} \\
 V''_3 = \frac{3,762 - 3,290}{0,846 - 0,739} = 4.400 \text{ m/s.}
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\}
 \begin{array}{l}
 V_1 = 4.200 \text{ m/s.} \\
 \\ \\
 V_3 = 4.100 \text{ m/s.}
 \end{array}$$

Cálculo de la profundidad del primer horizonte geológico de margas.

$$h_0 = \frac{0,05}{2} \cdot \frac{3,400}{\sqrt{1 - \left(\frac{34}{47}\right)^2}} = 0,025 \cdot \frac{3,400}{\sqrt{1 - 0,52}} = 0,025 \times \\
 \times 4.950 = 124 \text{ ms.}$$

Cálculo de la profundidad del techo de la sal.

$$h'_0 = \frac{0,144}{2} \cdot \frac{4.200}{\sqrt{1 - \left(\frac{42}{55}\right)^2}} = \frac{0,144}{2} \cdot \frac{4.200}{\sqrt{1 - 0,53}} \cdot \frac{0,144}{2} \times \\
 \times 6.950 = 500 \text{ ms.}$$

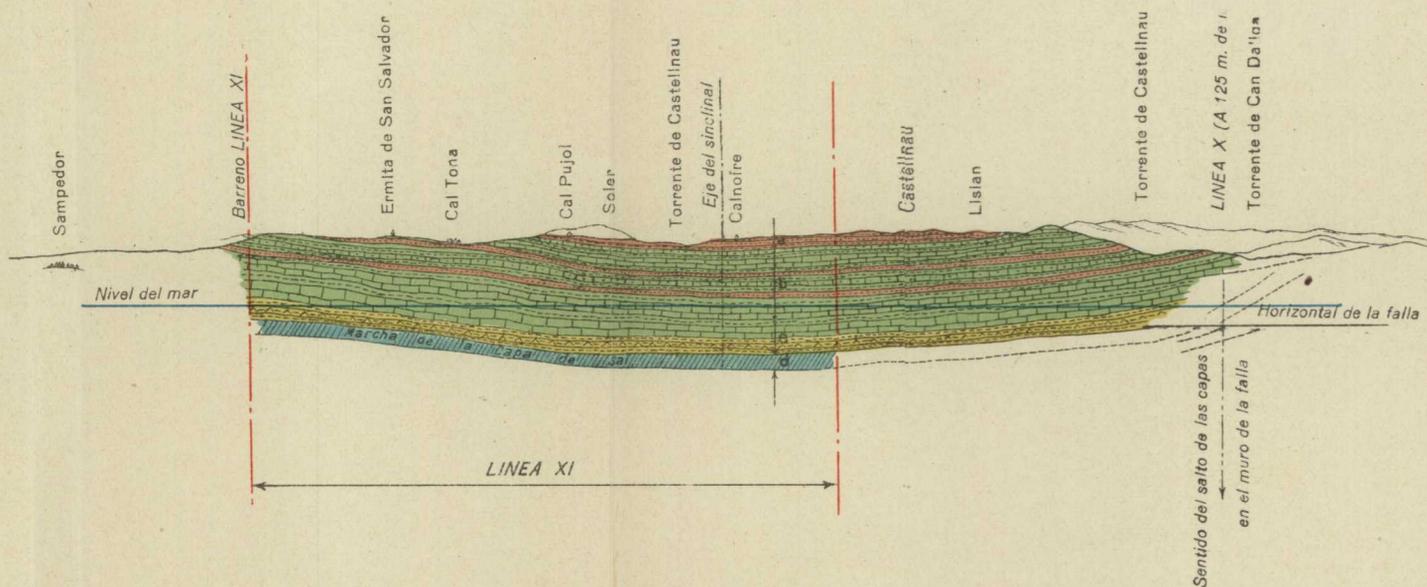
Altitud del barreno sobre el nivel del mar. $\frac{430}{70}$
 Altitud del barreno del techo de la sal....

Conocida ya la profundidad de la sal en el barreno hemos hecho un estudio de interpretación análogo al explicado en la línea IX, que nos ha permitido dibujar el corte geológico que corresponde al perfil estudiado, lám. VII.

Terminada ya la interpretación de las líneas sísmicas de la zona de Balsareny, vamos a ocuparnos de las correspondientes a la zona de Suria.

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SURIA

CORTE ESTRATIGRÁFICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL DE PROYECCIÓN N.-NE. S.-SO.
LINEA XI DEL ESTUDIO SÍSMICO



EXPLICACIÓN

Escala 1: 50.000

- a Areniscas semifinas, a cillas y margas.
- b Calizas sabulosas y compactas, margas con manifestaciones de yeso y algún banco de arenisca.
- c Caliza margosa, margas con yeso y manifestaciones de sal.
- d Capa de sal.

B) ZONA DE SURIA.

Línea I. — El primer valor que obtenemos para la velocidad en esta línea, desde el barreno a la posición 1, es de 2.500 metros, que corresponde a los bancos de arenisca de grano grueso, que en esta zona cubren las margas subyacentes.

Entre la posición 1 y la 2, hemos encontrado el valor de 3.200 metros que, como ya hemos dicho, nos prueba la presencia de las margas, cuyo contenido de caliza es menor que el de las inferiores que, además, contienen lechos de anhidrita, de poco espesor, intercalados entre los bancos.

Desde la posición 2 a la 4, la velocidad alcanza el valor de 5.800 metros que, sin duda alguna, corresponde a la sal. Entre las estaciones 2 y 3 se elevó a 6.800 metros por

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE SURIA
Línea dromocrónica número 1

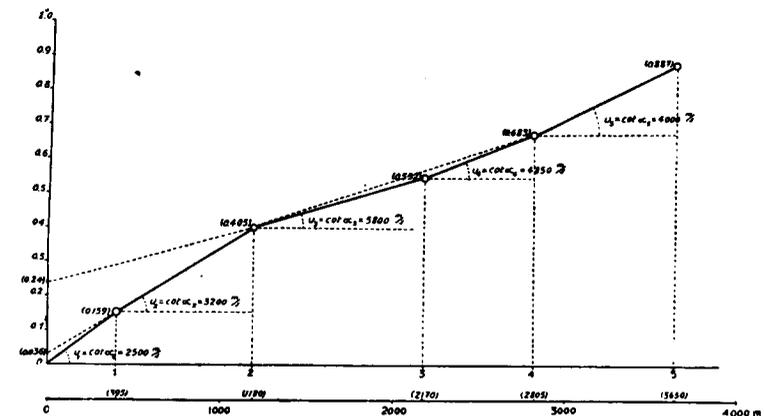


Fig. 69.

segundo, lo que nos indica que el valor anterior es pequeño. Si existiere una estación intermedia entre las 3 y 4,

es casi seguro que obtendríamos una constante de algo más de 6.000 metros por segundo, que corresponde al yacimiento de sal, según se demostrará en las investigaciones sucesivas.

Después, la velocidad desciende inmediatamente a 4.000 m/s., que nos comprueba el paso del rayo sísmico por debajo de la capa de sal.

Por medio de la curva dromocrónica número I, fig. 69, podemos calcular la profundidad de la sal en el barreno y la de los horizontes geológicos caracterizados por las velocidades de 2.500 y 3.200 m/s., o sean las areniscas y las margas.

A continuación se escriben los cálculos efectuados, para los que no juzgamos necesario explicación alguna.

$$V_1 = \frac{0,395}{0,159} = 2.484 \text{ m/s.}$$

$$V_2 = \frac{1,180 - 0,395}{0,405 - 0,159} = 3.200 \text{ m/s.}$$

$$V_s = \frac{2,170 - 1,180}{0,552 - 0,405} = 6.800 \text{ m/s.} \left\{ \begin{array}{l} V_s = \frac{2,805 - 1,180}{0,683 - 0,405} = \end{array} \right.$$

$$V''_s = \frac{2,805 - 2,170}{0,683 - 0,552} = 4.850 \text{ } \left\{ \begin{array}{l} = \frac{1,625}{0,278} = 5.800 \text{ m/s.} \end{array} \right.$$

$$V_4 = \frac{3,630 - 2,805}{0,887 - 0,683} = 4.000 \text{ } \left\{ \right.$$

Cálculo de la profundidad del muro de las areniscas.

$$h = 0,018 \frac{2,500}{\sqrt{1 - \left(\frac{25}{32}\right)^2}} = 0,018 \frac{2,500}{\sqrt{0,39}} = 0,018 \frac{2,500}{0,62} = 75 \text{ metros.}$$

Cálculo de la profundidad del techo de la sal ().*

$$h' = 0,12 \frac{3,200}{\sqrt{1 - \left(\frac{32}{58}\right)^2}} = 0,12 \frac{3,200}{\sqrt{0,70}} = 0,12 \frac{3,200}{0,835} = 460 \text{ metros.}$$

| | |
|---|--------|
| Altitud del lugar del barreno..... | 327 m. |
| Altitud, sobre el nivel del mar, del techo de las margas..... | +252 » |
| Altitud, sobre el nivel del mar, del techo de la sal..... | -133 » |

La línea dromocrónica número I, nos permite calcular la profundidad del primer horizonte, en las estaciones 2 y 3 y la de la sal en las 4 y 5. Para conseguirlo, hemos efectuado un estudio de interpretación, análogo al ya explicado, del que presentamos el dibujo correspondiente, figura 70, sin repetir los cálculos y razonamientos ya ex-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE SURIA
Estudio de interpretación de la línea dromocrónica n.º 1

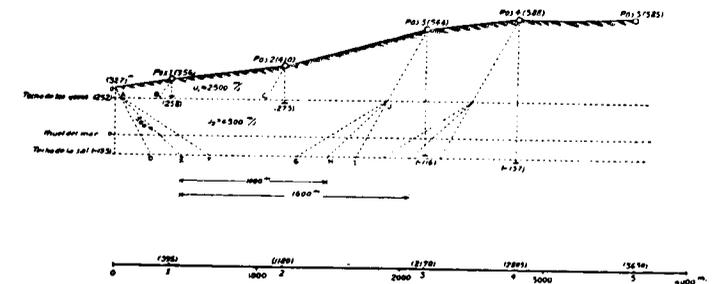


Fig. 70.

(*) Se ha tomado la velocidad media de 0 a 2, igual a 3.200 metros por segundo, por la razón explicada en la línea IX.

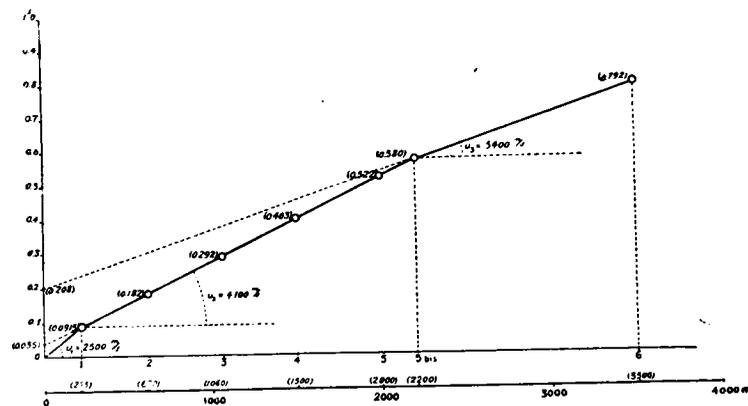
plicados, por no alargar innecesariamente esta Memoria.

Los resultados obtenidos han servido para dibujar el corte estratigráfico desde Suria a Fonollosa, lámina VIII, en su parte correspondiente a esta línea.

Línea II.—La curva dromocrónica correspondiente a este perfil, figura 71, se presta muy bien para la interpretación.

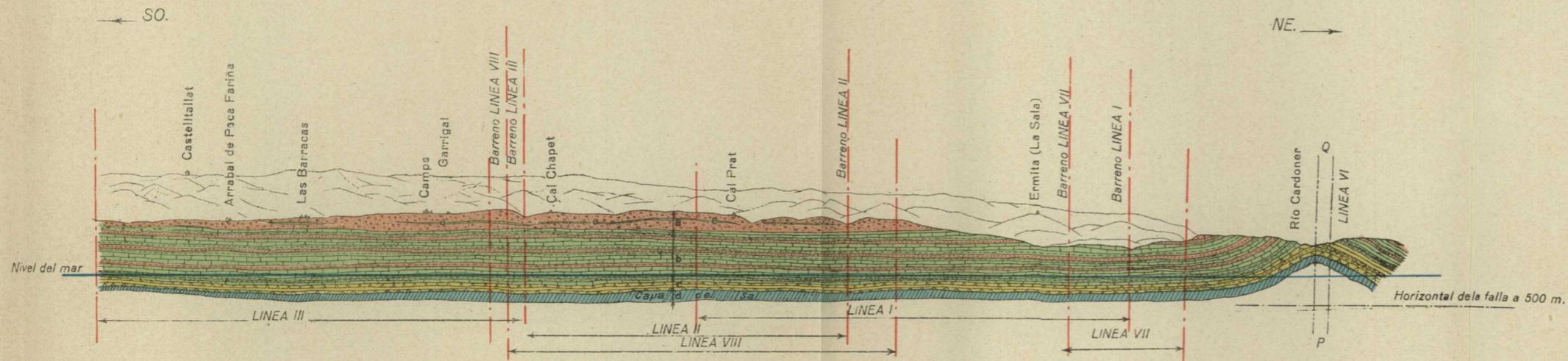
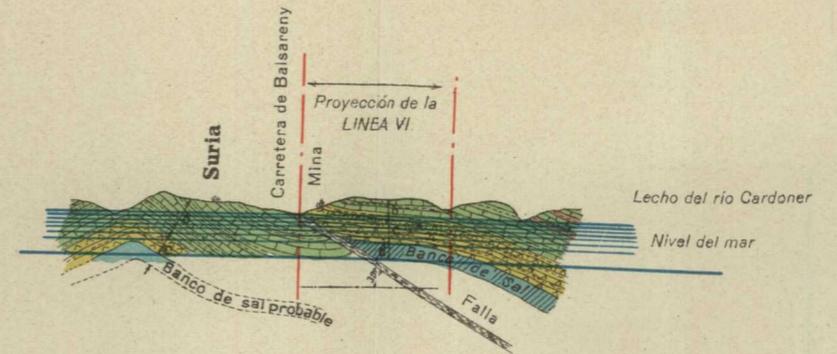
Primeramente nos muestra la velocidad de 2.500 m/s., correspondiente a las areniscas mencionadas en la línea I.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE SURIA
Línea dromocrónica número 2



INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SURIA

CORTE ESTRATIGRÁFICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL DE PROYECCIÓN NE.-SO.,
DESDE SURIA A FONOLLOSA.—LÍNEAS I, II, III, VII Y VIII



EXPLICACIÓN

Escala 1:50.000

- a Zona de conglomerados, arenisca basta, arcillas y margas.
- b Id. de calizas, arcillas y margas con intercalaciones de arenisca semifina.
- c Id. de calizas, arcillas, margas salitrosas y yesos.
- d Banco de sal.
- e Capa de lignito de escasa potencia

$$V_1 = \frac{0,225}{0,090} = 2.472 \text{ m/s.} \dots\dots\dots V_1 = 2.500 \text{ m/s.}$$

$$V_2 = \frac{1,500 - 0,225}{0,403} = \frac{1,275}{0,312} = 4,080 \text{ m/s.} \quad V_2 = 4.100 \text{ m/s.}$$

$$V_3 = \frac{3,500 - 200}{0,792 - 0,522} = 5.555 \text{ m/s.} \dots\dots\dots V_3 = 5.500 \text{ m/s.}$$

Cálculo de la profundidad del muro de las areniscas.

$$h_0 = 0,017 \frac{2.400}{\sqrt{1 - \left(\frac{25}{41}\right)^2}} = 0,017 \frac{2.500}{0,79} = 56 \text{ metros.}$$

Cálculo de la profundidad del techo de la sal ().*

$$h'_0 = 0,104 \frac{4.100}{\sqrt{1 - \left(\frac{41}{55}\right)^2}} = 0,104 \frac{4.100}{\sqrt{0,45}} = 104 \frac{4.100}{0,76} =$$

$$= 636 \text{ metros.}$$

| | |
|---|---------|
| Altitud del lugar del barreno..... | 514 m. |
| Altitud, sobre el nivel del mar, del techo de las margas..... | 458 m. |
| Altitud, sobre el nivel del mar, del techo de la sal | -122 m. |

Línea III.—La línea dromocrónica número 3, figura 72, nos suministra también importantes datos para el conocimiento de la posición del banco salino.

Hasta la posición 2 se presenta la velocidad de 2.800 metros por segundo, que consideramos análoga a la obtenida en los perfiles anteriores.

Desde la posición 2 a la 7 la velocidad permanece sen-

(*) Se ha aceptado la velocidad de 4.100 metros por segundo para velocidad media, por las razones ya explicadas.

siblemente constante e igual a 4.800 m/s. Como esta posición 7 dista 3.920 metros del origen, es indudable que la

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE SURIA
 Línea dromocrónica número 3

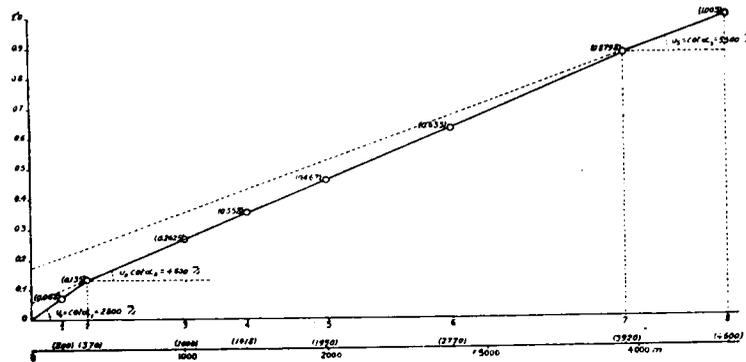


Fig. 72.

sal se encuentra algo más profunda que en el perfil que ha precedido al que consideramos.

Entre la posición 7 y la 8 obtenemos la constante de velocidad de la sal que es de 5.500 metros por segundo.

Con los datos que preceden podemos calcular la profundidad del primer horizonte geológico y la de la sal (*).

$$V_1 = \frac{0,370}{0,133} = 2.792 \text{ m/s.} \dots\dots\dots V_1 = 2.800 \text{ m/s.}$$

$$V_2 = \frac{3.920 - 0.370}{0,880 - 0,133} = 4.752 \text{ m/s.} \dots\dots\dots V_2 = 4.800 \text{ m/s.} \text{ >}$$

$$V_3 = \frac{4.000 - 3.920}{1,003 - 0,880} = 5.528 \text{ m/s.} \dots\dots\dots V_3 = 5.500 \text{ m/s.} \text{ >}$$

(*) Tomamos para V_2 el valor de 4.800 m/s. por ser muy pequeña la profundidad del primer horizonte, comparada con la del segundo.

$$h_0 = 0,0175 \frac{2,8}{\sqrt{1 - \left(\frac{28}{48}\right)^2}} = 0,0175 \frac{2,8}{\sqrt{1 - 0,34}} =$$

$$= 0,0175 \frac{2,8}{0,81} = 60 \text{ metros.}$$

$$h'_0 = 0,071 \frac{4,8}{\sqrt{1 - \left(\frac{48}{55}\right)^2}} = 0,071 \frac{4,8}{\sqrt{1 - 0,76}} =$$

$$= 0,071 \frac{4,8}{0,49} = 696 \text{ metros.}$$

| | |
|---|--------|
| Altitud del lugar del barreno | 588 m. |
| Altitud sobre el nivel del mar del techo de las margas | 528 > |
| Altitud sobre el nivel del mar del techo de la sal | -108 > |

Si tenemos en cuenta la notable disminución de longitud del recorrido del rayo sísmico, a través de la capa de sal, según se aprecia en la línea dromocrónica que estudiamos, la potencia de la misma debe disminuir a lo largo del perfil.

Por ser muy pequeña la relación entre su espesor y la profundidad a que se encuentra, no podemos calcular cómo disminuye aquél con la distancia al origen y, por consiguiente, la indicación del croquis del corte geológico sólo tiene un valor cualitativo, que aumentará con los datos de las siguientes líneas.

Línea IV.—El estudio de este perfil, figura 73, nos indica una velocidad superficial, análoga a las anteriores de 2.300 m/s., puesto que para las pequeñas profundidades tiene importancia la más pequeña variación en la composición petrográfica de las rocas.

Después sigue constante la velocidad hasta una profundidad considerable, con el valor de 4.500 m/s. A partir de la distancia epicentral de 3.775 metros aumenta a 5.900

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE SURIA
Línea dromocrónica número 4

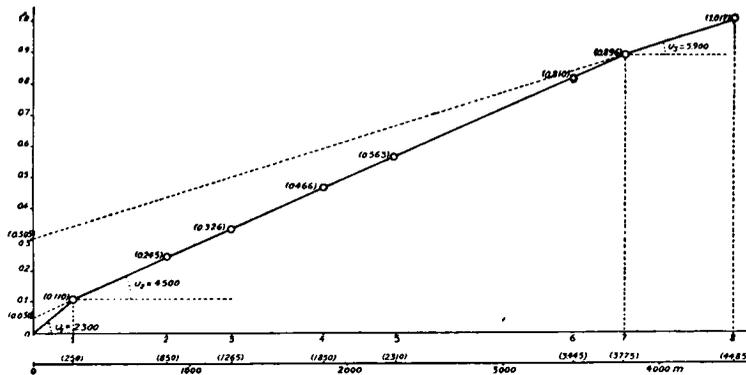


Fig. 73.

metros por segundo, que corresponde a la velocidad aparente de la sal, cuyo horizonte ha empezado con anterioridad a ella.

Estos valores nos ponen de manifiesto que en el lugar del barreno, es muy pequeña la potencia del banco salino, puesto que no llega a influir de una manera apreciable en la velocidad de propagación de las ondas. Sin embargo, el ligero aumento que se puede apreciar entre las estaciones 5 y 6 nos hace creer que aun existe alguna sal bajo aquél.

Podemos afirmar, por consiguiente, que el origen de esta línea se encuentra muy cerca del borde de la cuenca salina.

La potencia del banco de sal aumenta hacia el NO. y en

el punto de intersección del perfil que estudiamos con los dos anteriores tiene ya su valor medio normal.

De los cálculos que siguen se deduce que la potencia total de las margas calizas y yesosas del Oligoceno, justamente con el horizonte de sal alcanza, y aun supera, el valor de 1.052 metros.

$$V_1 = \frac{0,250}{0,110} = 2.300 \text{ m/s.}$$

$$V_2 = \frac{3,775 - 0,250}{0,896 - 0,110} = \frac{3,525}{786} = 4.500 \text{ m/s.}$$

$$V_3 = \frac{4,485 - 3,775}{1,017 - 0,896} = \frac{710}{121} = 5.900 \text{ m/s.}$$

$$h = 0,025 \frac{2.300}{\sqrt{1 - \left(\frac{23}{45}\right)^2}} = 0,025 \frac{2.300}{\sqrt{1 - 0,28}} = 0,025 \frac{2.300}{0,87} = 66 \text{ metros.}$$

$$(*) h' = 0,152 \frac{4.500}{\sqrt{1 - \left(\frac{45}{59}\right)^2}} = 0,152 \frac{4.500}{\sqrt{1 - 0,58}} = 0,152 \frac{4.500}{0,65} = 1.052 \text{ metros.}$$

Para fijar un valor aproximado de la profundidad de la sal, ya que no podemos calcularlo con seguridad, tengamos en cuenta que entre las estaciones 5 y 6 la distancia epicentral media es de 2.877 metros. A esta distancia corresponde una profundidad para el rayo sísmico de 632 metros por segundo, si aplicamos el coeficiente $K = 0,22$,

(*) Admitimos como en los casos anteriores $V_m = 4.500$.

que es el más indicado para los estratos locales. Si el horizonte salino, correspondiese a la estación 7, su profundidad sería de unos 800 metros.

Con aquel dato y el obtenido por la intersección de las líneas II y III, que no ofrece duda por proceder de dos perfiles que han concordado perfectamente, hemos dibujado el corte estratigráfico de la línea IV, lámina IX.

Línea V.—La línea V tiene dirección opuesta a la anterior, es decir, que el barreno está en su extremo NO. Como la estructura geológica del terreno comprendido entre ambas es muy uniforme, podemos considerarla como su contralínea.

El aspecto de la línea dromocrónica, figura 74, que co-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE SURIA
Línea dromocrónica número 5

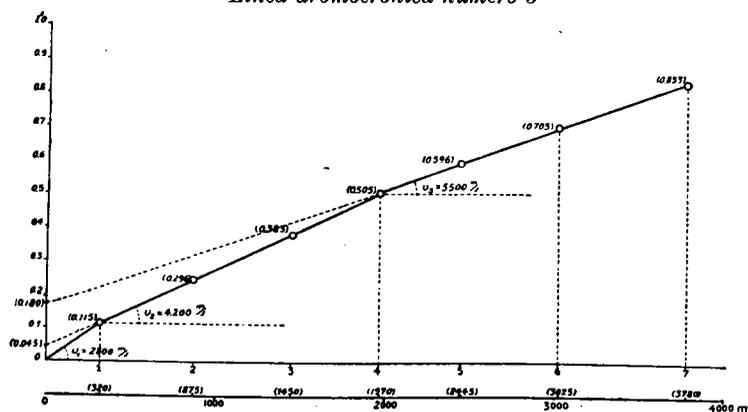


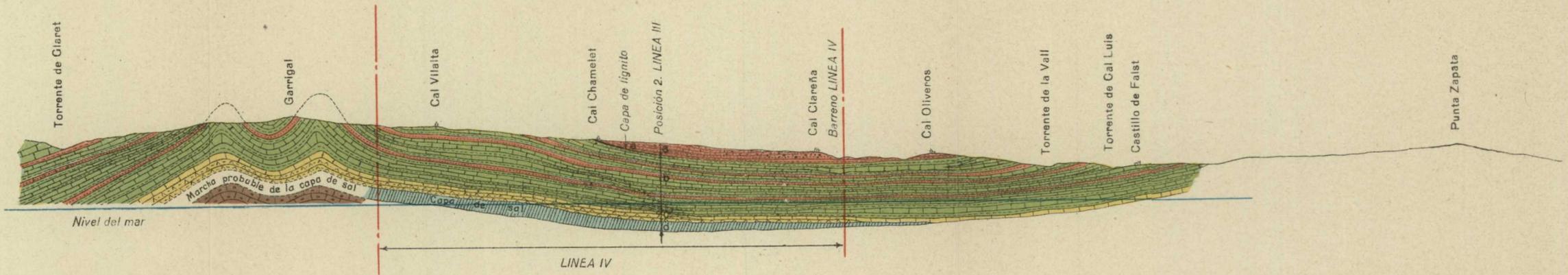
Fig. 74.

responde al perfil que estudiamos, es muy distinto del anterior. Empieza como siempre por la velocidad que corresponde a los estratos superficiales de 2.800 m/s.

Continúa después con la de 4.200 m/s. que sólo llega hasta la distancia epicentral de 1.970 metros.

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SURIA

CORTE ESTRATIGRÁFICO SEGÚN UN PLANO DE PROYECCIÓN NO.-SE,
LÍNEA IV, DESDE EL TORRENTE DE CLARET HASTA EL CASTILLO DE FALST



Escala 1:50.000

EXPLICACIÓN

- a Zona de areniscas bastas (almendrado) y semi-finas, arcillas y margas.
- b Zona de calizas margo-sabulosas, arcillas y margas con intercalaciones de arenisca.
- c Zona de margas salitrosas y yesos.
- d Capa de sal.
- e Capa de lignito de escasa importancia.

Desde allí se presenta ya la velocidad característica de la sal de esta zona de 5.500 metros, en un trayecto de gran longitud. El banco salino que en el barreno de la línea anterior tenía un pequeño espesor, tiene en éste, el normal que le corresponde. De modo que, esta línea dromocrónica, nos comprueba la interpretación que hemos dado al perfil IV, sin dejar lugar a dudas, y nos permite calcular la profundidad a que se encuentra la sal, que es de 599 metros según los cálculos que a continuación exponemos:

$$V_1 = \frac{0,320}{0,115} = 2.800 \text{ m/s.}$$

$$V_2 = \frac{1,970 - 0,320}{0,505 - 0,115} = 4.200 \text{ m/s.}$$

$$V_3 = \frac{3,780 - 1,970}{0,833 - 0,505} = 5.500 \text{ m/s.}$$

$$\begin{aligned} (*) h_0 &= 0,022 \frac{2.800}{\sqrt{1 - \left(\frac{28}{42}\right)^2}} = 0,022 \frac{2.800}{\sqrt{1 - 0,45}} = \\ &= 0,022 \frac{2.800}{0,74} = 83 \text{ metros.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h'_0 &= 0,09 \frac{4.200}{\sqrt{1 - \left(\frac{42}{55}\right)^2}} = 0,09 \frac{4.200}{\sqrt{1 - 0,58}} = \\ &= 0,09 \frac{4.200}{0,65} = 595 \text{ metros.} \end{aligned}$$

| | |
|---|--------|
| Altitud del barreno..... | 625 m. |
| Altitud sobre el nivel del mar del techo de las margas | 542 m. |
| Altitud sobre el nivel del mar del techo de la sal | -30 m. |

(*) Admitimos también $V_m = 4.200$ metros por segundo.

Con los valores anteriores se ha construido el corte estratigráfico, representado en la lámina X.

Línea VI.—Esta línea, situada sobre la margen izquierda del río Cardoner, pasa próximamente por el eje anticlinal de Suria, al Oeste del pozo de las minas de la Compañía Solvay. La profundidad de la sal en el pozo es, por consiguiente, mayor que en la línea que vamos a estudiar.

La primera velocidad indicada por la curva dromocrónica, figura 75, es de 1.983 m/s., que corresponde al material de acarreo que llena el lecho mayor del río.

El rayo sísmico encuentra después las margas caracte-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE SURIA
Línea dromocrónica número 6

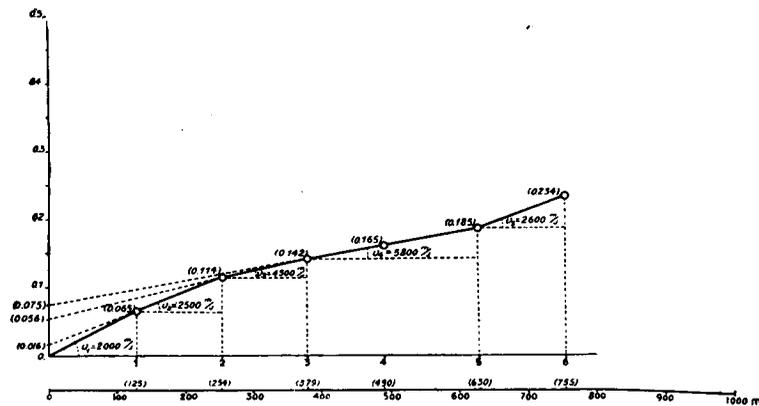


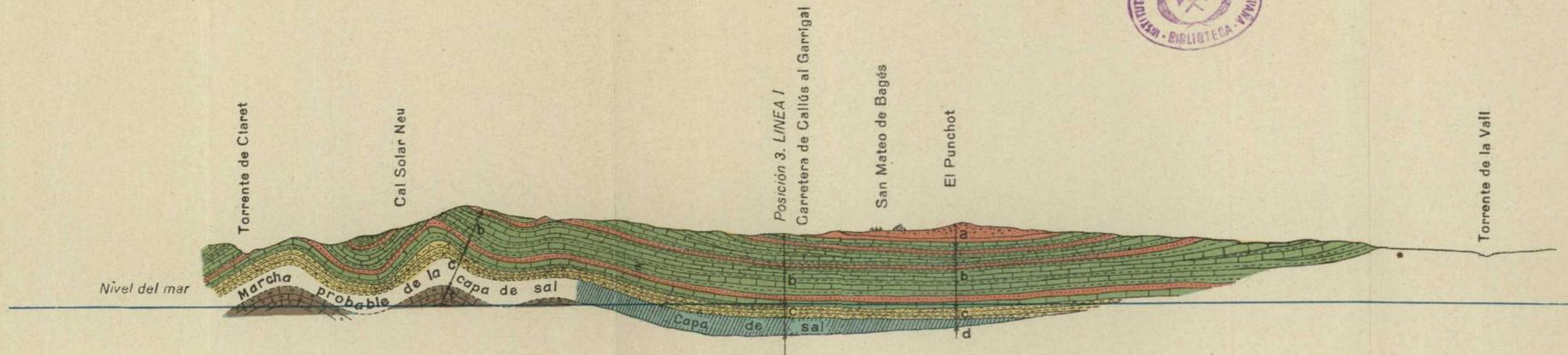
Fig. 75.

rizadas por la velocidad de 2.500 m/s. antes de llegar al banco de caliza y yesos, indicado por la velocidad de 4.500 metros por segundo.

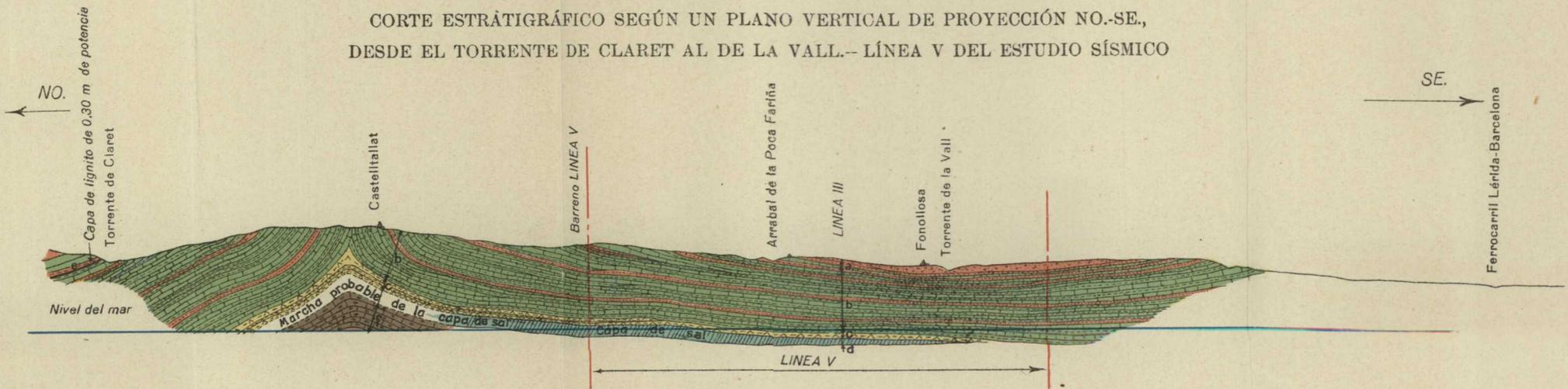
No podemos distinguir sísmicamente los lechos de yeso de los de las margas muy ricas en cal, por lo entremezclados que se encuentran.

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SURIA

CORTE ESTRATIGRÁFICO DESDE EL TORRENTE DE CLARET (AGUAS ARRIBA DE COANÉ) HASTA SAN MATEO DE BAGÉS



CORTE ESTRATIGRÁFICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL DE PROYECCIÓN NO.-SE., DESDE EL TORRENTE DE CLARET AL DE LA VALL.-- LÍNEA V DEL ESTUDIO SÍSMICO



EXPLICACIÓN

Escala 1:50.000

- a Conglomerados, areniscas bastas, arcillas y margas.
- b Calizas margo-sabulosas, arcillas, margas y bancos de arenisca fina intercalados.
- c Calizas margosas, arcillas, margas salitrosas y yesos.
- d Banco de sal.
- e Capa de lignito de 0,30 m. de potencia.
- f Calizas y conglomerados eocenos.

Después de este horizonte geológico se encuentra el banco salino, indicado en la curva por la velocidad de 5.800 metros por segundo.

Pasado éste, las ondas sísmicas vuelven a cortar rocas con una constante de velocidad inferior a la de la sal. El hecho de encontrar en la curva la velocidad de 2.600 m/s. es debido a la presencia de la falla del Tordell, como puede verse en la figura dibujada para ello, lámina VIII, que es un corte y una proyección a la vez, para dar una idea clara de la constitución geológica del anticlinal de Suria.

Esta línea dromocrónica nos permite calcular la profundidad a que se encuentran cada uno de los horizontes mencionados en los anteriores párrafos.

A continuación exponemos los cálculos efectuados.

$$V_1 = \frac{0,129}{0,065} = 1.983 \text{ m/s.}$$

$$V_2 = \frac{0,254 - 0,129}{0,114 - 0,065} = 2.551 \text{ m/s.}$$

$$V_3 = \frac{0,379 - 0,254}{0,142 - 0,114} = 4.500 \text{ m/s.}$$

$$V_4 = \frac{0,630 - 0,379}{0,195 - 0,142} = 5.800 \text{ m/s.}$$

$$V_5 = \frac{0,775 - 0,630}{0,234 - 0,185} = 2.600 \text{ m/s.}$$

$$h_0 = 0,008 \frac{2.000}{\sqrt{1 - \left(\frac{20}{26}\right)^2}} = 25 \text{ metros.}$$

$$h'_0 = 0,028 \frac{2.600}{\sqrt{1 - \left(\frac{26}{45}\right)^2}} = 90 \text{ metros.}$$

$$h''_0 = 0,037 \frac{2.700}{\sqrt{1 - \left(\frac{27}{53}\right)^2}} = 125 \text{ metros.}$$

Línea VII.—Esta línea es de pequeña longitud y tiene las estaciones muy próximas para poder estudiar al detalle los estratos superficiales y la influencia que pueden ejercer en las velocidades de las ondas sísmicas.

Se la ha observado sobre el sondeo de Can Torras, donde conocemos al detalle la composición petrográfica del terreno.

Desde el barreno a la posición 1, la línea dromocrónica (fig. 76) nos presenta la velocidad de 3.100 m/s., correspondiente a las margas. Entre la posición 1 y 2 aumenta ligeramente la velocidad a 3.400 m/s., que nos indica un

INSITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE SURIA
Línea dromocrónica número 7

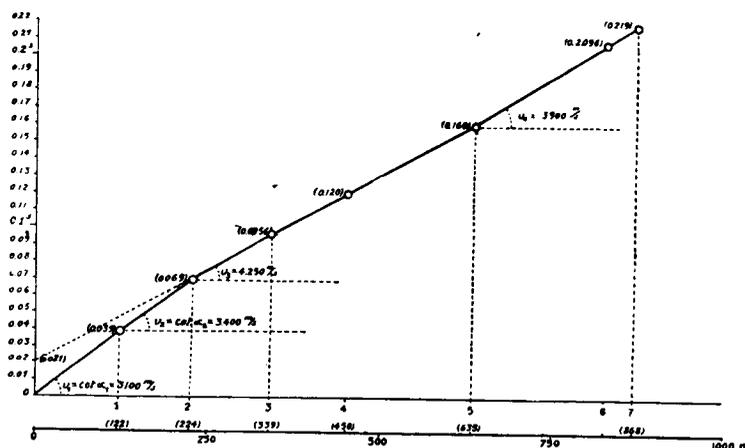


Fig. 76.

ligero aumento en el contenido de cal, de aquéllas. A los 224 m/s. de distancia epicentral, el rayo sísmico corta un banco de calizas y yesos, que en el sondeo está situado a 49 metros de profundidad y efectivamente se nos manifiesta por su velocidad de 4.500 m/s. A continuación siguen las margas, con una velocidad de 3.900 m/s.

Este banco de caliza y yesos no se nos hubiera manifestado de no estar tan próximas las posiciones de los sísmógrafos. Basta suprimir la estación 5 para que la velocidad descienda a 4.300 m/s. Esto nos indica que cuando en el resto del estudio encontramos las velocidades de 4.100, 4.200 y 4.300 m/s., es que existen capas análogas intercaladas entre las margas.

La línea dromocrónica nos permite calcular la profundidad del techo de estos bancos que resulta a los 49 m/s. indicados por el sondeo y dada la seguridad de ese valor podemos deducir la relación entre la distancia epicentral y la profundidad alcanzada por el rayo sísmico

$$K = \frac{49}{224} = 0,22$$

Este coeficiente es de gran importancia para la interpretación, según ya hemos dicho anteriormente.

A continuación exponemos el cálculo efectuado con los datos que nos suministra esta línea dromocrónica.

$$V_1 = \frac{0,122}{0,039} = 2.100 \text{ m/s.}$$

$$V_2 = \frac{0,224 - 0,122}{0,069 - 0,039} = 3.400 \text{ m/s.}$$

$$V_3 = \frac{0,633 - 0,224}{0,160 - 0,069} = 4.500 \text{ m/s.}$$

$$V_4 = \frac{0,808 - 0,633}{0,219 - 0,160} = 3.900 \text{ m/s.}$$

$$h_0 = 0,015 \frac{3.250}{\sqrt{1 - \left(\frac{325}{450}\right)^2}} = 0,015 \frac{3.250}{\sqrt{1 - 0,52}} =$$

$$= 0,015 \frac{3.250}{0,69} = 49,25$$

Línea VIII.—Ya hemos dicho que con el perfil VIII hemos tratado de estudiar el eje del anticlinal que pasa por Suria, en el trayecto indicado en el plano topográfico, y lo hemos conseguido por completo, como veremos en las siguientes explicaciones.

El rayo sísmico recorre los estratos superficiales a la velocidad de 2.400 m/s., como en casi toda nuestra zona de estudio (figura 77). Aumenta su velocidad progresiva-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE SURIA
Línea dromocrónica número 8

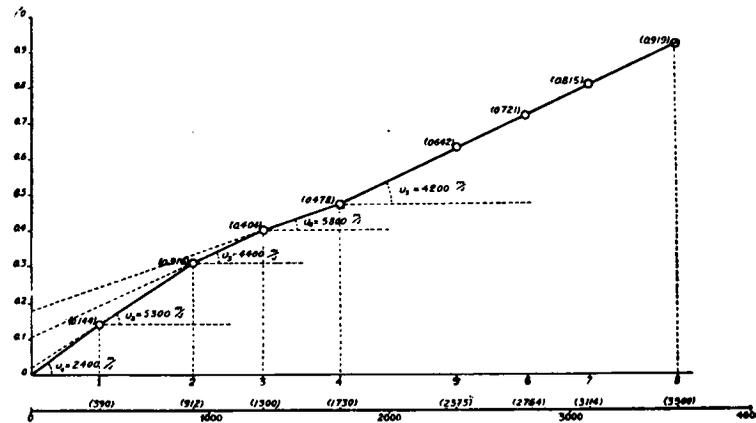


Fig. 77.

mente a 3.300 m/s. de la estación 1 a la 2 y a 4.400 de la 2 a la 3, a medida que profundiza en los estratos y desde la estación 3 a la 4 adquiere ya la velocidad que corresponde a su paso por el banco de sal de 5.800 metros por segundo.

Desde la estación 4 hasta la 8, en un trayecto cuya longitud es muy próxima a dos kilómetros, adquiere la velocidad constante de 4.200 m/s., correspondiente a los estratos subyacentes al depósito salino.

El origen del perfil no coincide con el eje del anticlinal por impedirlo los accidentes del terreno, por cuya razón la profundidad que calculamos para la capa de sal en el barreno, habrá que referirla a este eje si se desea conocer este dato. El corte geológico de la línea IV, lámina IX, podrá emplearse para ello.

A continuación se exponen los cálculos que han servido para determinarla.

$$V_1 = \frac{0,340}{0,144} = 2.400 \text{ m/s.}$$

$$V_2 = \frac{0,912 - 0,340}{0,316 - 0,144} = \frac{572}{172} = 3.300 \text{ m/s.}$$

$$V_3 = \frac{1,300 - 0,912}{0,404 - 0,316} = \frac{388}{88} = 4.400 \text{ m/s.}$$

$$V_4 = \frac{1,730 - 1,300}{0,478 - 0,404} = \frac{430}{74} = 5.800 \text{ m/s.}$$

$$V_5 = \frac{3,600 - 1,730}{0,919 - 0,478} = \frac{1,870}{441} = 4.200 \text{ m/s.}$$

$$h = 0,01 \frac{2.400}{\sqrt{1 - \left(\frac{24}{33}\right)^2}} = 0,01 \frac{2.400}{\sqrt{1 - 0,54}} = 0,01 \frac{2.400}{0,68} = 35 \text{ m.}$$

$$(*) h = 0,09 \frac{4.400}{\sqrt{1 - \left(\frac{44}{58}\right)^2}} = 0,09 \frac{4.400}{\sqrt{1 - 0,58}} = 0,09 \frac{4.400}{0,65} = 612 \text{ m.}$$

| | |
|--|----------|
| Altitud del lugar del barreno | + 850 m. |
| Altitud sobre el nivel del mar del techo de las margas | + 815 m. |
| Altitud sobre el nivel del mar del techo de la sal | + 238 m. |

(*) Se acepta $V_m = 4.400$, según ya hemos explicado.

§ 22. **Resumen.**—El trabajo sísmico efectuado nos ha permitido seguir la marcha de la capa potásica en una gran extensión superficial y calcular las profundidades a que se encuentra, en cada lugar.

También ha permitido conocer el límite de la formación salina en la región de Fonollosa y la importante falla que la atraviesa en la de Sampedor.

Después de terminar estas líneas, llega a nuestro conocimiento que en el sondeo que se practica en Sallent ha sido cortada la potasa a la profundidad de 350 metros.

Este hecho, completamente desconocido cuando hemos realizado las operaciones de campo y los cálculos subsiguientes, comprueba el cálculo de profundidades efectuado, como puede verse por el sentido y buzamiento de las capas dibujadas en los cortes estratigráficos.

También acabamos de saber que en la parte final del perfil XI, lámina VII, en las cercanías del torrente de Castellnou, la Sociedad «La Minera» ha efectuado un sondeo en el que se ha cortado las primeras vetas de sal, mezcladas con margas y yesos a los 643 metros debajo de la superficie; después se ha ido enriqueciendo con capas de carnalita y silvinita y a los 750 metros ha dado principio la sal vieja. Si examinamos el corte geológico, veremos que la parte media de la zona c (color amarillo), que indica las margas y yesos con manifestaciones de sal, se encuentra a 650 metros y que la sal pura empieza a los 745, cuyas comprobaciones nos satisfacen plenamente.

CAPÍTULO VI

LA INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALLENT

§ 23. **Prólogo.**—El objeto de la investigación en que nos vamos a ocupar es la determinación del límite de la zona salina, ya estudiada en las investigaciones anteriores, y de sus condiciones de explotabilidad, en la región comprendida entre Manresa y Sallent, perteneciente al patrimonio del Estado.

La profundidad del yacimiento buscado no alcanza la cifra de 300 metros en toda la zona que vamos a investigar, por cuya razón la longitud de los perfiles sísmicos no es preciso que exceda de 1.500 a 2.000 metros. En cambio, la distancia entre las estaciones debe disminuirse hasta 100 metros, para aumentar la precisión de los resultados.

Para elegir la dirección de los perfiles, hemos seguido el criterio general expuesto en las investigaciones anteriores; es decir, que coinciden con la de estratificación que en la mayor parte de la zona es de NE. a SO. En las cercanías del pueblo de Sampedor se encuentran dos pequeños pliegues anticlinales de distinta dirección a la mencionada, en cada uno de los cuales hemos observado una línea sísmica; estas dos líneas son las únicas cuya dirección difiere de la adoptada para las demás.

§ 24. Reseña geográfica y geológica.

a) *Reseña geográfica.*—La zona que vamos a investigar, situada en la región NE. de Manresa, está comprendida por una línea poligonal que arranca en la mencionada población y se dirige por la parte occidental de Sampedor hasta las inmediaciones del alto de Costa Villa; dobla al Este, desde este punto, en la dirección de Sallent, desde donde vuelve hacia el Sur, hasta terminar en Artés. Continúa, por último, en la dirección de Puente Cabrianas y San Fructuoso de Bagés, para cerrar el perímetro en el punto de origen citado. Afecta una forma sensiblemente trapecial, de unos 50 kilómetros cuadrados próximamente.

La configuración topográfica del suelo es poco accidentada. Sus altitudes, con relación al nivel del mar, están comprendidas entre 250 y 300 metros, y sólo en algunos casos aislados se elevan dentro de dicha zona pequeños montículos que alcanzan hasta cerca de 400 metros de cota. Como todos ellos se hallan separados entre sí, con faldas bastante abiertas, el conjunto aparece como una zona ligeramente ondulada.

Si consideramos la región en general, no sucede lo mismo. Inmediatamente después de los bordes de esta zona, y especialmente en las partes septentrional y meridional, las altitudes se elevan rápidamente. En la región Norte se encuentran los cerros de Costa Villa y Costa Grand, que tienen 488 y 468 metros de altitud respectivamente; el Cogulló 472 y los de las cercanías de la ermita del Llet, al Este de Sallent, alcanzan 526 y 594 metros. En la parte meridional se encuentra el cordal que se dirige desde las inmediaciones de Manresa hasta los altos de Calders, por el Sur de San Fructuoso de Bagés, Puente Cabrianas y Artés. Las altitudes suben gradualmente des-

de los 320 metros hasta exceder de 560. Es decir, que la región considerada en sentido general es realmente accidentada, aunque dentro de la misma pueda encontrarse una zona de perfil suave en todos sentidos.

Su hidrografía pertenece a las cuencas del Cardoner y Llobregat, principalmente a la del segundo de los ríos citados, ya que sobre la del Cardoner sólo cuenta con una reducidísima faja en la parte occidental, entre Sampedor y Manresa.

Dos son los afluentes más importantes del Llobregat: el denominado riera de la Gabarresa, que corresponde a su margen izquierda y el torrente de Ruidorz a la derecha. A la primera afluye por la izquierda la del Plá, la de Matrabi y el torrente de Mig, y por la derecha el torrente Salado y otros varios de escasa importancia, todos los cuales recogen las aguas que discurren por las vertientes de la región de Artés Calders y las de Cabrianas y el Llet.

El torrente de Ruidorz tiene su origen en las inmediaciones de Castellnou y corre con brusca pendiente y tortuoso perfil, por Can Brugarolas y la Gava para cruzar el ferrocarril de Berga y la carretera de Sampedor en las inmediaciones de la ermita de Santa Ana. Desciende por San Fructuoso de Bagés hasta verter sus aguas en el Llobregat por debajo de dicho pueblo. En su primer tercio, se presenta con saltos naturales de dos y más metros. Recoge las aguas que discurren por las vertientes de Castellnou, las de las lomas de San Cristóbal y El Piñol, y las de la parte meridional de los altos de Sampedor, encauzadas por una serie de barrancos abiertos a ambos lados de sus dos márgenes, uno de los cuales, quizá el más importante, es el que descende por el cementerio de Sampedor y se une al primero en el cruce del ferrocarril de Berga, en las inmediaciones de la carretera de Sampedor.

El canal de conducción de aguas potables que abastece la población de Manresa y fertiliza, además, una gran extensión de terreno, tiene su origen aguas arriba de Sallent y corre en su primera mitad por el borde septentrional de la vega y después la cruza por su parte central, a partir del punto de encuentro con el citado ferrocarril.

Las vías de comunicación son buenas y abundantes. La ciudad de Manresa posee estación del ferrocarril de Barcelona a Irún, y de los económicos, de Barcelona a Suria y de Barcelona a Berga. El último de los ferrocarriles citados se extiende precisamente en la zona de estudio, entre Manresa y Sallent, con estación en el pueblo de Sampedor. La carretera general de Manresa a Gerona recorre todo el extremo Sur de la cuenca, entre Manresa y Artés; la de Sampedor comprende la parte occidental; en el extremo oriental se encuentra la general de Sabadell y, por último, cruza la de Manresa a Berga, la de Sampedor a Puente Cabrianas y la de Cabrianas a Artés, todas ellas en perfecto estado de conservación, a más de una multitud de caminos vecinales y de labor.

Tales circunstancias, unidas a la suavidad del clima, a la abundancia de obreros y a la proximidad de centros comerciales e industriales, dan por resultado que dicha región pueda considerarse como una de las que reúnen mayores ventajas para cualquier intento de explotación, si ello fuera aconsejable.

b) Reseña geológica.—Los cortes geológicos que se intercalan en el texto dan idea clara de la disposición estratigráfica de la zona. Uno de ellos, el correspondiente a la orientación Manresa-Sallent, ha sido elegido siguiendo la dirección aproximada de las líneas sísmicas y la de las capas del terreno, y los restantes según planos transversales o sea en el sentido del buzamiento de las últimas.

Como se observa en dichos cortes y en el plano general, se trata del borde meridional de la cuenca oligocena de la región catalana, entre Manresa y Artés, en una extensión de cinco kilómetros de fondo por 10 de longitud, poco más o menos.

Las rocas que caracterizan la formación geológica local son las areniscas, las calizas y las margas más o menos puras o sabulosas, de tonos rojizo, gris, pardo-amarillento y negruzco, al igual de lo que sucede en el resto de la cuenca. Las areniscas y margas potentes suelen ocupar los niveles geológicos más elevados y las margas y calizas son más comunes en las partes profundas. Ello no obstante, alternan a veces, y no es raro encontrar bancos de areniscas en el horizonte de las margas y recíprocamente. También a veces aparece la potencia de las capas disminuída arriba y aumentada abajo, aunque lo natural sea lo contrario. En términos generales, la estructura y disposición de las rocas que constituyen el tramo, no difiere en nada del resto de la formación de la región catalana y suelen concordar los horizontes de mayor compacidad, con los más altos niveles topográficos, como es natural que ocurra, por ser más duros y resistentes a los efectos erosivos de los agentes exteriores.

El color es otra particularidad que distingue también los niveles de referencia. El rojo suele ser el de las rocas altas y el gris y los colores oscuros se manifiestan en las profundas; aunque, como sucede con la potencia y calidad de las rocas, se ven tramos de color rojizo en el fondo y grises o claros en las partes elevadas, según se comprueba en todos los puntos donde se halla de manifiesto la formación oligocena.

En las cercanías del contacto con el Eoceno, al menos superficialmente, se observan bancos de conglomerados

de espesores variables, alternando con margas sabulosas y alguna caliza. En general son de trozos finos, formando una especie de almendrados, que suelen coincidir con las mayores alturas de la parte llana de la zona.

Estos conglomerados se observan en toda la longitud del borde de la cuenca, presentándose fuertemente cementadas a veces y algo incoherentes otras. Tienen potencias muy variables y corresponden a la misma zona que constituye las estribaciones y picachos del Monserat, donde el espesor se aprecia en toda su plenitud.

Y por último, toda la extensión de la vega está constituida superficialmente por la descomposición del terreno margoso que forma la capa laborable o cultivada. También aparecen algunas extensiones de mantos aluviales, procedentes de la disgregación de los conglomerados antes referidos, como sucede en el trozo situado a la izquierda de la carretera de Manresa a Calders, en los kilómetros 6 y 7 y en otros varios, entre Puente Cabrianas y Artés, donde se encuentran mezclados con el terreno de labor.

La orientación general de la cuenca, en la zona considerada, es de NE. a SO., con ligeras variaciones hacia el Norte y Sur respectivamente, y su buzamiento se manifiesta, salvo en algunos accidentes locales, hacia el centro de la cuenca, es decir, en el sentido NO., constituyendo, por tanto, la rama Sur de un sinclinal abierto, cuyo eje corresponde a las cercanías de Castellnou. Dicha rama está muy denudada a partir de su mitad superior aproximadamente, es decir, en casi la totalidad superficial de la zona de estudio, circunstancia que favorece extraordinariamente la investigación de la probable capa salífera del fondo, por situarla a profundidades que no alcanzan, en la mayor parte de los sitios, a 500 metros bajo el suelo.

La inclinación de las capas varía entre cero y 10 grados; pero en algunos sitios, a causa de accidentes locales, como los pliegues y fallas que se señalan en los planos, llegan a alcanzar hasta 45 y más grados. También se advierten algunas roturas, pero en general, la disposición estratigráfica aparece con gran uniformidad.

Las calizas y margas eocenas constituyen el asiento sobre el que descansa toda la formación oligocena. Su línea de separación en la superficie ofrece alguna duda en determinados lugares; primero, por ser casi nula la discordancia estratigráfica entre las capas de una y otra formación, sobre todo en el borde, y segundo, porque el contacto se oculta por el terreno de labor, que participa a su vez de ambas clases de capas. Sin embargo, hay puntos como los de Manresa, el empalme de la carretera de Puente Cabrianas con la de Manresa a Calders y los alrededores del propio puente de Cabrianas, donde se manifiestan con evidencia las calizas lutecienses por la gran cantidad de *nummulites* que contienen. También se encuentra en la separación de los dos terrenos un horizonte margoso claramente visible al Sur de San Fructuoso de Bagés, en la base del cerro de San March y en Artés, cerca del kilómetro 43 de la carretera de Calders, que permite fijar el paso teórico superficial del borde salífero, que se señala en el plano general.

En cuanto a la tectónica, sólo se observan dos anticlinales sencillos conforme a la ley general manifestada en la cuenca, de que los pliegues son cada vez más suaves y simplificados a medida que se acercan al borde meridional. Uno de ellos, concuerda con la dirección de la línea número VI y el otro con la VIII. El primero presenta mayor relieve en el origen de la mencionada línea, como se aprecia en el hectómetro 5 del kilómetro 10 del ferro-

carril de Manresa a Berga, donde las capas aparecen inclinadas fuertemente en ambas ramas, rotas y desmanteladas en parte, pero ganando todas muy rápidamente la marcha general y uniforme a uno y otro lado de su eje de simetría. En el sentido de la dirección del pliegue, pierde rápidamente importancia hacia poniente, donde casi se desvanece a escasa distancia del torrente de Ruidorz. Hacia levante se abre asimismo en tales términos, que a poco más de 500 metros se presenta en forma de arco muy abierto y suave.

En idéntica forma se manifiesta el segundo, es decir, que también ganan con gran rapidez sus dos ramas la disposición normal y se suavizan en el sentido de su dirección.

La orientación convergente de ambos hacia poniente y la circunstancia de concordar en cierto modo con el anticlinal de Callús hace suponer una cierta relación genética en todos ellos.

En la parte de Sallent puede observarse también un accidente manifestado en las proximidades de la ermita de San Cristóbal, donde aparecen los estratos en posición volcada. Al igual que en los demás accidentes tectónicos enumerados, la estratificación se restablece a muy corta distancia del hundimiento, tanto en un sentido como en el otro.

Por la falta de continuidad en el sentido longitudinal de los pliegues y el carácter local y limitado que acusan, no parecen consecuencia directa del accidente tectónico principal, es decir, del que con el carácter de empuje tangencial o de aproximación de las cordilleras del litoral y pirenaica, dió la configuración general de la cuenca catalana, sino más bien representan el resultado de empujes o movimientos locales, originados por los

característicos de las capas o mantos salinos infrayacentes.

§ 25. **Las mediciones sísmicas.**—La investigación efectuada consta de nueve líneas, que vamos a describir sucesivamente (véase el plano general, lámina 1).

Línea I.—Este perfil parte del sondeo efectuado por la Sociedad Potasas Ibéricas, señalado con el número 3; tiene una longitud de 1.632 metros y consta de 15 estaciones. Su situación puede verse en el plano general adjunto.

Los valores calculados de los tiempos de recorrido de las ondas sísmicas, deducidos de los primeros ímpetus de los sismó-

| Explotación | Sismógrafos Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|-----------------|------------------|----------|----------|
| 1. ^a | 1 | 0,082 | 0,220 |
| | 2 | 0,110 | 0,305 |
| | 3 | 0,129 | 0,405 |
| 2. ^a | 4 | 0,140 | 0,500 |
| | 5 | 0,170 | 0,615 |
| | 6 | 0,197 | 0,715 |
| 3. ^a | 7 | 0,219 | 0,827 |
| | 8 | 0,235 | 0,915 |
| | 9 | 0,263 | 1,015 |
| 4. ^a | 10 | 0,285 | 1,115 |
| | 11 | 0,293 | 1,220 |
| | 12 | 0,300 | 1,330 |
| 5. ^a | 13 | 0,320 | 1,427 |
| | 14 | 0,364 | 1,534 |
| | 15 | 0,371 | 1,632 |

LÍNEA II

| Explotación | Sismógrafos Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|-----------------|------------------|----------|----------|
| 1. ^a | 1 | 0,071 | 0,212 |
| | 2 | 0,082 | 0,312 |
| | 3 | 0,110 | 0,412 |
| 2. ^a | 4 | 0,144 | 0,492 |
| | 5 | 0,168 | 0,602 |
| | 6 | 0,198 | 0,702 |
| 3. ^a | 7 | 0,218 | 0,810 |
| | 8 | 0,242 | 0,920 |
| | 9 | 0,249 | 1,030 |
| 4. ^a | 10 | 0,307 | 1,140 |
| | 11 | 0,321 | 1,250 |

gramas, y las distancias epicentrales correspondientes a cada estación, se encuentran reunidos en el siguiente cuadro.

Con los valores numéricos del cuadro I, se ha dibujado la línea dromocrónica n.º I, que servirá para interpretar geológicamente los resultados obtenidos.

Línea II.—Está situada a poca distancia de la línea de contacto del Oligoceno con el Eoceno. Su longitud es de 1.250

metros, en los que se han observado once estaciones sísmicas. En el adjunto cuadro constan los valores, calculados, de los tiempos de recorrido y las distancias epicentrales de las diversas estaciones sísmicas. Con ellos se ha dibujado la línea dromocrónica n.º II.

Línea III.—Está situada cerca del pueblo de Cabrianas (véase el plano general). En la longitud de 1.510 metros se han repartido 14 estaciones sísmicas, a las que corresponden los valores de tiempos y distancias reunidos en el cuadro número III, que se han utilizado para construir la línea dromocrónica correspondiente.

Línea IV.—Está situada al SO. de Cal Magrans, antes de llegar a la riera de Santa Gabarresa. Tiene una longitud de 1.300 metros y se han observado en ella ocho estaciones sísmicas.

Los valores numéricos de los tiempos de recorrido y de las distancias epicentrales de los lugares de observación, se reunen en el cuadro adjunto y han servido para el trazado de la línea dromocrónica número IV.

| Explosión | Sismógrafos Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|-----------------|------------------|----------|----------|
| 1. ^a | 1 | 0,072 | 0,200 |
| | 2 | 0,126 | 0,400 |
| | 3 | 0,186 | 0,600 |
| 2. ^a | 4 | 0,239 | 0,800 |
| | 5 | 0,248 | 0,912 |
| | 6 | 0,264 | 1,000 |
| 3. ^a | 7 | 0,295 | 1,100 |
| | 8 | 0,339 | 1,300 |

Línea V.—Ya está situada en la vertiente oriental del torrente de Sta. Gabarresa. Su origen está en el afluente del mismo, llamado riera del Mig, muy cerca de la casa Mas Canet. Su dirección es

| Explosión | Sismógrafos Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|-----------------|------------------|----------|----------|
| 1. ^a | 1 | 0,077 | 0,202 |
| | 2 | 0,104 | 0,302 |
| | 3 | 0,127 | 0,402 |
| 2. ^a | 4 | 0,142 | 0,500 |
| | 5 | 0,175 | 0,600 |
| | 6 | 0,186 | 0,700 |
| 3. ^a | 7 | 0,223 | 0,800 |
| | 8 | 0,235 | 0,900 |
| | 9 | 0,264 | 1,000 |
| 4. ^a | 10 | 0,297 | 1,102 |
| | 11 | 0,335 | 1,200 |
| | 12 | 0,334 | 1,308 |
| 5. ^a | 13 | 0,341 | 1,410 |
| | 14 | 0,372 | 1,510 |

opuesta a la de las líneas anteriores, para poder juzgar mejor sobre los valores de las velocidades medias aparentes de los distintos estratos

atravesados por el rayo sísmico. Consta de once estaciones, repartidas en una longitud de 1.195 metros, según se indica en el dibujo de la línea dromocrónica correspondiente, dibujada con los datos que se reúnen en el cuadro adjunto.

Línea VI.—Esta línea y las restantes, corresponden a la zona de Sampedor, en donde

| Explosión | Sismógrafos Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|-----------------|------------------|----------|----------|
| 1. ^a | 1 | 0,091 | 0,195 |
| | 2 | 0,122 | 0,295 |
| | 3 | 0,150 | 0,395 |
| 2. ^a | 4 | 0,183 | 0,495 |
| | 5 | 0,211 | 0,595 |
| | 6 | 0,227 | 0,695 |
| 3. ^a | 7 | 0,237 | 0,795 |
| | 8 | 0,246 | 0,895 |
| | 9 | 0,275 | 0,995 |
| 4. ^a | 10 | 0,299 | 1,095 |
| | 11 | 0,322 | 1,195 |

se aprecian algunos trastornos tectónicos. La línea VI es-

tá situada sobre el eje de un anticlinal, dirigido de Oeste a Este. En los extremos de ella se abre gradualmente, hasta desaparecer por completo. Su origen está cerca del puente de la carretera de Sampedor a la de San Fructuoso, situado a poco más de un kilómetro de Sampedor. Se dirige hacia el Este, con una longitud total de 1.680 metros, en los que se han observado diez y siete estaciones sísmicas.

Los valores correspondientes para el trazado de la línea dromocrónica, constan en el cuadro adjunto.

| Explosión | Sismógrafos Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|-----------------|------------------|----------|----------|
| 1. ^a | 1 | 0,053 | 0,100 |
| | 2 | 0,080 | 0,200 |
| | 3 | 0,098 | 0,292 |
| 2. ^a | 4 | 0,123 | 0,392 |
| | 5 | 0,141 | 0,492 |
| | 6 | 0,159 | 0,582 |
| 3. ^a | 7 | 0,189 | 0,682 |
| | 8 | 0,210 | 0,782 |
| | 9 | 0,231 | 0,882 |
| 4. ^a | 10 | 0,254 | 0,980 |
| | 11 | 0,274 | 1,080 |
| | 12 | 0,307 | 1,180 |
| 5. ^a | 13 | 0,317 | 1,280 |
| | 14 | 0,337 | 1,378 |
| | 15 | 0,373 | 1,480 |
| 6. ^a | 16 | 0,375 | 1,580 |
| | 17 | 0,390 | 1,680 |

Línea VII.—Está situada en las cercanías de Sampedor, al SE. del casco de la población. Su longitud es de 1.970 metros, contados desde el Noreste al Suroeste y el número de estaciones de que consta es de 15. Coincide con la dirección de estratificación, que se separa poco de la normal de la zona.

El cálculo de los sismógramas ha dado los resultados que constan en el cuadro, al lado de las distancias epicentrales correspondientes. Su representación gráfica consta en la línea dromocrónica n.º VII.

LINEA VII

| Explosión | Sismógrafos Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|-----------------|------------------|----------|----------|
| 1. ^a | 1 | 0,069 | 0,200 |
| | 2 | 0,106 | 0,400 |
| | 3 | 0,166 | 0,606 |
| 2. ^a | 4 | 0,212 | 0,800 |
| | 5 | 0,245 | 0,980 |
| | 6 | 0,267 | 1,100 |
| 3. ^a | 7 | 0,284 | 1,200 |
| | 8 | 0,297 | 1,280 |
| | 9 | 0,335 | 1,380 |
| 4. ^a | 10 | 0,346 | 1,480 |
| | 11 | 0,361 | 1,580 |
| | 12 | 0,375 | 1,690 |
| 5. ^a | 13 | 0,404 | 1,790 |
| | 14 | 0,417 | 1,876 |
| | 15 | 0,449 | 1,970 |

Línea VIII.—Coincide con otro pequeño pliegue anticlinal cuyo eje tiene la dirección

normal de la estratificación y que, como el de la línea VI, también se desvanece en sus extremos. Está situado al Norte de Sampedor, cerca del cementerio nuevo; tiene una longitud de 2.110 metros. Su dirección es del NE. al SO. Consta de 16 estaciones, a las que corresponden los valores de tiempos y distancias reunidos en el cuadro, con los que se ha dibujado la línea dromocrónica n.º VIII.

LINEA VIII

| Explosión | Sismógrafos Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|-----------------|------------------|----------|----------|
| 1. ^a | 1 | 0,101 | 0,334 |
| | 2 | 0,138 | 0,504 |
| | 3 | 0,174 | 0,642 |
| 2. ^a | 4 | 0,222 | 0,850 |
| | 5 | 0,237 | 0,940 |
| | 6 | 0,260 | 1,040 |
| 3. ^a | 7 | 0,286 | 1,140 |
| | 8 | 0,297 | 1,250 |
| | 9 | 0,320 | 1,360 |
| 4. ^a | 10 | 0,340 | 1,485 |
| | 11 | 0,377 | 1,590 |
| | 12 | 0,378 | 1,700 |
| 5. ^a | 13 | 0,410 | 1,793 |
| | 14 | 0,437 | 1,900 |
| | 15 | 0,442 | 2,010 |
| 6. ^a | 16 | 0,470 | 2,110 |

Línea IX.—El lugar de las explosiones de esta línea está

situado a un kilómetro al Norte del cementerio de San Fructuoso de Bagés y su dirección es la corriente de los demás perfiles. Se han observado doce estaciones sísmicas, en una longitud de 1.320 metros. La línea dromocrónica n.º IX reúne los valores numéricos que se detallan en el cuadro.

LINEA IX

| Explosión | Sismógrafos Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|-----------------|------------------|----------|----------|
| 1. ^a | 1 | 0,093 | 0,200 |
| | 2 | 0,112 | 0,300 |
| | 3 | 0,142 | 0,400 |
| 2. ^a | 4 | 0,152 | 0,500 |
| | 5 | 0,174 | 0,600 |
| | 6 | 0,206 | 0,715 |
| 3. ^a | 7 | 0,220 | 0,815 |
| | 8 | 0,230 | 0,915 |
| | 9 | 0,257 | 1,015 |
| 4. ^a | 10 | 0,273 | 1,100 |
| | 11 | — | — |
| | 12 | 0,340 | 1,320 |

§ 26. **La interpretación geológica de los resultados.**—Siguiendo el criterio establecido en los trabajos anteriores, analizaremos sucesivamente, cada una de las líneas sísmicas efectuadas.

Línea I.—Las velocidades medias del rayo sísmico al llegar a cada estación tienen los valores siguientes:

$$\begin{aligned}
 V_{0-1} &= \frac{0,220}{0,082} = 2.700 \text{ m/s.} & V_{0-9} &= \frac{1,015}{0,273} = 3.700 \text{ m/s.} \\
 V_{0-2} &= \frac{0,305}{0,110} = 2.800 \text{ } & V_{0-10} &= \frac{1,115}{0,285} = 3.900 \text{ } \\
 V_{0-3} &= \frac{0,405}{0,129} = 3.150 \text{ } & V_{0-11} &= \frac{1,220}{0,293} = 4.150 \text{ } \\
 V_{0-4} &= \frac{0,505}{0,140} = 3.600 \text{ } & V_{0-12} &= \frac{1,330}{0,300} = 4.450 \text{ } \\
 V_{0-5} &= \frac{0,615}{0,170} = 3.600 \text{ } & V_{0-13} &= \frac{1,427}{0,320} = 4.450 \text{ } \\
 V_{0-6} &= \frac{0,715}{0,197} = 3.600 \text{ } & V_{0-14} &= \frac{1,534}{0,364} = 4.200 \text{ } \\
 V_{0-7} &= \frac{0,827}{0,215} = 3.850 \text{ } & V_{0-15} &= \frac{1,632}{0,371} = 4.400 \text{ } \\
 V_{0-8} &= \frac{0,915}{0,235} = 3.900 \text{ } & & &
 \end{aligned}$$

Las dos primeras velocidades medias corresponden evidentemente al mismo horizonte geológico, según muestra la línea dromocrónica número 1, figura 78. Es natural que la parte superficial tenga una velocidad algo inferior

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALIENT
Línea dromocrónica número 1

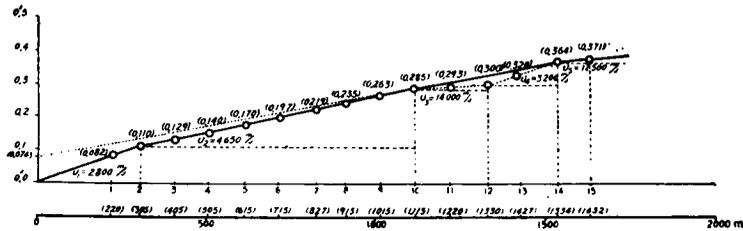


Fig. 78.

a la subyacente, por estar sometida a la acción de los agentes exteriores. Por consiguiente, el primer horizonte geológico del perfil considerado se caracteriza por la velocidad,

$$V_1 = 2.800 \text{ m/s.}$$

que corresponde a las margas rojas visibles, en todos los cortes naturales del terreno, mezcladas con diversos bancos de yeso.

En la estación 3, la velocidad media ha experimentado un aumento brusco de 350 m/s., que nos hace ver que el rayo sísmico se propaga ya por otra clase de rocas. Este incremento continúa en la estación 4, donde vuelve a aumentar 450 m/s. En las siguientes hasta la 6, permanece constante, o sea que entre las estaciones 2 y 6 el rayo sísmico atraviesa la misma serie de capas, distintas a las del

primer horizonte. Para conocer cuál es su naturaleza, calculamos la velocidad del rayo sísmico en ellas,

$$V_{2-6} = \frac{0,715 - 0,305}{0,197 - 0,110} = 4.700 \text{ m/s.}$$

El valor hallado corresponde a calizas, con intercalación de algún banco margoso o de yeso.

Entre las estaciones 6 y 7, hay otro aumento de velocidad media, que se conserva hasta la 10.

El horizonte correspondiente se caracteriza por el valor

$$V_{6-10} = \frac{1,115 - 0,715}{0,273 - 0,197} = 5.250 \text{ m/s.}$$

Este valor debe ser algo grande, porque si sólo se considera hasta la estación 9, se obtiene,

$$V_{6-9} = \frac{1,015 - 0,715}{0,263 - 0,197} = 4.550 \text{ m/s.}$$

que es casi igual al obtenido anteriormente.

Como entre las estaciones 10 y 11 hay otro incremento importante de velocidad, creemos que el cambio de horizonte que se revela entre estas estaciones, se ha efectuado ya un poco antes de la estación 10, y por esa razón se nota su influjo en la velocidad V_{6-10} .

Creemos fuera de duda, por lo tanto, que el horizonte correspondiente a la velocidad V_{6-10} es el mismo de la V_{2-6} , como además se comprueba en la línea dromocrónica y que los aumentos parciales de velocidad se deben a las alternancias calizas, entre las margas rojas y los yesos.

La velocidad correspondiente a todo el tramo es,

$$V_{2-10} = \frac{1,115 - 0,305}{0,285 - 0,110} = 4.650 \text{ m/s.}$$

Desde la estación 10 a la 11 y de ésta a la 12, la velocidad media aumenta 350 m/s. Este aumento es de mayor importancia relativa que los anteriores, por alcanzar ya el valor absoluto de 3.900 m/s. en la estación 10. El tramo atravesado nos manifiesta una velocidad aparente,

$$V_{10-12} = \frac{1,330 - 1,115}{0,300 - 0,285} = 14.100 \text{ m/s.}$$

que no corresponde a ninguna roca determinada. Sólo nos indica que el recorrido del rayo sísmico se efectúa ahora por un horizonte, al que corresponde una velocidad mucho mayor que la que tenía en el anterior. Este horizonte puede ser la sal, y para comprobarlo, analizaremos los valores de las constantes de velocidad correspondientes a las estaciones siguientes.

De la 12 a la 14 hay una disminución brusca de velocidad media. La aparente que corresponde es,

$$V_{12-14} = \frac{1,534 - 1,330}{0,364 - 0,300} = 3.200 \text{ m/s.}$$

Esta velocidad tampoco corresponde a ningún horizonte geológico existente en el terreno, aunque pueda indicar algún horizonte de margas. Está producida por el reflejo aparente del brusco aumento anterior. Entre este horizonte y el anterior, podemos formarnos una idea de la velocidad real del rayo sísmico al atravesar el conjunto formado por ambos.

Si calculamos la velocidad V_{10-13} , resulta de 9.000 m/s., mayor que la de la sal; y si consideramos la V_{10-14} obtenemos el valor de 5.300. Como a la sal le corresponde el de 6.500 m/s., creemos que el primer horizonte salino corresponde desde un poco antes de la estación 10 hasta

después de la 13 y que no se trata de un banco cristalizado único, sino de una serie de lechos salinos, de espesor variable, entre los que se intercalan pequeños lechos de margas.

En la estación 15 se vuelve a ganar la velocidad perdida en la última parte del horizonte anterior, lo que parece indicarnos un nuevo lecho de sal, que quizás sea la sal gris, aunque también pudiera ser el efecto aparente producido por haber cortado las calizas eocenas en el recorrido del rayo sísmico.

En resumen, creemos poder afirmar que en el subsuelo de la línea sísmica considerada se encuentra una potente formación salina, sin que nosotros podamos discernir si se trata de sales potásicas o de sal común, puesto que son iguales las constantes sísmicas correspondientes a ambas.

Para calcular la profundidad del techo de la sal, aplicaremos la fórmula expuesta en mi obra «Los métodos geofísicos de prospección»:

$$h = \frac{t}{2} \frac{V_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}}$$

en que V_1 y V_2 son las velocidades medias y t el tiempo interceptado sobre el eje de las Y de la línea dromocrónica, por la prolongación de su alineación correspondiente a la sal.

Así resulta:

$$h = \frac{0,074}{2} \cdot \frac{3.900}{\sqrt{1 - \left(\frac{39}{53}\right)^2}} = 0,037 \cdot \frac{3.900}{\sqrt{0,45}} = 215 \text{ metros.}$$

Con este resultado, podemos ya calcular la constante de profundización del rayo sísmico.

Ya hemos advertido que el banco de sal tiene que empezar antes de la estación 10. A falta de estaciones intermedias, adoptaremos el promedio de las distancias epicentrales 10 y 11 como valor más exacto, o sean 1.057 metros. Admitido este valor resulta,

$$K = \frac{0,215}{1,057} = 0,20.$$

De aquí podemos deducir el espesor de cada grupo de capas de velocidades distintas.

Primer horizonte: $\Delta = 0,305$; $V_{0-2} = 2.800$ m/s. Potencia 61 metros. (Margas y yesos).

Segundo horizonte: $\Delta = 1.057$; $V_{2-10} = 4.650$ m/s. Potencia 150 metros. (Margas con calizas y yesos).

Tercer horizonte: $\Delta = 1.534$; $V_{10-14} = 5.300$ m/s. Potencia superior a 95 metros. (Sal).

En el corte geológico de Manresa a Sallent, lámina XI, se ha indicado el correspondiente a la línea I, que según puede verse en él, empieza al NE. del río Llobregat y termina cerca del canal de Manresa.

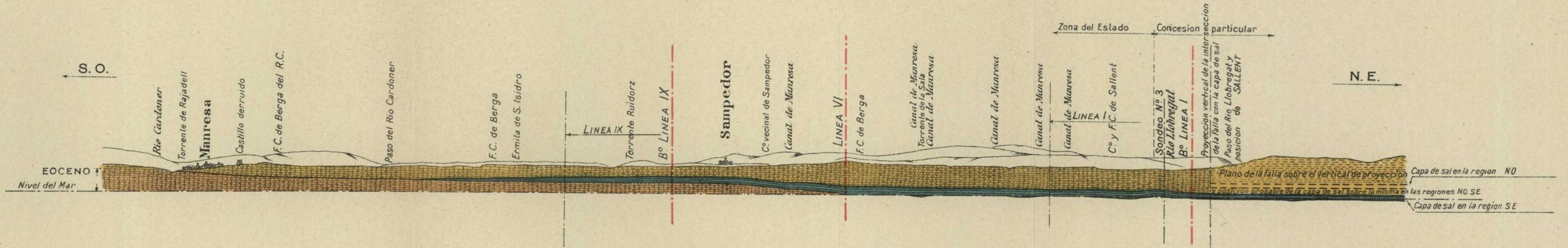
El sondeo practicado por la Compañía de Potasas Ibéricas, de Sallent, señalado en el corte con el número 3, coincide casi exactamente con los resultados obtenidos. En él se cortó la sal a los 210 metros, y según el trabajo sísmico ha resultado a los 211.

El sondeo sólo ha perforado 51 metros de sal hasta el momento de quedar suspendido. Nosotros creemos poder afirmar que aun quedan debajo unos 40 metros más de capas de sal, no alcanzadas por la sonda.

Línea II.—Los valores obtenidos para las velocidades medias del rayo sísmico, al llegar a cada estación, dedu-

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALLENT

CORTE GEOLÓGICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL DESDE MANRESA A SALLENT
PASANDO POR LAS LÍNEAS SÍSMICAS NÚMEROS I Y IX



Escala de 1:50.000

do no han sufrido la metamorfización debida a los agentes externos.

Al pasar de la estación 1 a la 2, se nos presenta un aumento brusco, en la velocidad aparente del rayo sísmico,

$$V_{1-2} = \frac{0,312 - 0,212}{0,082 - 0,071} = \frac{0,100}{0,011} = 9.100 \text{ m/s.}$$

A continuación, experimenta una disminución igualmente brusca,

$$V_{2-3} = \frac{0,412 - 0,312}{0,110 - 0,082} = \frac{0,100}{0,028} = 3.600 \text{ m/s.}$$

Si consideramos el trayecto comprendido entre las estaciones 1 y 3 se obtiene un valor

$$V_{1-3} = \frac{0,412 - 0,212}{0,110 - 0,071} = \frac{0,200}{0,039} = 5.100 \text{ m/s.}$$

Estas indicaciones relativas son, precisamente, las que nos encontramos en los bancos salinos. La velocidad de 5.100 m/s. es pequeña para corresponder a un lecho de sal puro; pero si tenemos en cuenta que nos encontramos en el mismo borde de la cuenca, ya sea por el pequeño espesor del yacimiento o por su descomposición y mezcla con otros elementos, es posible y hasta muy probable que la constante sísmica de la sal esté muy disminuída.

En la estación 4 aun disminuye más la velocidad media, que adquiere el valor,

$$V_{3-4} = \frac{0,492 - 0,412}{0,144 - 0,110} = \frac{0,080}{0,034} = 2.350 \text{ m/s.}$$

Como sucede también en el horizonte inferior a la sal, de la línea anterior.

Las estaciones comprendidas entre la 4 y la 8, determinan un nuevo horizonte, caracterizado por la velocidad,

$$V_{4-8} = \frac{0,920 - 0,492}{0,242 - 0,144} = \frac{0,428}{0,098} = 4.350 \text{ m/s.}$$

Este horizonte puede estar constituido por unas calizas margosas, pertenecientes al Eoceno, visibles en las cercanías de Puente Cabrianas, no lejos de la línea sísmica que estudiamos.

A partir de la estación 8 se hace más difícil la interpretación del resto de la línea. Entre las estaciones 8 y 9 y entre las 10 y 11, se presentan aumentos bruscos de velocidad, según puede observarse en la línea dromocrónica.

Como nuestro problema se reduce al estudio del yacimiento salino, no hemos creído necesario aumentar el trabajo sísmico para tratar de interpretar las causas que producen los aumentos mencionados en el párrafo anterior.

Si aplicamos el coeficiente de profundización $K = 0,20$, deducido de la línea I, podemos deducir para la profundidad del techo del horizonte salino la cifra de $0,20 \times 0,212 \text{ Km} = 42$ metros, y para su espesor total un número menor de $(0,412 - 0,212) \times 0,20 = 40$ metros. Ya hemos dicho que el yacimiento salino se encuentra en el borde de la cuenca y que está mezclado con otros elementos.

Línea III.—Los valores de las velocidades medias, que el rayo sísmico ha adquirido al emerger en cada estación, son las siguientes:

$$V_{0-1} = \frac{0,202}{0,071} = 2.650 \text{ m/s.} \quad V_{0-3} = \frac{0,402}{0,127} = 3.200 \text{ m/s.}$$

$$V_{0-2} = \frac{0,302}{0,104} = 2.900 \text{ } \quad V_{0-4} = \frac{0,500}{0,142} = 3.500 \text{ } \quad \text{,}$$

$$\begin{aligned}
 V_{0-5} &= \frac{0,600}{0,175} = 3.400 \text{ m/s.} & V_{0-10} &= \frac{1,102}{0,297} = 3.800 \text{ m/s.} \\
 V_{0-6} &= \frac{0,700}{0,186} = 3.800 \text{ } & V_{0-11} &= \frac{1,200}{0,335} = 3.600 \text{ } \\
 V_{0-7} &= \frac{0,800}{0,223} = 3.600 \text{ } & V_{0-12} &= \frac{1,308}{0,334} = 3.900 \text{ } \\
 V_{0-8} &= \frac{0,900}{0,235} = 3.800 \text{ } & V_{0-13} &= \frac{1,410}{0,341} = 4.100 \text{ } \\
 V_{0-9} &= \frac{1,000}{0,264} = 3.800 \text{ } & V_{0-14} &= \frac{1,510}{0,372} = 4.100 \text{ }
 \end{aligned}$$

El primer valor medido, figura 80, $V_{0-1} = 2.600$ m/s., co-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALIENT
 Línea dromocrónica número 3

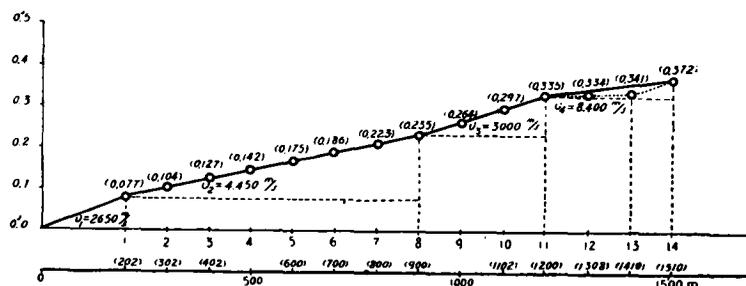


Fig. 80.

responde a las margas rojas superficiales, como en las líneas anteriores.

Después, entre las estaciones 1 y 8, encontramos un horizonte caracterizado por el valor,

$$V_{1-8} = \frac{0,900 - 0,202}{0,235 - 0,077} = 4.450 \text{ m/s.}$$

que ya sabemos está constituido por las margas con inter-

calaciones de bancos de yeso y de caliza. Si se analizan los valores de las velocidades de los tramos intermedios, se aprecian perfectamente los aumentos y disminuciones que corresponden a cada uno de ellos. Nosotros le consideramos como uno solo, por no tener importancia esa subdivisión.

Entre las estaciones 8 y 11, la línea dromocrónica nos manifiesta otra alineación bien caracterizada. La cotangente del ángulo que determina con el eje de las distancias, o sea la velocidad sísmica correspondiente, es

$$V_{8-11} = \frac{1,200 - 0,900}{0,335 - 0,235} = 3.000 \text{ m/s.}$$

correspondiente a un horizonte de margas, pobre en las calizas, que abundaban en el tramo anterior.

Desde la estación 11 a la 12, la velocidad media experimenta un aumento extraordinariamente brusco, que casi alcanza el valor infinito. Entre las dos siguientes aun continúa el incremento, que se manifiesta con el valor aparente,

$$V_{12-13} = \frac{1,410 - 1,308}{0,341 - 0,334} = 14.500 \text{ m/s.}$$

Estos valores aparentes nos indican que el rayo sísmico ha cortado el horizonte salino, que se presenta tan potente como en los anteriores perfiles.

Al pasar de la posición sísmica número 13 a la 14, encontramos la disminución de velocidad brusca, consecuencia de los aumentos aparentes anteriores. El valor encontrado es,

$$V_{13-14} = \frac{1,510 - 1,410}{0,372 - 0,341} = 3.200 \text{ m/s.}$$

que, según ya hemos dicho repetidas veces, tampoco corresponde a ningún horizonte geológico determinado.

El valor real, aproximado, será el determinado por la línea que une los puntos de la dromocrónica, correspondientes a las estaciones 11 y 14, o sea,

$$V_{11-14} = \frac{1,510 - 1,200}{0,372 - 0,335} = 8.400 \text{ m/s.}$$

El valor encontrado es aún grande para representar la constante de la sal, lo que quiere decir que el banco salino continúa aún, en profundidad, más abajo de lo que corresponde a la estación 14.

La profundidad de su techo se puede calcular por la fórmula correspondiente, que nos da el valor que también se obtiene por el coeficiente de profundización $K = 0,20$.

Así resulta, que el mencionado techo se encuentra a 240 metros debajo de la superficie.

Las profundidades correspondientes a cada uno de los horizontes caracterizados, en la línea dromocrónica, son:

Primer horizonte: $\Delta = 0,202$; $V_{0-1} = 2.650 \text{ m/s}$. Potencia 40 metros. (Margas rojas).

Segundo horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,698$; $V_{1-8} = 4.450 \text{ m/s}$. Potencia 140 metros. (Margas con yesos y calizas).

Tercer horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,300$, $V_{8-11} = 3.000 \text{ m/s}$. Potencia 60 metros. (Margas).

Cuarto horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) > 0,300$; $V_{14-11} = 8.400 \text{ m/s}$. Potencia superior a 60 metros. (Sal).

Línea IV.—A continuación escribimos los valores de las velocidades medias, correspondientes a esta línea.

$$V_{0-1} = \frac{0,200}{0,072} = 2.800 \text{ m/s.} \quad V_{0-2} = \frac{0,400}{0,126} = 3.200 \text{ m/s.}$$

$$\begin{aligned} V_{0-3} &= \frac{0,600}{0,186} = 3.200 \text{ m/s.} & V_{0-6} &= \frac{1,000}{0,264} = 3.800 \text{ m/s.} \\ V_{0-4} &= \frac{0,800}{0,239} = 3.300 \text{ } & V_{0-7} &= \frac{1,100}{0,295} = 3.700 \text{ } \\ V_{0-5} &= \frac{0,912}{0,248} = 3.700 \text{ } & V_{0-8} &= \frac{1,300}{0,399} = 3.800 \text{ } \end{aligned}$$

Las margas superficiales se manifiestan, como siempre, por la velocidad sísmica $V_{0-1} = 2.800 \text{ m/s.}$, figura 81, que

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALIENT
Línea dromocrónica número 4

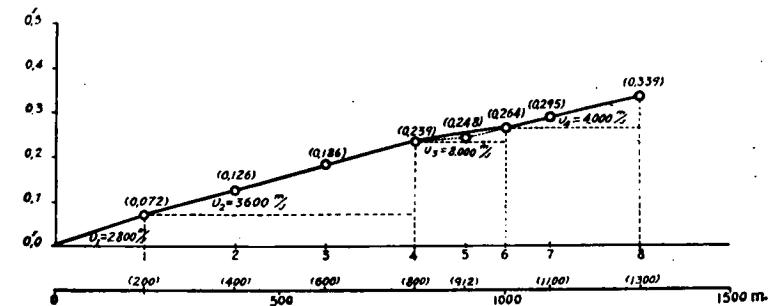


Fig. 81.

determina el primer lado de la dromocrónica núm. 4. Al pasar el rayo sísmico de la estación 1 a la 2, su velocidad se incrementa en la cantidad de 600 metros por segundo y nos indica que aquél ha entrado ya en el segundo horizonte geológico.

Desde la estación 2 a la 4, se mantiene constante el valor incrementado de la velocidad, o sea que llega hasta la última el nuevo horizonte, cuya característica de velocidad es,

$$V_{1-4} = \frac{0,800 - 0,200}{0,239 - 0,072} = 3.600 \text{ m/s.}$$

El valor encontrado es pequeño para indicarnos una intercalación importante de lechos de caliza entre los bancos de margas y yesos; pero no lo es tanto que pueda negarse la existencia de algunos. Estos pueden producir el aumento de velocidad con relación a la que corresponde a las margas.

La dromocrónica nos manifiesta que este tramo tiene un espesor considerablemente menor que el que tenía en el perfil III. Es natural que las capas que faltan, a causa de la erosión, sean las superiores y que lo conservado sea la base del tramo. En el mencionado perfil número III, esta base estaba constituida por las margas caracterizadas por la velocidad de 3.000 m/s., sobre la que yacían otras con calizas de mucha mayor velocidad. Basta un pequeño espesor de este horizonte, unido al inferior, para que obtengamos el valor de 3.600 m/s., que estamos analizando.

En la estación 5, se aprecia el incremento brusco de velocidad que corresponde al encuentro de la sal, en la trayectoria del rayo sísmico.

$$V_{4-5} = \frac{0,912 - 0,800}{0,248 - 0,239} = 12.400 \text{ m/s.}$$

Este incremento sólo se manifiesta entre las dos estaciones mencionadas, por cuya razón creemos que el horizonte salino ha perdido una gran parte de su potencia.

Desde la estación 4 a la 6, la velocidad correspondiente es,

$$V_{4-6} = \frac{1,000 - 0,800}{0,264 - 0,239} = 8.000 \text{ m/s.}$$

Al resultar mayor que la característica de la sal, nos prueba que el yacimiento no ha terminado aún en la profun-

dididad correspondiente a la estación 6. En la 7, tiene la velocidad,

$$V_{4-7} = \frac{1,100 - 0,800}{0,295 - 0,239} = 5.350 \text{ m/s.}$$

ya menor que el valor verdadero, por lo que podemos afirmar que el muro del yacimiento corresponde a un punto intermedio, entre las dos estaciones mencionadas.

Entre las estaciones 6 y 7 obtenemos:

$$V_{6-7} = \frac{1,100 - 1,000}{0,295 - 0,264} = 3.200 \text{ m/s.}$$

y entre las 7 y 8,

$$V_{7-8} = \frac{1,300 - 1,100}{0,339 - 0,295} = 4.550 \text{ m/s.}$$

El primer valor, algo aumentado por corresponder aún a los últimos lechos del yacimiento de sal, indica las margas encontradas en las líneas anteriores, y el segundo corresponde, sin duda alguna, a las calizas eocenas subyacentes.

Como para nosotros no tiene importancia esta subdivisión, representamos el horizonte total, en la línea dromocrónica, por su velocidad,

$$V_{6-8} = \frac{1,300 - 1,000}{0,339 - 0,264} = 4.000 \text{ m/s.}$$

Por el procedimiento explicado, calcularemos la profundidad de cada uno de los horizontes encontrados.

Primer horizonte: $\Delta = 0,200$; $V_{0-1} = 2.800 \text{ m/s.}$ Potencia 40 metros. (Margas).

Segundo horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,600$; $V_{1-4} = 3.600 \text{ m/s.}$ Potencia 120 metros. (Margas, yesos y alguna caliza).

Tercer horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,250$; $V_{4-6} = 8.000$ m/s. Potencia 50 metros. (Sal).

Cuarto horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,050$; $V_{6-7} = 3.200$ m/s. Potencia 10 metros. (Margas).

Los valores anteriores nos comprueban que estamos en las cercanías del límite del yacimiento salino.

Con las profundidades obtenidas para los distintos horizontes geológicos, en las líneas I, II, III y IV se ha dibujado el corte geológico según un plano vertical NO.-SE., que pasa por Cabrianas, representado en la lámina XII.

La falla que se indica en el mismo, se observa fácilmente en la margen izquierda del río Llobregat.

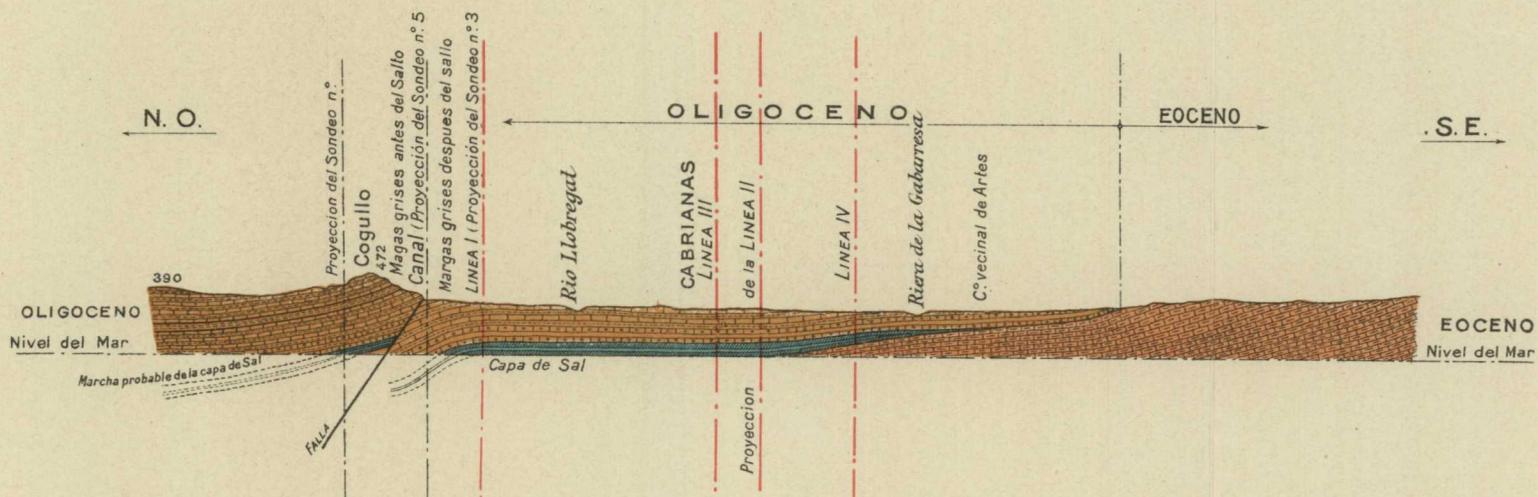
Línea V.—Los valores numéricos de las velocidades correspondientes a esta línea, son las siguientes:

$$\begin{array}{ll}
 V_{0-1} = \frac{0,195}{0,094} = 2.100 \text{ m/s.} & V_{0-7} = \frac{0,795}{0,237} = 3.350 \text{ m/s.} \\
 V_{0-2} = \frac{0,295}{0,122} = 2.400 \text{ } \gg & V_{0-8} = \frac{0,895}{0,246} = 3.650 \text{ } \gg \\
 V_{0-3} = \frac{0,395}{0,150} = 2.650 \text{ } \gg & V_{0-9} = \frac{0,995}{0,275} = 3.600 \text{ } \gg \\
 V_{0-4} = \frac{0,495}{0,183} = 2.700 \text{ } \gg & V_{0-10} = \frac{1,095}{0,299} = 3.400 \text{ } \gg \\
 V_{0-5} = \frac{0,595}{0,211} = 2.800 \text{ } \gg & V_{0-11} = \frac{1,195}{0,322} = 3.450 \text{ } \gg \\
 V_{0-6} = \frac{0,695}{0,227} = 3.050 \text{ } \gg &
 \end{array}$$

La línea dromocrónica número 5, figura 82, nos manifiesta que el horizonte geológico superficial tiene una constante sísmica de 2.100 m/s. El subyacente, está en ella muy bien caracterizado por la alineación formada por las

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALIENT

CORTE GEOLOGICO SEGUN UN PLANO VERTICAL NO.-SE. QUE PASA POR CABRIANAS



Escala de 1:25.000



cinco estaciones siguientes. La velocidad que determinan, es:

$$V_{1-5} = \frac{0,595 - 0,195}{0,211 - 0,094} = 3.400 \text{ m/s.}$$

correspondiente, según sabemos, a las margas con pequeñas intercalaciones de yeso y caliza.

Desde la estación 5 a la 6, la velocidad media del rayo

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALLENT
 Línea dromocrónica número 5

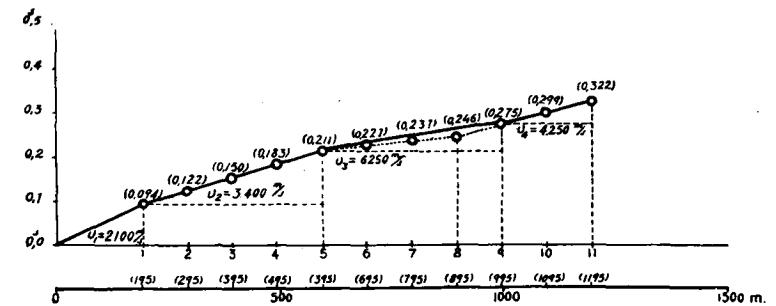


Fig. 82.

sísmico, sufre un aumento brusco de cerca de 200 metros por segundo. Entre las 6 y 7 este aumento es de 300 y de otros tantos entre las 7 y 8. Al pasar de la 8 a la 9, el valor alcanzado de 3.650 metros por segundo permanece estacionario.

Parece indudable que hemos alcanzado un horizonte de gran velocidad sísmica. Para analizar la constitución geológica de este horizonte, examinemos las velocidades parciales.

Desde la estación 5 a la 6, tiene el valor,

$$V_{5-6} = \frac{0,695 - 0,595}{0,227 - 0,211} = 6.200 \text{ m/s.}$$

que corresponde a la sal. Sin embargo, entre ellas deberíamos haber encontrado un valor muy grande para indicar el cambio.

Entre las 6 y 7, la velocidad relativa aparente es,

$$V_{6-7} = \frac{0,795 - 0,695}{0,237 - 0,227} = 10.000 \text{ m/s.}$$

y entre las 7 y 8,

$$V_{7-8} = \frac{0,895 - 0,795}{0,246 - 0,237} = 11.000 \text{ m/s.}$$

Estos valores nos demuestran que se ha producido el cambio esperado, pero que éste se ha iniciado después de la estación 5, entre ésta y la 6.

Al pasar el rayo sísmico desde la estación 8 a la 9, se aprecia la disminución de velocidad aparente, consecuencia del aumento sufrido,

$$V_{8-9} = \frac{0,995 - 0,895}{0,275 - 0,246} = 3.450 \text{ m/s.}$$

La velocidad del horizonte determinado en la dromocrónica es:

$$V_{5-9} = \frac{0,995 - 0,595}{0,275 - 0,211} = 6.250 \text{ m/s.}$$

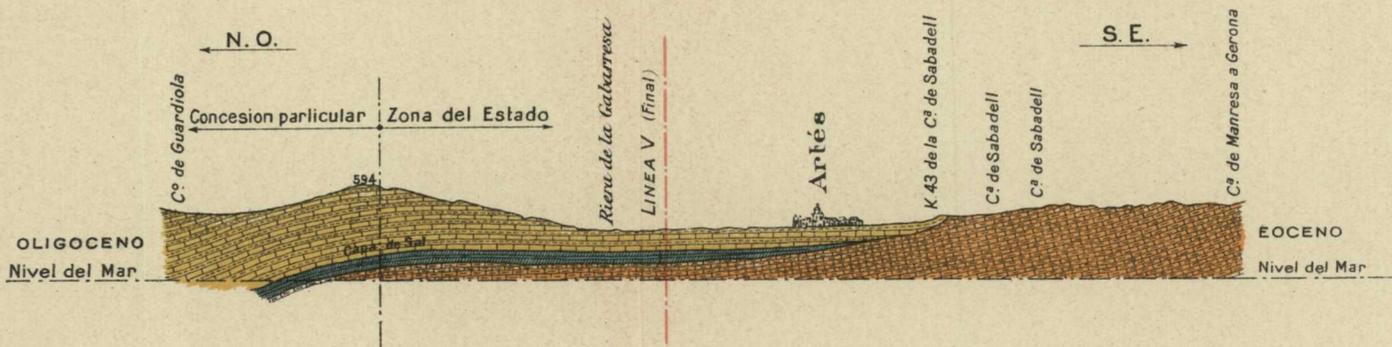
correspondiente al yacimiento de sal, que aun se conserva, no obstante la proximidad del borde de la cuenca.

Debajo del horizonte salino encontramos las calizas eocenas, determinadas por la velocidad

$$V_{9-11} = \frac{1,195 - 0,995}{0,322 - 0,275} = 4.250 \text{ m/s.}$$

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALLENT

CORTE GEOLÓGICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL QUE PASA POR EL FINAL
DE LA LÍNEA NÚMERO V Y EL PUEBLO DE ARTÉS



Escala de 1:50.000

Por el procedimiento explicado calculamos la potencia de cada uno de los horizontes del perfil 5.

Primer horizonte: $\Delta = 0,195$; $V_{0-1} = 2.100$ m/s. Potencia = 39 metros (margas).

Segundo horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,400$; $V_{1-5} = 3.400$ m/s. Potencia = 80 metros (margas con yeso y alguna caliza).

Tercer horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,400$; $V_{5-9} = 6.250$ m/s. Potencia = 75 metros (sal).

Para calcular la potencia de la sal, se ha tenido en cuenta la distancia epicentral de 620 metros, en lugar de la de 595, que corresponde al punto 5.

Se la ha determinado por la intersección de las prolongaciones de los dos lados de la dromocrónica, determinados por las alineaciones 6, 7 y 8, por una parte, y 1-5 por otra.

En el corte geológico que pasa por el final de la línea 5 y el pueblo de Artés, lám. XIII, se indica la posición del yacimiento, respecto al borde de la cuenca, cerca del kilómetro 43 de la carretera de Sabadell.

Línea VI.—A continuación escribimos las velocidades medias del rayo sísmico.

$$\begin{array}{l} V_{0-1} = \frac{0,100}{0,053} = 1.900 \text{ m/s.} \\ V_{0-2} = \frac{0,200}{0,080} = 2.500 \text{ } \gg \\ V_{0-3} = \frac{0,292}{0,098} = 3.000 \text{ } \gg \\ V_{0-4} = \frac{0,392}{0,123} = 3.200 \text{ } \gg \\ V_{0-5} = \frac{0,492}{0,141} = 3.400 \text{ } \gg \end{array} \quad \begin{array}{l} V_{0-6} = \frac{0,582}{0,159} = 3.650 \text{ m/s.} \\ V_{0-7} = \frac{0,682}{0,189} = 3.650 \text{ } \gg \\ V_{0-8} = \frac{0,782}{0,210} = 3.700 \text{ } \gg \\ V_{0-9} = \frac{0,882}{0,231} = 3.800 \text{ } \gg \\ V_{0-10} = \frac{0,980}{0,254} = 3.900 \text{ } \gg \end{array}$$

$$V_{0-11} = \frac{1,080}{0,274} = 3.950 \text{ m/s.} \quad V_{0-15} = \frac{1,480}{0,373} = 3.950 \text{ m/s.}$$

$$V_{0-12} = \frac{1,180}{0,307} = 3.850 \text{ } \quad V_{0-16} = \frac{1,580}{0,375} = 4.200 \text{ } >$$

$$V_{0-13} = \frac{1,280}{0,317} = 4.000 \text{ } > \quad V_{0-17} = \frac{1,680}{0,390} = 4.300 \text{ } >$$

$$V_{0-14} = \frac{1,378}{0,337} = 4.100 \text{ } >$$

La primera velocidad $V_{0-1} = 1.900$ m/s., figura 83, es menor que las obtenidas anteriormente, por haber colocado la estación sísmica a muy pequeña distancia epicen-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALLENT
Línea dromocrónica número 6

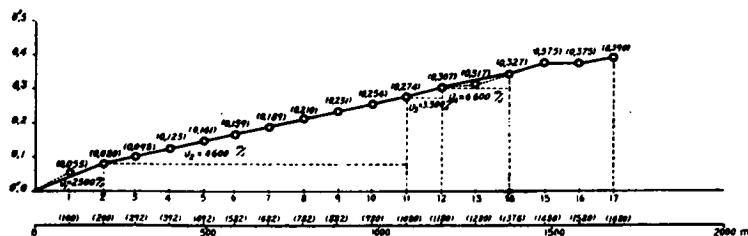


Fig. 83.

tral. En la segunda, la constante sísmica ha alcanzado ya el valor correspondiente a las margas superficiales $V_{0-2} = 2.500$ metros por segundo.

A partir de la estación 3 la velocidad media permanece, casi constante, hasta la estación 11. Se pueden apreciar fácilmente los aumentos y disminuciones parciales que corresponden a los bancos intercalados entre las margas, ya sean de caliza o de yeso, sin hacer variar el valor medio total,

$$V_{2-11} = \frac{1,080 - 0,200}{0,274 - 0,080} = 4.600 \text{ m/s.}$$

que nos indica el horizonte que ya conocemos.

Desde la estación 11 a la 12 se aprecia una disminución importante del parámetro que analizamos. Su valor medio también disminuye de 3.950 metros por segundo a 3.850, por lo que creemos existen unos bancos de margas pobres en cal o de areniscas, debajo del potente horizonte superior.

Al pasar de la estación 12 a la 13 se presenta el aumento brusco que caracteriza el encuentro de la sal,

$$V_{12-13} = \frac{1,280 - 1,180}{0,317 - 0,307} = 10.000 \text{ m/s.}$$

Este incremento no continúa en la estación siguiente, donde ya se nota la disminución relativa correspondiente,

$$V_{13-14} = \frac{1,378 - 1,280}{0,337 - 0,317} = 4.900 \text{ m/s.}$$

Desde la 12 a la 14 determinamos la velocidad que caracteriza al banco de sal,

$$V_{12-14} = \frac{1,378 - 1,180}{0,337 - 0,307} = 6.600 \text{ m/s.}$$

La disminución continúa hasta la estación 15, en la que aun se aprecia el efecto producido en la constante, por el banco de sal, que no ha disminuído más que a 5.000 metros por segundo.

$$V_{12-15} = \frac{1,480 - 1,180}{0,373 - 0,307} = 5.000 \text{ m/s.}$$

Creemos, por consiguiente, que el yacimiento salino tie-

ne algunas margas o yesos debajo de los primeros bancos de sal y que debe continuar.

El nuevo incremento brusco de la velocidad sísmica, nos prueba nuestra hipótesis.

Entre las estaciones 15 y 16 se nos presenta un enorme valor,

$$V_{15-16} = \frac{1,580 - 1,480}{0,375 - 0,373} = 50.000 \text{ m/s.}$$

que persiste en la siguiente,

$$V_{15-17} = \frac{1,680 - 1,480}{0,390 - 0,373} = 11.800 \text{ m/s.}$$

Hemos vuelto a cortar otro potente banco de sal, cuya característica está perfectamente determinada,

$$V_{12-17} = \frac{1,680 - 1,180}{0,390 - 0,307} = 6.000 \text{ m/s.}$$

Es muy difícil precisar si este segundo banco es realmente distinto al primero o es su prolongación, después de un pequeño salto descendente, producido por una falla. Esta hipótesis explicaría también la causa de la disminución de velocidad que hemos apreciado debajo del primero.

No podemos dedicarnos a aclarar este punto, por no entrar en el plan de nuestro trabajo, cuyo objeto es investigar toda la zona, con un número prudencial de estaciones.

Como en las líneas sísmicas anteriores exponemos a continuación los valores de la potencia de cada uno de los horizontes geológicos determinados.

Primer horizonte: $\Delta = 0,100 \text{ m.}$ $V_{0-1} = 1.900 \text{ m/s.}$ Potencia = 20 metros (margas descompuestas).

Segundo horizonte: $\Delta = 0,200 \text{ m.}$ $V_{0-2} = 2.500 \text{ m/s.}$ Potencia = 20 metros (margas).

Tercer horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 880 \text{ m.}$ $V_{2-11} = 4.600 \text{ m/s.}$ Potencia = 176 metros (margas, calizas y yesos).

Cuarto horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 100 \text{ m.}$ $V_{11-12} = 3.300 \text{ m/s.}$ Potencia = 20 metros (margas).

Quinto horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 500 \text{ m.}$ $V_{12-17} = 6.000 \text{ m/s.}$ Potencia > 100 metros (sal y margas).

Las profundidades correspondientes a cada uno de ellos, han servido de base para el dibujo del corte geológico desde Navarrels.

Línea VII.—Las velocidades medias del rayo sísmico corresponden a los siguientes valores.

$$\begin{array}{ll} V_{0-1} = \frac{0,200}{0,069} = 2.900 \text{ m/s.} & V_{0-9} = \frac{1,380}{0,335} = 4.100 \text{ m/s.} \\ V_{0-2} = \frac{0,400}{0,106} = 3.800 \text{ } & V_{0-10} = \frac{1,480}{0,346} = 4.300 \text{ } \\ V_{0-3} = \frac{0,606}{0,166} = 3.650 \text{ } & V_{0-11} = \frac{1,580}{0,361} = 4.400 \text{ } \\ V_{0-4} = \frac{0,800}{0,212} = 3.750 \text{ } & V_{0-12} = \frac{1,690}{0,375} = 4.500 \text{ } \\ V_{0-5} = \frac{0,980}{0,245} = 4.000 \text{ } & V_{0-13} = \frac{1,790}{0,404} = 4.450 \text{ } \\ V_{0-6} = \frac{1,100}{0,245} = 4.100 \text{ } & V_{0-14} = \frac{1,876}{0,417} = 4.500 \text{ } \\ V_{0-7} = \frac{1,200}{0,284} = 4.200 \text{ } & V_{0-15} = \frac{1,970}{0,449} = 4.400 \text{ } \\ V_{0-8} = \frac{1,280}{0,297} = 4.300 \text{ } & \end{array}$$

El horizonte geológico superficial está formado por las

margas conocidas, con la velocidad sísmica de 2.900 metros por segundo, figura 84.

A continuación, entre las estaciones 1 y 4, hay una constancia de velocidad, con el valor,

$$V_{1-4} = \frac{0,800 - 0,200}{0,212 - 0,069} = 4.250 \text{ m/s.}$$

correspondiente a las calizas intercaladas entre las margas y yesos.

Desde la estación 4, en adelante, el rayo sísmico pasa

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALIENT
Línea dromocrónica número 7

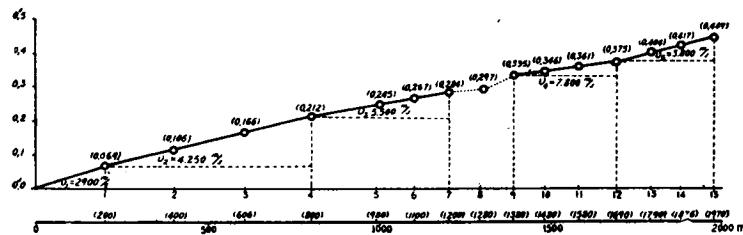


Fig. 84.

por un horizonte de verdaderas calizas, puesto que su constante ha aumentado hasta 5.500 m/s.

$$V_{4-7} = \frac{1,200 - 0,800}{0,284 - 0,212} = 5.550 \text{ m/s.}$$

Aun aumenta su valor, entre la estación 7 y la 8, hasta alcanzar el de 6.200 m/s., que pudiera corresponder a la sal

$$V_{7-8} = \frac{1,280 - 1,200}{0,297 - 0,284} = 6.200 \text{ m/s.}$$

No podemos afirmar, sin embargo, que corresponda ya al yacimiento salino. Como en su parte superior e inmediata yacen capas de caliza compacta de gran velocidad, no hay tránsito brusco en ella y por consiguiente no es seguro el cambio de horizonte.

Lo que creemos más probable es que haya algunas intercalaciones de lechos salinos, entre las margas y calizas, sin formar parte del yacimiento general.

El paso de la estación 8 a la 9 se marca por una notable disminución de velocidad media, que desciende de 4.300 metros por segundo a 4.100. La aparente, más reducida de lo que en realidad corresponde al horizonte atravesado, es:

$$V_{8-9} = \frac{1,380 - 1,280}{0,335 - 0,297} = 2.650 \text{ m/s.}$$

Este valor debe corresponder a un lecho margoso, en el que han desaparecido los de caliza y sal, del horizonte anterior.

Las estaciones 9, 10, 11 y 12, nos determinan un lado de la dromocrónica correspondiente, o sea un nuevo horizonte bien caracterizado. Su constante sísmica es

$$V_{9-12} = \frac{1,690 - 1,380}{0,375 - 0,335} = 7.800 \text{ m/s.}$$

por lo que no hay duda alguna de que se trata de la sal. El valor excesivo que resulta para ella, es debido a que continúa en profundidad, algo más allá de lo que corresponde a la estación 12.

A partir de la última estación mencionada volvemos a encontrar otra disminución importante de velocidad, que no refleja completamente en su valor medio, a causa de la gran magnitud alcanzada al pasar la sal; pero que se

aprecia bien en la dromocrónica, en la alineación determinada por las estaciones 12, 13, 14 y 15. La velocidad que determinan es

$$V_{12-15} = \frac{1,970 - 1,690}{0,449 - 0,375} = 3.800 \text{ m/s.}$$

que corresponde a las margas con alguna capa de caliza, perteneciente ya al Eoceno subyacente.

Las potencias de los distintos horizontes determinados, sin separar las intercalaciones de sal, que hemos señalado en uno de ellos, son:

Primer horizonte: $\Delta = 0,200$; $V_{0-1} = 2.900 \text{ m/s.}$ Potencia = 40 metros (margas).

Segundo horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,600$; $V_{1-4} = 4.250 \text{ m/s.}$ Potencia = 120 metros (margas, calizas y yesos).

Tercer horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,480$; $V_{4-8} = 5.700 \text{ m/s.}$ Potencia = 96 metros (calizas, yesos, margas y sal).

Cuarto horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,310$; $V_{9-12} = 7.800 \text{ m/s.}$ Potencia = 62 metros (sal).

Línea VIII.—A continuación se escriben los valores de las velocidades medias:

$$V_{0-1} = \frac{0,334}{0,101} = 3.300 \text{ m/s.} \quad V_{0-7} = \frac{1,140}{0,286} = 4.000 \text{ m/s.}$$

$$V_{0-2} = \frac{0,504}{0,138} = 3.650 \text{ »} \quad V_{0-8} = \frac{1,250}{0,297} = 4.200 \text{ »}$$

$$V_{0-3} = \frac{0,642}{0,174} = 3.700 \text{ »} \quad V_{0-9} = \frac{1,360}{0,320} = 4.250 \text{ »}$$

$$V_{0-4} = \frac{0,850}{0,222} = 3.850 \text{ »} \quad V_{0-10} = \frac{1,485}{0,340} = 4.400 \text{ »}$$

$$V_{0-5} = \frac{0,940}{0,237} = 3.950 \text{ »} \quad V_{0-11} = \frac{1,590}{0,377} = 4.200 \text{ »}$$

$$V_{0-6} = \frac{1,040}{0,260} = 4.000 \text{ »} \quad V_{0-12} = \frac{1,700}{0,378} = 4.500 \text{ »}$$

$$V_{0-13} = \frac{1,793}{0,410} = 4.400 \text{ m/s.} \quad V_{0-15} = \frac{2,010}{0,442} = 4.550 \text{ m/s.}$$

$$V_{0-14} = \frac{1,900}{0,437} = 4.350 \text{ »} \quad V_{0-16} = \frac{2,110}{0,470} = 4.500 \text{ »}$$

Como la primera estación se ha colocado a una distancia epicentral de 334 metros, figura 85, con el objeto de ahorrar las dos que hemos hecho a menor distancia en los

INSITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALIENT
Línea dromocrónica número 8

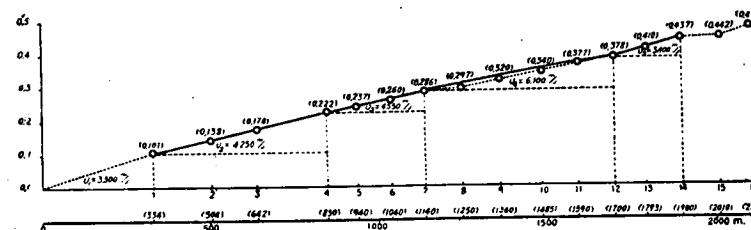


Fig. 85.

perfiles anteriores, no apreciamos el horizonte superficial de margas. La primera velocidad determinada corresponde ya a las que no han sufrido los efectos de la erosión externa

$$V_{0-1} = 3.300 \text{ m/s.}$$

El paso de la estación 1 a la 2 se caracteriza por un aumento de la velocidad media de 350 metros por segundo, lo que demuestra que hemos alcanzado un nuevo horizonte geológico. La constancia de los valores de la velocidad relativa V_{0-2} , V_{0-8} y V_{0-4} , nos hace ver que continúa hasta la estación 4, como también resulta de la alineación correspondiente, en la línea dromocrónica.

La constante del nuevo horizonte es

$$V_{1-4} = \frac{0,850 - 0,334}{0,222 - 0,101} = 4.250 \text{ m/s.}$$

que corresponde, como en los perfiles anteriores, a las margas con intercalaciones de calizas y yesos.

Desde la estación 4 a la 5 hay otro nuevo aumento en la velocidad aparente,

$$V_{4-5} = \frac{0,940 - 0,850}{0,237 - 0,222} = 6.000 \text{ m/s.}$$

que continúa hasta la 7. El horizonte determinado tiene por velocidad

$$V_{4-7} = \frac{1,140 - 0,850}{0,286 - 0,222} = 4.550 \text{ m/s.}$$

que también hemos encontrado anteriormente. El aumento de velocidad corresponde al de los lechos de caliza.

Entre las estaciones 7 y 8 vuelve a repetirse el incremento rápido en la velocidad media, que se refleja en un enorme aumento de la aparente,

$$V_{7-8} = \frac{1,250 - 1,140}{0,297 - 0,286} = 10.000 \text{ m/s.}$$

Parece fuera de duda que el rayo sísmico ha alcanzado la sal. Las estaciones 8, 9, 10 y 12, forman un lado de la dromocrónica, que determina la velocidad,

$$V_{7-12} = \frac{1,700 - 1,140}{0,378 - 0,286} = 6.100 \text{ m/s.}$$

correspondiente al horizonte salino.

Después se encuentra la disminución de velocidad, producida por las margas existentes debajo de la sal.

$$V_{12-14} = \frac{1,900 - 1,700}{0,437 - 0,378} = 3.400 \text{ m/s.}$$

También encontramos otro importante aumento en la velocidad media al pasar de la estación 14 a la 15, que produce el enorme efecto aparente de 22.000 m/s.,

$$V_{14-15} = \frac{2,010 - 1,900}{0,442 - 0,437} = 22.000 \text{ m/s.}$$

Le creemos originado por las calizas eocenas, situadas debajo de las margas, con una velocidad que sólo alcanza a poco más de la mitad de la que corresponde a aquéllas.

En la estación 16 ya se aprecia el comienzo de la disminución de velocidad, que sin duda continuará en las siguientes hasta coincidir con el valor correspondiente al horizonte mencionado.

Las potencias de cada uno de los horizontes reseñados, son las siguientes:

Primer horizonte: $\Delta = 0,334$ $V_{0-1} = 3.300$ m/s. Potencia = 66 metros (margas).

Segundo horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,516$ $V_{1-4} = 4.250$ m/s. Potencia = 102 metros (margas, yesos y calizas).

Tercer horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,290$ $V_{4-7} = 4.550$ m/s. Potencia = 60 metros (margas, yesos, calizas y sal).

Cuarto horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,560$ $V_{7-12} = 6.100$ m/s. Potencia = 112 metros (sal).

Quinto horizonte: $(\Delta_2 - \Delta_1) = 0,200$ $V_{12-14} = 3.400$ m/s. Potencia = 40 metros (margas).

En el corte geológico de Manresa a Sallent, que comprende el emplazamiento de los barrenos de las líneas VI, VII y VIII, se aprecian gráficamente los resultados obtenidos.

Línea IX.—En esta línea, última efectuada de la actual

$$V_{6-7} = \frac{0,815 - 0,715}{0,220 - 0,206} = 7.150 \text{ m/s.}$$

Esta velocidad disminuye progresivamente en las estaciones sucesivas, y en la última efectuada tiene el valor que corresponde a las calizas eocenas,

$$V_{6-12} = \frac{1,320 - 0,715}{0,273 - 0,206} = 4.500 \text{ m/s.}$$

Las potencias de los horizontes encontrados son:

Primer horizonte: $\Delta = 0,200$ $V_{0-1} = 2.150$ m/s. Potencia = 40 metros (margas).

Segundo horizonte: $\Delta_2 - \Delta_1 = 0,200$ $V_{1-3} = 4.100$ m/s. Potencia = 40 metros (margas, calizas y sal).

Tercer horizonte: $\Delta_2 - \Delta_1 = 0,200$ $V_{3-5} = 6.300$ m/s. Potencia = 40 metros (sal).

Cuarto horizonte: $\Delta_2 - \Delta_1 = 0,115$ $V_{5-6} = 3.600$ m/s. Potencia = 22 metros (margas).

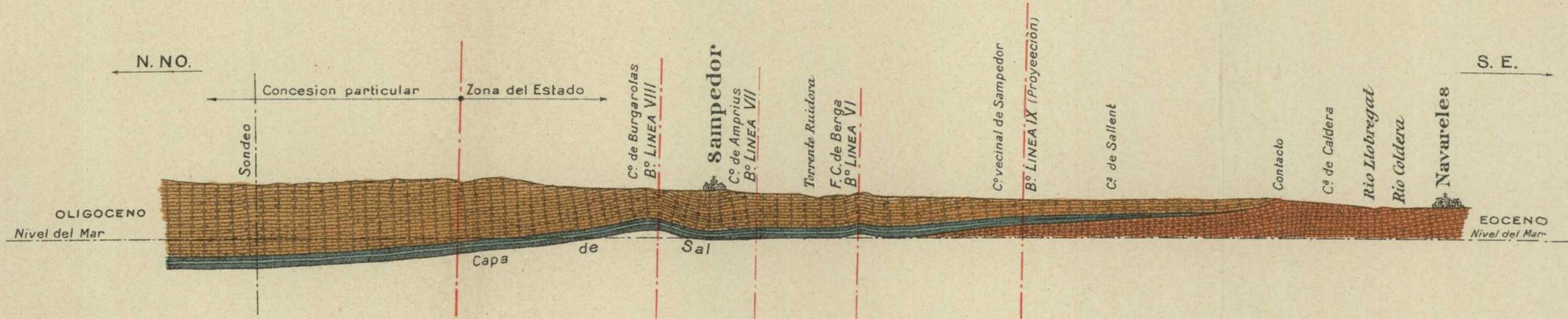
Los valores anteriores nos demuestran que estamos muy cerca del borde de la cuenca. Tanto el tramo de la sal como el superior de las calizas han disminuído de potencia considerablemente y se encuentran muy cerca de la superficie.

En el corte geológico de Navarclés a Castellnou, lámina XIV, se presentan los resultados obtenidos en esta línea.

§ 27. Resumen.—La comparación de los valores encontrados para la profundidad y potencia del yacimiento salino en los diversos lugares de la investigación, nos demuestra que se trata de una zona de gran riqueza, en condiciones excepcionales de explotabilidad, por la pequeña

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALLENT

CORTE GEOLÓGICO DESDE NAVACLES HASTA LAS INMEDIACIONES DE CASTELNOU, PASANDO POR EL ESTE DE SAMPEDOR EL ORIGEN DE LA LÍNEA VI Y CORTANDO LAS VII Y VIII DEL ESTUDIO SÍSMICO



profundidad a que se encuentra y por los abundantes medios de que se dispone en la región.

Nosotros, sin embargo, no podemos distinguir con los actuales medios de investigación, las sales potásicas entre sí, ni éstas de las sódicas. Como para la valoración del yacimiento tienen estos extremos extraordinaria importancia, he tenido el honor de proponer a la Superioridad la ejecución de tres sondeos mecánicos.

El primero, cerca del kilómetro 16 y al Oeste de la carretera de San Fructuoso de Bagés a Sallent, a 1.000 metros del barreno de la línea sísmica número I. En él debe cortarse el yacimiento a 211 metros bajo la superficie del terreno, con una potencia de unos 90 metros.

El segundo, al SE. de Cabrianas, cerca de la carretera de Artés, a 1.000 metros del barreno de la línea sísmica número III.

El yacimiento debe cortarse a 240 metros, bajo el nivel del barreno, con una potencia superior a 60 metros.

Y el tercero, al Norte de Sampedor, cerca del cementerio nuevo, a unos 750 metros del origen de la línea sísmica número VIII.

La profundidad a que debe cortarse el yacimiento, debajo del nivel del barreno, es de 228 metros y su potencia algo superior a 100 metros.

Según las profundidades que acabamos de exponer, bastará con proyectar los tres sondeos para una profundidad de 350 metros.

Los resultados obtenidos nos demuestran también que el yacimiento salino llega hasta muy cerca del afloramiento del Eoceno en la superficie, con la natural disminución de potencia y riqueza.

En el plano general se ha dibujado la línea teórica que corresponde al afloramiento de la sal.

Al terminar estas líneas llega a nuestro conocimiento que en el sondeo practicado al lado del puente de Cabrianas, es decir, a unos 900 metros del proyectado con el número 1, se ha cortado la sal a la profundidad de 146 metros. Si tenemos en cuenta la mencionada distancia y el buzamiento de 10°, que tienen las capas en ese lugar, queda comprobada completamente la profundidad de 211 metros, que resultó para el sondeo mencionado.

CAPÍTULO VII

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE BELLMUNT

§ 28. **Prólogo.**—El estudio geológico de la cuenca potásica catalana, efectuado por el Sr. Marín, ha demostrado que los anticlinales oligocenos de la zona barcelonesa se prolongan por la provincia de Lérida y cruzan el Aragón por la de Huesca.

El más importante de todos ellos es el que pasa por el pueblo de Bellmunt, en la primera de las dos provincias citadas, que además ofrece la particularidad de presentar los yesos en la superficie, en una considerable extensión. Como el manto salino debe de encontrarse debajo de este horizonte, su profundidad será menor que en el resto de la zona, donde estos yesos están cubiertos por una potente sedimentación a base de margas y calizas.

Por estas razones, el Director del Instituto Geológico, Sr. de la Peña, ha elegido la localidad de Bellmunt, para efectuar una investigación geofísica que nos permita aclarar el importantísimo problema de la continuación de la cuenca potásica catalana y su enlace con la de Navarra, que será objeto de otros estudios posteriores.

Honrado con el encargo de dirigirla, no he omitido esfuerzo alguno para llevarla a feliz término, secundado eficazmente por todo el personal de la Sección, que ha trabajado con entusiasmo para vencer las muchas dificultades que se nos han presentado.

Entre todos los métodos geofísicos de prospección, el único que podemos emplear en este caso es el sísmico, y aun para ello es preciso soslayar algunos inconvenientes.

La inclinación de los bancos de yeso pasa de 60° en el eje del anticlinal y por consiguiente no es posible observar perfiles transversales. Los longitudinales han de ir exactamente según la dirección de estratificación, para evitar grandes errores en la apreciación de las profundidades de los diversos horizontes.

Estos inconvenientes no existen en el sinclinal, pero en cambio, la profundidad a que probablemente se encuentra la sal es excesivamente grande.

Teniendo en cuenta los antecedentes anteriores, dividiremos este estudio en dos partes. En la primera nos ocuparemos del anticlinal, por medio de perfiles paralelos a su eje, situados en él y en sus dos flancos. Cada perfil nos suministrará *un solo valor* para la profundidad de la sal y entre todos ellos construiremos su corte geológico transversal. En la segunda trataremos de encontrar la profundidad de la sal en el sinclinal, con perfiles paralelos a su eje, de longitud suficiente.

Esta investigación ofrece la particularidad de ser la primera que se efectúa en España, en que por el método sísmico, se estudian estratos con grandes inclinaciones. El trabajo necesario para realizarla es, por lo menos, cuádruple del normal, para estratos horizontales. Si no obstante estas dificultades, conseguimos nuestro objeto, nos consideraremos más que suficientemente recompensados.

§ 29. Reseña geográfica y geológica.

a) *Reseña geográfica.*—La zona de estudio está situada en la región oriental de Balaguer, provincia de Lérida, dentro del perímetro limitado por una línea poligonal

que arranca en el kilómetro 22 de la carretera de Lérida a Cubells y se dirige hacia Belcaire, hasta trasponer el pueblo de Penellas; dobla después al Norte y atraviesa la sierra de Almenara, para volver por Mongay y Asentiu, hasta el punto de partida. (Véase el plano general. Lámina XV.)

Su relieve es poco accidentado. El accidente topográfico más importante está constituido por el extremo occidental de la sierra de Almenara, que termina en una serie de montículos, alineados, como ella, de E.-SE. a O.-NO. y divide a la zona en dos partes asimétricas: Una al Norte, representada por la pequeña vega de Asentiu y otra al Sur, que se extiende hacia Lérida por la dilatada llanura denominada «Llano de Urgel».

En uno de los cerros de la mencionada sierra se alza el pueblo de Bellmunt, con una altitud sobre el nivel del mar de 379 metros, que es la cota más elevada de la zona. En el sentido occidental, siguen al mismo otros varios, que con pequeñísimas diferencias entre sí, superan la altitud de 300 metros, hasta que en los alrededores de La Rápita se desvanecen suavemente las protuberancias y apenas emergen del nivel del valle.

El nivel medio de la vega oscila entre los 220 y los 240 metros. Las diferencias se acentúan más en la parte septentrional o vega de Antius, que en el Llano de Urgel. Aquélla corresponde al borde de la cuenca terciaria y a más de estar afectada por los trastornos de los terrenos secundarios, ha sufrido fuertes fenómenos de erosión, que han dado por resultado irregularidades superficiales, que alcanzan y aun superan la cota de los 300 metros. El Llano de Urgel por el contrario, aparece como una dilatada planicie, de acuerdo con la máxima horizontalidad de las estratificaciones.

La hidrología de la región corresponde a un trozo de la margen izquierda del Segre. Las aguas pluviales, no muy abundantes, se distribuyen en dos partes por las vertientes de la sierra de Almenara. Las septentrionales discurren por el torrente que desciende desde el pueblo de Preixens, por Butxenit y Asentiu, hasta su desembocadura en el Segre, aguas arriba de Balaguer. Las meridionales corren en sentido opuesto hasta desaguar en las acequias derivadas del canal de Urgel y se aprovechan para la fertilización de las tierras.

Las vías de comunicación son buenas y abundantes. A más del ferrocarril de enlace con la línea general de Barcelona a Irún, en las estaciones de Lérida y Mollerusa, la región está cruzada por una red de buenas carreteras, bien conservadas. Entre éstas se destacan, la denominada de Agramunt, que pasa por Asentiu y Mongay y la de Tárrega que atraviesa el pueblo de Belcaire. Ambas carreteras se comunican entre sí por los caminos vecinales que enlazan los pueblos, por los que se puede circular en automóvil, a excepción de la época de las lluvias.

Las consideraciones anteriores nos ponen de manifiesto que la zona se encuentra en condiciones muy favorables para emprender cualquier trabajo de explotación minera si resultara su conveniencia de los estudios que vamos a efectuar.

b) *Reseña geológica.*—Como la región catalana está ya perfectamente estudiada desde el punto de vista geológico, especialmente en lo concerniente a la cuenca potásica, por nuestro compañero Sr. Marín (*), no entraremos en

(*) Boletín del Instituto Geológico y Minero de España. «La Potasa», tomo XLVIII, 1926.

consideraciones de carácter general y limitamos nuestra reseña a la enumeración de los terrenos que constituyen la estructura interna de nuestra zona, a la disposición y composición petrográfica de sus estratos y al espesor de los mismos, ayudados por los resultados obtenidos en el estudio sísmico y las observaciones complementarias efectuadas sobre el terreno.

Para facilitar la inteligencia de las explicaciones hemos efectuado un corte transversal del terreno, que se representa en la lámina XVI, a lo largo del borde occidental del valle del Segre, sobre el nivel del río, desde las inmediaciones de Balaguer, por el Sur, hasta San Lorenzo de Mongay, por el Norte, cerca de la presa en construcción, para el salto de agua de «La Canadiense».

La capa superficial o terreno de labor, que recubre la zona en casi toda su extensión, tiene un espesor que oscila entre 0,50 y 2 metros. Se apoya indistintamente sobre el terreno aluvial, con el que suele mezclarse muy frecuentemente, como sucede en las orillas del Segre, y sobre los estratos de que procede por descomposición y disgregación.

A continuación, en el orden geológico descendente, se encuentra la capa aluvial, ya mencionada, en discordancia completa con los estratos, que forma una anchá faja en ambas orillas del Segre, y se extiende por los valles laterales en forma de terrazas, que imprimen al contorno una marcha irregular.

Su potencia es muy variable, tanto por la irregularidad del régimen de las aguas productoras del arrastre, como por la erosión constante producida por los agentes exteriores. No es difícil encontrar lugares donde la potencia sea de poco más de un metro, que estén próximos a otros donde alcance seis y ocho. También resulta muy distinto

el tamaño de los cantos, que varía desde la grava menuda, hasta los trozos que exceden de 20 centímetros de dimensión mínima.

El cemento que los une es de naturaleza margo-arcillosa y de su cantidad depende la mayor o menor compacidad del manto. En algunos lugares, como en la margen izquierda del Segre, en las inmediaciones de La Rápita y en la carretera de Mongay, es fácilmente disgregable y en otros, por el contrario, constituye un conglomerado resistente, como ocurre en el borde occidental del mismo río, en las inmediaciones de Balaguer, donde se alza la iglesia del Santo Cristo y las murallas del derruido castillo. Las zonas de más fácil arranque se utilizan para la obtención de materiales para el afirmado de carreteras y para la fabricación de hormigones.

La redondez de los cantos, su compleja naturaleza, y el pequeño tamaño de muchos de ellos, nos indica que se han depositado a gran distancia de su origen. Se observan trozos de rocas graníticas, porfiroides y ofíticas, mezcladas con otras de inconfundible carácter exógeno, entre las que tienen su representación las cuarcitas, areniscas, calizas y pizarras. Tanto éstas como las de naturaleza margosa son menos frecuentes, por su mayor facilidad de disgregación y pasan a ocupar el papel de aglomerantes. También hemos advertido pequeños trozos de caliza numulítica en el corte de la carretera de Tremp, cerca de su conjunción con la de San Lorenzo.

El color del conjunto suele ser claro en los lugares donde el manto es fácilmente disgregable, y pardo rojizo donde se presenta compacto y fuerte.

Dentro ya de los terrenos propiamente estratificados, el horizonte geológico más elevado, que es precisamente el que corresponde a la planicie de Belcaire y el Llano

de Urgel, está constituido por rocas marcadamente sabulosas, con diminutos granos silíceos, trabados por un cemento calizo margoso, que sin duda alguna son la prolongación de las molasas de Tárrega, citadas por el Sr. Marín. No cubren la superficie de una manera continua, sino afectando la disposición de pequeños isleos, en forma de domos, sillars, etc., más bien debidos a los efectos de desgaste producidos por la acción de los agentes de erosión, que a pliegues u ondulaciones de las capas, que en la llanura son de muy poca importancia.

En algunos puntos esta roca se encuentra cubierta por los terrenos de labor y, en conjunto, no alcanza grandes espesores. Las líneas sísmicas números III y IV se han estudiado sobre ella, por ser la menos cultivada y por consiguiente la más accesible para la práctica de las operaciones.

A continuación de esta zona, que podemos llamar la covertera de la formación, aparece un tramo de calizas y margas alternantes, compactas unas veces y de naturaleza friable y plástica otras. Estas últimas son de colores abigarrados y constituyen la parte más importante de los terrenos de cultivo. Proceden de la rotura y desmantelación del anticlinal de Bellmunt, cuyas capas yesosas, hoy al descubierto, estuvieron ocultas por ellas en épocas geológicas anteriores.

La base sobre la que descansa el nivel precedente está constituida por rocas margo-sabulosas de color pardo, que alternan con otras de colores rojo y gris, de menor espesor, también friables y arcillosas, que forman el flanco meridional de la sierra de Almenara y afloran en ella con ángulos de inclinación, comprendidos entre 20 y 30 grados. A causa de su compacidad y de su carácter sabuloso, algunos bancos proporcionan piedra de construc-

ción de buena calidad. Este nivel se apoya sobre otro de calizas de considerable potencia.

Por último, en la parte más baja del Oligoceno, aparece una serie de bancos de margas yesosas, que primeramente coinciden con la inclinación de los precedentes, pero que después se van levantando gradualmente a medida que se acercan al eje del anticlinal, en cuyas cercanías forman con el horizonte un ángulo de 60-65°.

La naturaleza de las capas en este tramo es, como ya hemos dicho, marcadamente yesosa; pero ni el yeso, ni las margas se encuentran tan separadas entre sí, que puedan constituir por sí mismos horizontes independientes bien caracterizados.

Todo lo que hemos dicho hasta ahora sobre la constitución geológica del terreno de la zona de investigación, corresponde a lo que pudiéramos llamar región Sur de la misma, con respecto al eje del anticlinal ya mencionado. En cuanto a la del Norte, como la sucesión de las capas es exactamente la misma y se trata de un pliegue que afectó a todas por igual, doblándolas primero, rompiéndolas después y denudándolas al fin con el concurso de los agentes exteriores, no consideramos necesario la repetición.

La zona de margas yesosas puestas al descubierto en el eje del anticlinal ya mencionado, ofrece la particularidad de que la potencia superficial de las dos ramas aparentes del pliegue es tan distinta que la de la septentrional es algo más del triple de la meridional, por cuya razón es imposible el enlace teórico de las mismas con un pliegue sencillo.

Como el estudio sísmico ha comprobado que la potencia de las margas yesosas es la de la rama Sur y que además no hay falla con salto en el eje del anticlinal, la mar-

cha de las capas tiene que ser la indicada en el corte correspondiente, es decir, un pliegue doble de forma isoclinal.

Los trastornos que se observan en diferentes puntos de la misma zona y muy especialmente en la que representa el corte número I, donde a continuación del punto dominante del primer doblez, aparece de súbito otro que interrumpe la marcha de los estratos, convirtiendo el bloque de margas y yesos en una masa informe, nos inducen a pensar que quizás el número de pliegues sea superior a dos.

Desde el punto de vista tectónico, todo parece indicar que en esta región, como en la de Suria y Balsareny, el empuje tangencial producido por el movimiento de aproximación de las cordilleras del litoral y pirenaica, estrelló los estratos del Oligoceno contra el macizo secundario que forma la sierra Carbonera, cuyo borde Sur limita la cuenca potásica, por los pueblos de San Lorenzo de Mongay, Camarasa y el Norte de Cubells.

Otro accidente tectónico interesante se presenta en el curso del río Segre, entre Camarasa y San Lorenzo. Los estratos se encuentran en todo ese trayecto fuertemente inclinados y en algunos sitios, como en las cercanías de Camarasa, completamente verticales y en manifiesta discordancia con el resto de la estratificación, tanto con relación a las capas del Oligoceno, como con las del Secundario, aun perteneciendo a ellos. Todo parece indicar la existencia de una gran falla, quizá en relación directa con el plegamiento general de la cuenca, que explicaría los fenómenos de cobijadura que hemos observado, por la combinación del esfuerzo tangencial con el de la gravedad.

§ 30. Las mediciones sísmicas. — Ya hemos dicho en el Prólogo de este trabajo, que dividíamos la investigación en dos partes. En la primera nos ocuparemos del

| LINEA I | | | | | LINEA II | | | | |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|
| Ex- plo- sión | Dina- mita — kgs. | Sis- mó- grafo — Pos. | T — (seg.) | Δ — (kms.) | Ex- plo- sión | Dina- mita — kgs. | Sis- mó- grafo — Pos. | T — (seg.) | Δ — (kms.) |
| 1. ^a | 1 | 1 | 0,030 | 100 | 1. ^a | 2,5 | 1 | 0,037 | 100 |
| | | 2 | 0,059 | 200 | | | 2 | 0,066 | 200 |
| | | 3 | 0,105 | 300 | | | 3 | 0,091 | 300 |
| 2. ^a | 5 | 4 | 0,129 | 400 | 2. ^a | 7,5 | 4 | 0,115 | 400 |
| | | 5 | 0,139 | 500 | | | 5 | 0,140 | 500 |
| | | 6 | 0,152 | 600 | | | 6 | 0,154 | 600 |
| 3. ^a | 25 | 7 | 0,216 | 800 | 3. ^a | 25 | 7 | 0,168 | 700 |
| | | 8 | 0,286 | 1,000 | | | 8 | 0,264 | 900 |
| | | 9 | 0,328 | 1,200 | | | 9 | 0,324 | 1,100 |
| 4. ^a | 35 | 10 | 0,377 | 1,400 | 4. ^a | 40 | 10 | 0,357 | 1,300 |
| | | 11 | 0,416 | 1,600 | | | 11 | 0,380 | 1,500 |
| | | 12 | 0,471 | 1,800 | | | 12 | 0,452 | 1,700 |
| 5. ^a | 50 | 13 | 0,502 | 2,000 | 5. ^a | 50 | 13 | 0,492 | 1,900 |
| | | 14 | 0,558 | 2,200 | | | 14 | 0,533 | 2,100 |
| | | 15 | 0,593 | 2,400 | | | 15 | 0,573 | 2,300 |
| 6. ^a | 75 | 16 | 0,654 | 2,600 | 6. ^a | 75 | 16 | 0,618 | 2,500 |
| | | 17 | 0,690 | 2,800 | | | 17 | 0,681 | 2,700 |
| | | 18 | 0,738 | 3,000 | | | 18 | 0,727 | 2,900 |
| 7. ^a | 90 | 19 | 0,745 | 3,200 | 7. ^a | 90 | 19 | 0,753 | 3,100 |
| | | 20 | 0,808 | 3,400 | | | 20 | 0,790 | 3,300 |
| | | 21 | 0,846 | 3,600 | | | 21 | 0,806 | 3,500 |
| 8. ^a | 100 | 22 | 0,896 | 3,800 | 8. ^a | 110 | 22 | 0,890 | 3,700 |
| | | 23 | 0,951 | 4,000 | | | 23 | 0,968 | 4,100 |
| | | | | | | | 24 | 1,005 | 4,200 |

anticlinal de las margas yesosas y, en la segunda, de la llanura sinclinal donde aquéllas están cubiertas por una potente sedimentación posterior.

Para el primer objeto se han observado las líneas sísmicas números I, II, V, VI y VII. Al segundo corresponden las III y IV.

Se han empleado simultáneamente tres equipos sísmicos y la estación de telegrafía sin hilos, para el registro del momento de la explosión.

Línea I.—Está situada a lo largo del camino de Bala-

guer a Agramunt (véase el plano general, lámina XV), y va dirigida hacia el Oeste. Tiene una longitud de 4.000 metros y consta de 23 estaciones.

Los tiempos empleados por la onda sísmica para llegar a cada una de las posiciones que han ocupado los sismógrafos, medidos por el primer ímpetu de los sismógramas, en milésimas de segundo, las cantidades de dinamita empleada en cada explosión, y las distancias al barreno, desde cada una de las posiciones de los sismógrafos, se encuentran reunidos en el cuadro anterior.

Línea II.—Está situada a continuación de la anterior y tiene con ella una parte común. También está dirigida hacia el Oeste. Su longitud es de 4.200 metros y consta de 24 estaciones sísmicas.

Para aclarar la interpretación de los resultados, se interpolaron tres estaciones más, entre las 18 y 21, que no variaron la marcha general de la línea dromocrónica.

Los tiempos de propagación de las ondas, las distancias epicentrales correspondientes y las cantidades de dinamita gastadas en cada explosión, figuran en el segundo cuadro de la página anterior.

Línea III.—Está situada en la llanura, entre las localidades de La Rápita y Belleaire, paralelamente a la carre-

| LINEA III | | | | |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|
| Ex- plo- sión | Dina- mita — kgs. | Sis- mó- grafo — Pos. | T — (seg.) | Δ — (kms.) |
| 1. ^a | 2,5 | 1 | 0,054 | 100 |
| | | 2 | 0,100 | 200 |
| | | 3 | 0,124 | 300 |
| 2. ^a | 7,5 | 4 | 0,151 | 400 |
| | | 5 | 0,174 | 500 |
| | | 6 | 0,202 | 600 |
| 3. ^a | 25 | 7 | 0,244 | 800 |
| | | 8 | 0,308 | 1,000 |
| | | 9 | 0,370 | 1,200 |
| 4. ^a | 40 | 10 | 0,440 | 1,440 |
| | | 11 | 0,495 | 1,635 |
| | | 12 | 0,559 | 1,843 |
| 5. ^a | 60 | 13 | 0,617 | 2,043 |
| | | 14 | 0,656 | 2,243 |
| | | 15 | 0,709 | 2,443 |
| 6. ^a | 75 | 16 | 0,744 | 2,650 |
| | | 17 | 0,786 | 2,850 |
| | | 18 | 0,824 | 3,050 |
| 7. ^a | 90 | 19 | 0,869 | 3,250 |
| | | 20 | 0,902 | 3,450 |
| | | 21 | 0,953 | 3,660 |
| 8. ^a | 125 | 22 | 0,994 | 3,860 |
| | | 23 | 1,049 | 4,100 |
| | | 24 | 1,108 | 4,342 |
| 9. ^a | 125 | 25 | 1,167 | 4,550 |

tera que las une, y en la dirección de la primera a la segunda. Su longitud es de 4.550 metros y el número de estaciones de que consta es de 25.

El cálculo de los sismógramas obtenidos ha determinado los tiempos de recorrido de las ondas doblemente re-

LINEA IV

| Ex- plo- sión | Dina- mita — kgs. | Sis- mó- grafo — Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 1. ^a | 2,5 | 1 | 0,053 | 100 |
| | | 2 | 0,089 | 200 |
| | | 3 | 0,113 | 300 |
| 2. ^a | 20 | 4 | 0,137 | 400 |
| | | 5 | 0,231 | 700 |
| | | 6 | 0,332 | 1,000 |
| 3. ^a | 40 | 7 | 0,427 | 1,327 |
| | | 8 | 0,504 | 1,627 |
| | | 9 | 0,587 | 1,933 |
| 4. ^a | 70 | 10 | 0,654 | 2,310 |
| | | 11 | 0,741 | 2,650 |
| | | 12 | 0,813 | 3,000 |
| 5. ^a | 90 | 13 | 0,872 | 3,300 |
| | | 14 | 0,929 | 3,590 |
| | | 15 | 1,004 | 3,790 |
| 6. ^a | 100 | 16 | 1,034 | 3,900 |
| | | 17 | 1,027 | 4,000 |
| | | 18 | 1,052 | 4,125 |
| 7. ^a | 125 | 19 | 1,088 | 4,240 |
| | | 20 | 1,134 | 4,450 |

fractadas, que con sus respectivas distancias epicentrales y gasto de dinamita correspondiente a cada explosión, figuran en las columnas del cuadro adjunto.

Línea IV.—La línea IV puede considerarse como la contralínea del perfil anterior, por extenderse entre las mismas localidades, e ir dirigida en sentido contrario.

LINEA V

| Ex- plo- sión | Dina- mita — kgs. | Sis- mó- grafo — Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 1. ^a | 2,5 | 1 | 0,044 | 100 |
| | | 2 | 0,057 | 200 |
| | | 3 | 0,093 | 300 |
| 2. ^a | 7,5 | 4 | 0,125 | 400 |
| | | 5 | 0,170 | 500 |
| | | 6 | 0,187 | 600 |
| 3. ^a | 20 | 7 | 0,207 | 700 |
| | | 8 | 0,232 | 800 |
| | | 9 | 0,242 | 900 |
| 4. ^a | 30 | 10 | 0,275 | 1,000 |
| | | 11 | 0,293 | 1,100 |
| | | 12 | 0,314 | 1,200 |
| 5. ^a | 40 | 13 | 0,339 | 1,300 |
| | | 14 | 0,389 | 1,400 |
| | | 15 | 0,390 | 1,500 |
| 6. ^a | 45 | 16 | 0,420 | 1,600 |
| | | 17 | 0,442 | 1,720 |
| | | 18 | 0,481 | 1,840 |
| 7. ^a | 50 | 18' | 0,493 | 1,900 |
| | | 18'' | 0,494 | 1,970 |
| | | 19 | 0,506 | 2,040 |
| 8. ^a | 60 | 19' | 0,518 | 2,140 |
| | | 20 | 0,537 | 2,240 |
| | | 21 | 0,599 | 2,440 |
| 9. ^a | 75 | 22 | 0,670 | 2,640 |
| | | 23 | 0,683 | 2,840 |
| | | 24 | 0,736 | 3,040 |
| 10 | 80 | 25 | 0,786 | 3,240 |

Consta de 20 estaciones, distribuidas en una longitud de 4.450 metros.

La medición y cálculo de los sismógramas obtenidos, ha dado los resultados que figuran en el cuadro correspondiente, en unión de las distancias al origen y el gasto de explosivos para cada barreno.

Línea V.—Corresponde de nuevo a la zona del anticlinal. Es paralela a su eje y dista del mismo 100 metros. Va dirigida de Este a Oeste, tiene una longitud de 3.240 metros y consta de 28 estaciones.

Se ha estudiado esta línea para obtener un valor para la profundidad de la sal en el flanco Norte del anticlinal.

Los valores numéricos de los tiempos de propagación, distancias epicentrales y gasto de explosivos, se consignan en el cuadro correspondiente.

Línea VI.—Esta línea coincide sensiblemente con el eje del anticlinal yesoso y sólo dista de la anterior 100 metros contados en la dirección perpendicular a su longitud.

Consta de 22 estaciones, repartidas en una longitud de 2.810 metros. Las estaciones se han colocado muy próximas para precisar la profundidad del techo y muro de la sal.

El cálculo de los sismógramas cuya observación se ha repetido, siempre que las gráficas no suministrasen indicaciones completamente seguras, ha dado los resulta-

LINEA VI

| Ex- plo- sión | Dina- mita — kgs. | Sis- mó- grafo — Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 1. ^a | 2,5 | 1 | 0,035 | 100 |
| | | 2 | 0,072 | 200 |
| | | 3 | 0,098 | 300 |
| 2. ^a | 7,5 | 4 | 0,126 | 400 |
| | | 5 | 0,161 | 500 |
| | | 6 | 0,182 | 600 |
| 3. ^a | 25 | 7 | 0,238 | 805 |
| | | 8 | 0,291 | 1,000 |
| | | 9 | 0,360 | 1,200 |
| 4. ^a | 35 | 10 | 0,390 | 1,400 |
| | | 11 | 0,429 | 1,610 |
| | | 12 | 0,449 | 1,710 |
| 5. ^a | 50 | 13 | 0,457 | 1,810 |
| | | 14 | 0,481 | 1,910 |
| | | 15 | 0,514 | 2,010 |
| 6. ^a | 60 | 16 | 0,520 | 2,110 |
| | | 17 | 0,536 | 2,210 |
| | | 18 | 0,619 | 2,410 |
| 7. ^a | 70 | 19 | 0,724 | 2,810 |
| 8. ^a | 30 | 8' | 0,331 | 1,100 |
| | | 10' | 0,415 | 1,500 |
| | | 9' | 0,360 | 1,010 |

dos que se resumen en el cuadro, juntamente con los datos de distancias y explosivos empleados.

Línea VII.—Es paralela a las dos anteriores y está situada en la vertiente Sur de la

| LINEA VII | | | | |
|-----------------|-----------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| Explosión | Dinamita — kgs. | Sismógrafo — Pos. | T — (seg.) | Δ — (kms.) |
| 1. ^a | 20 | 1 | 0,114 | 365 |
| | | 2 | 0,209 | 695 |
| | | 3 | 0,284 | 1,025 |
| 2. ^a | 40 | 4 | 0,367 | 1,350 |
| | | 5 | 0,440 | 1,675 |
| | | 6 | 0,507 | 2,000 |
| 3. ^a | 65 | 7 | 0,594 | 2,300 |
| | | 8 | 0,648 | 2,550 |
| | | 9 | 0,688 | 2,800 |
| 4. ^a | 87,5 | 10 | 0,718 | 3,020 |
| | | 11 | 0,787 | 3,220 |
| | | 12 | 0,843 | 3,420 |
| 5. ^a | 100 | 13 | 0,874 | 3,620 |
| | | 14 | 0,940 | 3,830 |
| | | 15 | 0,964 | 4,030 |
| 6. ^a | 60 | 8 ^a | 0,658 | 2,633 |

tuada en la vertiente Sur de la sierra de Almenara y por consiguiente en el flanco septentrional del anticlinal.

No ha sido posible colocarla más próxima a las mismas por impedirlo la localidad de Bellmunt y los accidentes topográficos del terreno.

Tiene una longitud de 4.033 metros y se han observado en ella 16 estaciones. Las distancias epicentrales, los tiempos calculados y las cargas explosi-

vas, se han reunido en el cuadro correspondiente.

§ 31. **La interpretación geológica de las mediciones sísmicas.**—Ya hemos dicho en el Prólogo que se presentan grandes dificultades para la interpretación geológica de las mediciones sísmicas, cuando es muy fuerte la pendiente de los estratos. Es preciso que las líneas sísmicas coincidan con la dirección de estratificación, lo que en muchos casos no puede conseguirse. En este problema, la estratificación en el eje del anticlinal, tiene buzamientos próximos a 90°, en una anchura que puede llegar hasta 50 metros. Esta incertidumbre tiene una gran influencia en la profundidad de la capa salina, como veremos poco después.

El método seguido consiste en trazar las líneas dromocrónicas con los datos de la observación directa; calcular

las velocidades de los distintos horizontes que se caractericen en aquéllas, así como la profundidad a que se encuentren, por las fórmulas expuestas en mi obra «Los Métodos Geofísicos de Prospección».

Analizaremos sucesivamente cada una de las líneas sísmicas estudiadas.

Línea I.—Antes de considerar las alineaciones de puntos que nos ha puesto de manifiesto la línea dromocrónica

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE BELLMUNT
Línea dromocrónica número 1

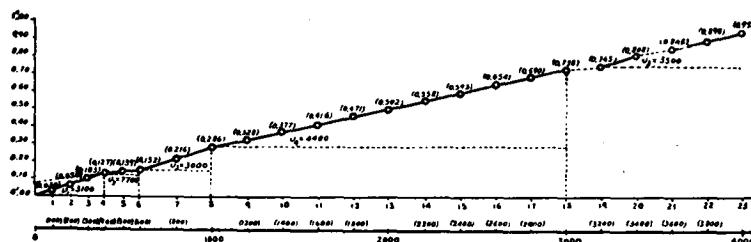


Fig. 87.

ca número 1, figura 87. examinemos los adjuntos valores de la velocidad media del rayo sísmico, al llegar a cada estación:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \frac{0,100}{0,030} = 3.300 \text{ m/s.} & V_6 &= \frac{0,600}{0,152} = 4.000 \text{ } \\
 V_2 &= \frac{0,200}{0,059} = 3.400 \text{ } & V_7 &= \frac{0,800}{0,216} = 3.700 \text{ } \\
 V_3 &= \frac{0,300}{0,105} = 2.900 \text{ } & V_8 &= \frac{1,000}{0,286} = 3.500 \text{ } \\
 V_4 &= \frac{0,400}{0,129} = 3.100 \text{ } & V_9 &= \frac{1,200}{0,328} = 3.600 \text{ } \\
 V_5 &= \frac{0,500}{0,139} = 3.600 \text{ } & V_{10} &= \frac{1,400}{0,377} = 3.700 \text{ }
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll}
 V_{11} = \frac{1,600}{0,416} = 3.800 \text{ m/s.} & V_{18} = \frac{3,000}{0,738} = 4.100 \text{ m/s.} \\
 V_{12} = \frac{1,800}{0,471} = 3.800 \text{ } & V_{19} = \frac{3,200}{0,745} = 4.300 \text{ } \\
 V_{13} = \frac{2,000}{0,502} = 4.000 \text{ } & V_{20} = \frac{3,400}{0,745} = 4.100 \text{ } \\
 V_{14} = \frac{2,200}{0,558} = 4.000 \text{ } & V_{21} = \frac{3,600}{0,846} = 4.300 \text{ } \\
 V_{15} = \frac{2,400}{0,593} = 4.000 \text{ } & V_{22} = \frac{3,800}{0,896} = 4.200 \text{ } \\
 V_{16} = \frac{2,600}{0,654} = 4.000 \text{ } & V_{23} = \frac{4,000}{0,951} = 4.200 \text{ } \\
 V_{17} = \frac{2,800}{0,690} = 4.100 \text{ } &
 \end{array}$$

Las dos primeras, de 3.300 y 3.400 m/s., corresponden seguramente a los yesos margosos, visibles en la superficie. Después aparece la de 2.900, que también corresponde a las margas, menos ricas en yeso, y la de 3.100, que es la misma superficial, influenciada por las margas suprayacentes. Hasta la estación 4 el rayo sísmico no ha salido de este horizonte. Veamos ahora la línea dromocrónica. Los cuatro puntos correspondientes están en una alineación, que nos determina la velocidad real del horizonte yesoso, que llamaremos

$$V_1 = 3.100 \text{ m/s.}$$

Hemos supuesto que se ha terminado el horizonte del yeso, porque de la estación 4 a la 5 la velocidad media experimenta un aumento brusco de 500 m/s., en un trayecto de sólo 100 metros de longitud. Desde la 5 a la 6 se nota otro aumento casi tan grande, puesto que es de 400. De modo que de la estación 4 a la 6 la velocidad media del

rayo sísmico ha aumentado 900 m/s. Esto nos prueba que ahora pasa por un horizonte al que corresponde una velocidad muy superior a la que tenía en el yeso.

Calculemos las velocidades parciales V_{4-5} y V_{5-6} ,

$$\begin{aligned}
 V_{4-5} &= \frac{0,500 - 0,400}{0,139 - 0,129} = 10.000 \text{ m/s.} \\
 V_{5-6} &= \frac{0,600 - 0,500}{0,152 - 0,139} = 7.700 \text{ m/s.} = V_2
 \end{aligned}$$

que nos demuestran que el rayo sísmico pasa por la capa salina. La primera velocidad de 10.000 m/s., es sólo aparente y debida al aumento instantáneo de la velocidad del rayo, al llegar a la tangencia con la capa de sal. El valor obtenido depende de la posición de la estación y puede aparecer hasta igual a infinito. La segunda caracteriza la sal de nuestra zona, según hemos demostrado en los trabajos efectuados en otras regiones de la misma cuenca salina. El valor de 7.700 m/s. es algo grande, a causa de que el banco de sal no termina en la estación 6, expresándose así para mayor claridad, sino algo después. Si tuviéramos otra estación entre la 6 y la 7, este valor disminuiría seguramente hasta 6.200 metros por segundo.

Desde la posición 6 a la 7 disminuye la velocidad media, de modo que el banco salino ha terminado seguramente antes de la segunda. El mismo fenómeno continúa en la 8, donde $V_3 = 3.500 \text{ m/s.}$

Los puntos 6, 7 y 8, determinan la velocidad de otro horizonte:

$$V_{6-8} = \frac{1,000 - 0,600}{0,286 - 0,152} = \frac{0,400}{0,134} = 3.000 \text{ m/s.} = V_3$$

El valor de 3.000 m/s. corresponde a margas poco cali-

zas, que se encuentran también debajo de la sal, en las zonas estudiadas.

En la posición 9, el valor de V_9 es de 3.600 m/s., que va aumentando, de una manera gradual, hasta el máximo de 4.100 m/s., en la estación 18, lo que nos indica que la onda sísmica recorre un horizonte constante, al que corresponde una velocidad mayor que la que antes tenía. En efecto, en la curva dromocrónica podemos comprobar una alineación de puntos, de coincidencia extraordinaria, entre las mencionadas estaciones. La velocidad del horizonte correspondiente es:

$$V_{8-18} = \frac{3,000 - 1,000}{0,738 - 0,286} = \frac{2,000}{0,452} = 4.400 \text{ m/s.} = V_4$$

que corresponde a las calizas margosas.

Como estas calizas constituyen el horizonte superior del Eoceno, en las zonas ya estudiadas, creemos poder afirmar que hemos salido ya del Oligoceno y que por consiguiente no encontraremos más sal.

Sin embargo, para aclarar el asunto y explicarnos una anomalía encontrada, vamos a continuar la discusión de las estaciones siguientes.

Entre las estaciones 18 y 19 se aprecia un aumento de 200 metros en la velocidad media, que alcanza el valor máximo de la línea igual a 4.300 m/s. Si este aumento se hubiera conservado en la posición siguiente podríamos creer que aun era debido al horizonte caracterizado por la velocidad de 4.400 m/s., pero como no sólo no ha sido así, sino que ha sufrido una disminución brusca tan grande como fue el aumento, existe otra causa distinta para haberle originado.

Examinamos la línea dromocrónica y encontramos, en

efecto, entre las posiciones 18 y 19, una velocidad aparente,

$$V_{18-19} = \frac{3,200 - 3,000}{0,745 - 0,638} = \frac{0,200}{0,007} = 29.000 \text{ m/s.}$$

que nos puede indicar la tangencia del rayo sísmico con una capa de sal, que no es otra más que la primera encontrada.

Por la indeterminación del eje del anticlinal, según hemos dicho anteriormente, la línea I no coincide con él, y la profundidad de la capa salina no es constante en todas las estaciones (supuesto el eje horizontal), sino que aumenta rápidamente, ya que, como veremos después, su buzamiento es de 65°. A consecuencia de ello hay otro rayo sísmico, que después de alcanzarla a una profundidad aproximada de 850 metros, vuelve a la superficie e impresiona el sismógrafo.

Basta desplazar la estación 19, treinta metros hacia el Norte, para que desaparezca la anomalía encontrada.

Entre las estaciones 20 y 21 se repite el fenómeno más atenuado, que tiene una explicación análoga. Después la velocidad media disminuye progresivamente, y las estaciones 21, 22 y 23 nos caracterizan otro horizonte, con la velocidad $V_5 = 3.900$ m/s., que es el que geológicamente está bajo el de las calizas margosas, ya conocido.

Para calcular la profundidad del yeso, o sea del techo de la sal, aplicaremos nuestra fórmula, para $t = 0^s,068$, medido en un dibujo de la línea a escala 10 veces mayor

$$h = \frac{0,068}{2} \cdot \frac{3,100}{\sqrt{1 - \left(\frac{31}{77}\right)^2}} = 0,034 \cdot \frac{3,100}{\sqrt{0,18}} = 0,034 \cdot \frac{3,100}{0,9} = 117 \text{ metros.}$$

El coeficiente K , de relación entre la profundidad y la distancia epicentral, resulta:

$$K = \frac{117}{400} = 0,29$$

Aplicando este coeficiente a los 200 metros de distancia entre las posiciones 4 y 5, resulta para la potencia del banco salino un límite mínimo de 58 metros. Ya hemos dicho que la sal continúa después de la estación 6, por lo que la potencia del banco es mayor, según se comprobará en las líneas sísmicas siguientes.

El muro del Oligoceno está a 250 metros, debajo del lugar del barreno, y el de las calizas margosas está a 660 metros de profundidad. Para el primer valor se ha considerado el valor de $K = 0,25$ y para el segundo de 0,22, según nos ha probado la experiencia.

Línea II.—A continuación de la línea I, y en su misma dirección; tiene por objeto comprobarla y conocer, además, el buzamiento del eje del anticlinal. Los valores de la velocidad media del rayo sísmico, al llegar a cada estación, están escritos en la tabla siguiente:

| | |
|--|--|
| $V_1 = \frac{0,100}{0,037} = 2.700 \text{ m/s.}$ | $V_7 = \frac{0,700}{0,168} = 4.200 \text{ m/s.}$ |
| $V_2 = \frac{0,200}{0,066} = 3.100 \text{ >}$ | $V_8 = \frac{0,900}{0,264} = 3.600 \text{ >}$ |
| $V_3 = \frac{0,300}{0,091} = 3.300 \text{ >}$ | $V_9 = \frac{1,100}{0,324} = 3.400 \text{ >}$ |
| $V_4 = \frac{0,400}{0,115} = 3.500 \text{ >}$ | $V_{10} = \frac{1,300}{0,357} = 3.600 \text{ >}$ |
| $V_5 = \frac{0,500}{0,140} = 3.600 \text{ >}$ | $V_{11} = \frac{1,500}{0,390} = 3.800 \text{ >}$ |
| $V_6 = \frac{0,600}{0,154} = 3.900 \text{ >}$ | $V_{12} = \frac{1,700}{0,452} = 3.800 \text{ >}$ |

| | |
|---|---|
| $V_{13} = \frac{1,900}{0,492} = 3.800 \text{ m/s.}$ | $V_{19} = \frac{3,100}{0,753} = 4.100 \text{ m/s.}$ |
| $V_{14} = \frac{2,100}{0,533} = 3.900 \text{ >}$ | $V_{20} = \frac{3,300}{0,696} = 4.100 \text{ >}$ |
| $V_{15} = \frac{2,300}{0,573} = 4.000 \text{ >}$ | $V_{21} = \frac{3,500}{0,806} = 4.300 \text{ >}$ |
| $V_{16} = \frac{2,500}{0,618} = 4.000 \text{ >}$ | $V_{22} = \frac{3,700}{0,890} = 4.200 \text{ >}$ |
| $V_{17} = \frac{2,700}{0,681} = 4.000 \text{ >}$ | $V_{23} = \frac{4,100}{0,968} = 4.200 \text{ >}$ |
| $V_{18} = \frac{0,290}{0,727} = 4.000 \text{ >}$ | $V_{24} = \frac{4,300}{1,005} = 4.300 \text{ >}$ |

El primer valor, de 2.700 m/s., figura 88, corresponde a una ligera cubierta detrítica, convertida en terrenos de labor, que tiene un espesor muy pequeño.

Entre las estaciones 1 y 5 se presentan las margas ye-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE BELLMUNT
Línea dromocrónica número 2

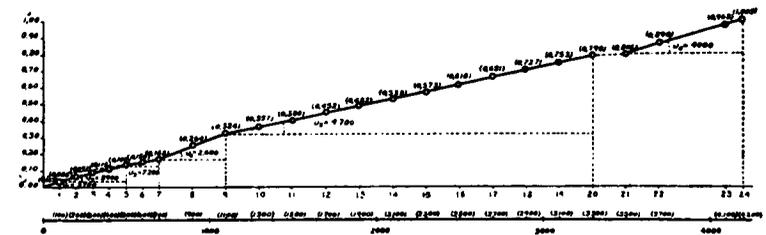


Fig. 88.

sas, propiamente dichas, a las que corresponde una velocidad, en la línea dromocrónica, de

$$V_{0-5} = \frac{0,500}{0,140} = 3.600 \text{ m/s.} = V_4$$

Se ha considerado este horizonte desde el origen, por ser insignificante el espesor de la capa vegetal.

A continuación, la velocidad media de la onda sísmica tiene un aumento brusco de 300 m/s., en la distancia de 100 metros, que se repite en la posición siguiente, para alcanzar el valor máximo de 4.200 m/s.

Las velocidades parciales entre las posiciones de que hablamos son:

$$V_{5-6} = \frac{0,600 - 0,500}{0,154 - 0,140} = \frac{0,100}{0,014} = 7.200 \text{ m/s.}$$

$$V_{6-7} = \frac{0,700 - 0,600}{0,168 - 0,154} = \frac{0,100}{0,014} = 7.200 \text{ m/s.} = V_2$$

Vemos, por lo tanto, que se trata de la capa de sal; que ésta no ha terminado en la posición 7 y que ha empezado algo antes de la 6, por no haberse encontrado el aumento instantáneo de velocidad, que corresponde a la tangente del rayo sísmico, con la superficie de la sal.

De nuevo disminuye rápidamente la velocidad media en 600 m/s. para la posición 8 y en 400 más al llegar a la 9, donde tiene el valor de 3.400 m/s. Volvemos a encontrar el horizonte de margas situado bajo la sal, caracterizado por la velocidad,

$$V_{7-9} = \frac{1,100 - 0,700}{0,324 - 0,168} = \frac{0,400}{0,156} = 2.600 \text{ m/s.} = V_3$$

Tanto este valor como el de 3.000 m/s., obtenido en la línea I, son sólo aparentes y demasiado pequeños, por reflejarse en ellos el retraso instantáneo del rayo sísmico, al pasar bajo el manto salino. Los valores numéricos obtenidos dependen, principalmente, de la situación de las estaciones finales.

Entre las estaciones 9 y 20, la velocidad media aumenta de una manera uniforme y paulatina, desde 3.400 m/s. hasta 4.100. La línea dromocrónica nos indica una alineación extraordinaria entre los puntos correspondientes a todas las estaciones. La velocidad que corresponde a este horizonte tan bien caracterizado es,

$$V_{9-20} = \frac{3,300 - 1,100}{0,796 - 0,324} = \frac{2,200}{0,472} = 4.700 \text{ m/s.} = V_4$$

Se trata de las calizas margosas, que ya hemos mencionado.

Entre las estaciones 20 y 21 encontramos el mismo aumento brusco de velocidad, de la línea anterior,

$$V_{20-21} = \frac{3,500 - 3,300}{0,806 - 0,796} = 20.000 \text{ m/s.}$$

debido a las mismas causas.

Después, la línea dromocrónica nos indica un nuevo horizonte, caracterizado por la velocidad,

$$V_{21-24} = \frac{4,300 - 3,500}{1,005 - 0,806} = \frac{0,800}{0,199} = 4.000 \text{ m/s.} = V_5$$

La profundidad de la sal en el barreno será:

$$h = 0,034 \cdot \frac{3.600}{\sqrt{1 - \left(\frac{36}{72}\right)^2}} = 0,034 \cdot \frac{3.600}{\sqrt{75}} = 0,034 \times 4,300 = 146 \text{ metros.}$$

Se ha tomado el valor $V_1 = 3.600$ m/s., para tener en cuenta la cubierta detrítica. La velocidad media, hasta la estación 5, sólo alcanza ese valor.

El coeficiente K , resulta también igual a 0,29.



La potencia del banco salino será superior a 58 metros, como antes. El muro del Oligoceno está aquí a 275 metros bajo el barreno y el de las calizas margosas eocenas a 726. También se han tomado los valores de K de 0,25 y 0,22 respectivamente, por decrecer con la profundidad, según hemos comprobado experimentalmente.

Antes de pasar adelante en la interpretación de las mediciones sísmicas, vamos a comparar los resultados obtenidos en las dos líneas estudiadas.

Tanto en la primera como en la segunda hemos obtenido cinco horizontes geológicos distintos, caracterizados respectivamente por las velocidades:

$$\text{Línea I} \left\{ \begin{array}{l} V_1 = 3.100 \text{ m/s.} \\ V_2 = 7.200 \text{ } \gg \\ V_3 = 3.000 \text{ } \gg \\ V_4 = 4.400 \text{ } \gg \\ V_5 = 3.900 \text{ } \gg \end{array} \right. \quad \text{Línea II} \left\{ \begin{array}{l} V_1 = 3.600 \text{ m/s.} \\ V_2 = 7.200 \text{ } \gg \\ V_3 = 2.600 \text{ } \gg \\ V_4 = 4.700 \text{ } \gg \\ V_5 = 4.000 \text{ } \gg \end{array} \right.$$

Salta a la vista la gran concordancia existente entre los valores obtenidos que, casi nunca, serán exactamente iguales, por no ser la materia clástica de las formaciones sedimentarias homogénea ni isótropa.

Aun se comprende mejor la analogía si comparamos los espesores de los mismos horizontes geológicos, deducidos de cada línea independientemente.

$$\text{Línea I} \left\{ \begin{array}{l} h_1 = 117 \text{ metros} \\ h_2 = >58 \text{ } \gg \\ h_3 = 133 \text{ } \gg \\ h_4 = 410 \text{ } \gg \end{array} \right. \quad \text{Línea II} \left\{ \begin{array}{l} h_1 = 146 \text{ metros} \\ h_2 = >58 \text{ } \gg \\ h_3 = 129 \text{ } \gg \\ h_4 = 451 \text{ } \gg \end{array} \right.$$

Estos espesores están contados según la dirección vertical y no son, por consiguiente, la potencia de las forma-

ciones. No se considera el del último horizonte, porque no ha sido completamente atravesado por el rayo sísmico, a causa de no tener las líneas sísmicas longitud suficiente.

Al comparar los valores escritos vemos que el eje del anticlinal buza hacia el Oeste, y que el menor espesor de los yesos en la línea I es debido a la denudación. Por eso también les corresponde una velocidad menor.

La diferencia en el último horizonte puede ser ocasionada por la formación geológica misma que, en realidad, tenga alguna más potencia o quizás, mejor aún, por una ligera separación de la última parte de cada línea, con relación al eje del anticlinal.

Línea III.—Tanto esta línea como la IV, se refieren al estudio de la llanura. Nos ocupamos ahora de ellas, antes de las correspondientes al anticlinal, para seguir el orden cronológico con el que se han efectuado.

Las velocidades medias del rayo sísmico, en las estaciones observadas en esta línea, son las siguientes:

$$\begin{array}{ll} V_1 = \frac{0,100}{0,054} = 1.900 \text{ m/s.} & V_8 = \frac{1,000}{0,308} = 3.300 \text{ m/s.} \\ V_2 = \frac{0,200}{0,100} = 2.000 \text{ } \gg & V_9 = \frac{1,200}{0,370} = 3.300 \text{ } \gg \\ V_3 = \frac{0,300}{0,124} = 2.400 \text{ } \gg & V_{10} = \frac{1,440}{0,440} = 3.300 \text{ } \gg \\ V_4 = \frac{0,400}{0,151} = 2.650 \text{ } \gg & V_{11} = \frac{1,635}{0,495} = 3.300 \text{ } \gg \\ V_5 = \frac{0,500}{0,174} = 2.900 \text{ } \gg & V_{12} = \frac{1,843}{0,559} = 3.300 \text{ } \gg \\ V_6 = \frac{0,600}{0,202} = 3.000 \text{ } \gg & V_{13} = \frac{2,043}{0,617} = 3.300 \text{ } \gg \\ V_7 = \frac{0,800}{0,244} = 3.300 \text{ } \gg & V_{14} = \frac{2,243}{0,656} = 3.400 \text{ } \gg \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 V_{15} &= \frac{2,443}{0,709} = 3.450 \text{ m/s.} & V_{21} &= \frac{3,660}{0,953} = 3.800 \text{ m/s.} \\
 V_{16} &= \frac{2,650}{0,744} = 3.550 \text{ } & V_{22} &= \frac{3,860}{0,994} = 3.900 \text{ } \\
 V_{17} &= \frac{2,850}{0,786} = 3.600 \text{ } & V_{23} &= \frac{4,100}{1,049} = 3.900 \text{ } \\
 V_{18} &= \frac{3,050}{0,824} = 3.700 \text{ } & V_{24} &= \frac{4,342}{1,108} = 3.900 \text{ } \\
 V_{19} &= \frac{3,250}{0,869} = 3.750 \text{ } & V_{25} &= \frac{4,550}{1,167} = 3.900 \text{ } \\
 V_{20} &= \frac{3,450}{0,902} = 3.800 \text{ }
 \end{aligned}$$

Las dos primeras corresponden a la cobertera sabulosa, que hemos considerado como prolongación de las molasas de Tárrega, con la velocidad $V_1 = 2.000$ m/s., figura 89. Entre las posiciones 2 y 3 cambia el horizonte geo-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE BELLMUNT
 Línea dromocrónica número 3

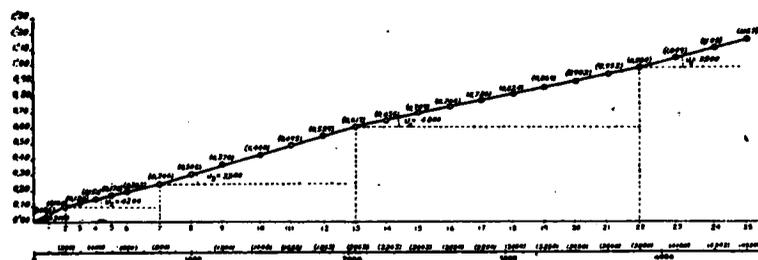


Fig. 89.

lógico, puesto que la onda sísmica sufre un aumento brusco de velocidad, que asciende a 400 m/s. Este aumento progresivo continúa hasta la estación 7, desde donde permanece estacionario en 3.300 m/s. El segundo horizon-

te geológico queda, pues, comprendido entre las posiciones sísmicas 2 y 7. La línea dromocrónica nos comprueba lo que decimos, al determinar una alineación completa, entre los puntos representados. La velocidad que corresponde al horizonte así determinado, es

$$V_{2-7} = \frac{0,800 - 0,200}{0,244 - 0,100} = \frac{0,600}{0,144} = 4.200 \text{ m/s.} = V_2.$$

La velocidad V_2 , determina las calizas margosas, que le constituyen.

Desde la estación 7 a la 13, la velocidad media permanece rigurosamente constante e igual a 3.300 m/s. Esta es, pues, la que corresponde al horizonte atravesado, como también resulta exactamente de la línea dromocrónica,

$$V_{7-13} = \frac{2,043 - 0,800}{0,617 - 0,244} = \frac{1,243}{0,373} = 3.300 \text{ m/s.} = V_3.$$

Hemos caracterizado sísmicamente, con verdadera firmeza, el horizonte de las margas sabulosas de color pardo que alternan con las de color rojo y gris, también de naturaleza arcillosa, a las que corresponde esta velocidad.

Entre las estaciones 13 y 22 aumenta progresivamente la velocidad media, que llega a alcanzar el valor de 3.900 metros por segundo. Hemos atravesado con el rayo sísmico otra formación geológica distinta de la anterior.

Para caracterizarla examinemos la línea dromocrónica, que nos manifiesta una alineación completa de todos los puntos señalados y nos determina la velocidad buscada

$$V_{13-22} = \frac{3,860 - 2,043}{0,994 - 0,617} = \frac{1,817}{0,377} = 4.800 \text{ m/s.} = V_4.$$

El horizonte es, pues, el de las calizas comprendidas entre las margas sabulosas y los yesos.

A partir de la estación 22 la velocidad media permanece constante, lo que nos prueba el cambio de horizonte geológico a otro de velocidad inferior.

Entre las estaciones 22 y 23 la velocidad aparente es de 4.200 m/s.; entre las 23 y 24 de 4.100 m/s.; y entre las 24 y 25 de 3.900. Vemos que van disminuyendo rápidamente, por lo que los primeros valores deben estar aun influidos por el horizonte de las calizas y en el nuevo debe corresponder una velocidad aun menor que la de 3.900 m/s. Por eso creemos que es el de los yesos, que se caracteriza por esos valores y que, además, coincide con su posición geológica.

$$V_5 = 3.900 \text{ m/s.}$$

Hemos llegado a una profundidad de investigación de 1.000 metros, sin haber cortado la sal.

Las enormes dificultades para eliminar los ruidos atmosféricos en los receptores radio-telegráficos de los sísmógrafos, para una distancia al emisor de gran consideración, teniendo en cuenta su potencia, nos ha decidido a empezar otra línea, dirigida en sentido contrario, para ir subiendo geológicamente, por la dirección y el buzamiento de los estratos. En esa línea, que estudiaremos a continuación, hemos alcanzado el nivel de la sal, sin pasar de la distancia epicentral de 4.500 metros.

Al aplicar el procedimiento de cálculo explicado, encontramos los siguientes valores para la potencia de los distintos horizontes geológicos encontrados:

| | | |
|-----------------|-------------------------------|--------------------|
| $h_1 = 58$ mts. | $K = 0,29$ (molinas) | $V_1 = 2.000$ m/s. |
| $h_2 = 150$ | $K = 0,25$ (calizas margosas) | $V_2 = 4.200$ m/s. |
| $h_3 = 310$ | $K = 0,25$ (margas sabulosas) | $V_3 = 3.300$ m/s. |
| $h_4 = 400$ | $K = 0,22$ (calizas) | $V_4 = 4.800$ m/s. |
| $h_5 > 151$ | $K = 0,22$ (margas y yesos) | $V_5 = 3.900$ m/s. |

Línea IV.—Según acabamos de decir esta línea va dirigida de Oeste a Este. Las velocidades medias respectivas correspondientes a cada estación son:

| | |
|--|---|
| $V_1 = \frac{0,100}{0,053} = 1.900$ m/s. | $V_{11} = \frac{2,650}{0,741} = 3.600$ m/s. |
| $V_2 = \frac{0,200}{0,089} = 2.250$ » | $V_{12} = \frac{3,000}{0,818} = 3.700$ » |
| $V_3 = \frac{0,300}{0,113} = 2.650$ » | $V_{13} = \frac{3,300}{0,872} = 3.800$ » |
| $V_4 = \frac{0,400}{0,137} = 2.900$ » | $V_{14} = \frac{3,550}{0,929} = 3.800$ » |
| $V_5 = \frac{0,700}{0,231} = 3.000$ » | $V_{15} = \frac{3,790}{1,004} = 3.800$ » |
| $V_6 = \frac{1,000}{0,332} = 3.000$ » | $V_{16} = \frac{3,900}{1,034} = 3.900$ » |
| $V_7 = \frac{1,327}{0,427} = 3.100$ » | $V_{17} = \frac{4,000}{1,027} = 3.900$ » |
| $V_8 = \frac{1,627}{0,504} = 3.300$ » | $V_{18} = \frac{4,125}{1,052} = 4.100$ » |
| $V_9 = \frac{1,933}{0,587} = 3.300$ » | $V_{19} = \frac{4,240}{1,088} = 4.200$ » |
| $V_{10} = \frac{2,310}{0,654} = 3.500$ » | $V_{20} = \frac{4,450}{1,134} = 4.400$ » |

Después del influjo de la tierra vegetal, con la pequeña velocidad de 1.900 m/s., figura 90, encontramos las molinas con la de 2.250 m/s. = V_1 . Al llegar a la estación 3 encontramos un aumento rápido de velocidad media de 400 metros por segundo, que continúa con otro de 250, en la estación siguiente. Hemos cortado el horizonte subyacente con el rayo sísmico. La velocidad que le corresponde es:

$$V_{2-4} = \frac{0,400 - 0,200}{0,137 - 0,089} = \frac{0,200}{0,048} = 4.200 \text{ m/s.} = V_2$$

Esta velocidad corresponde a las calizas margosas, como en el perfil anterior.

Entre las estaciones 4 y 5 aun hay un aumento de velo-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE BELLMUNT
Línea dromocrónica número 4

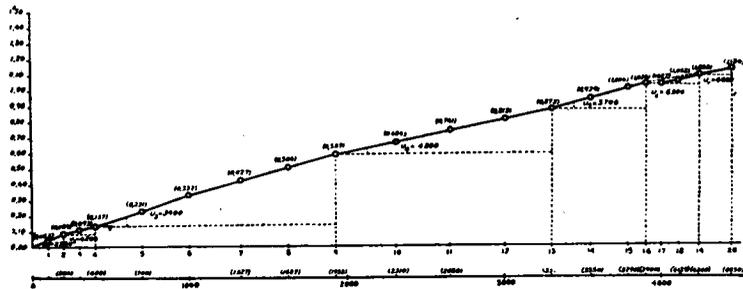


Fig. 90.

cidad media de 100 m/s., que nos indica no haber alcanzado en la estación 4, el muro de las calizas margosas. Como no tiene importancia para nuestro problema la delimitación exacta de este horizonte, no hemos interpolado una nueva estación, entre las dos últimamente citadas.

Entre las estaciones 4 y 7 la velocidad media permanece casi constante, lo que nos indica un nuevo horizonte, al que tiene que corresponder menor velocidad que al anterior, toda vez que ésta aumentaría en caso contrario. Su velocidad correspondiente es

$$V_{4-7} = \frac{1,327 - 0,400}{0,427 - 0,137} = \frac{0,927}{0,290} = 3,200 \text{ m/s.}$$

que nos demuestra lo que decimos, puesto que es la de las margas sabulosas encontradas en el perfil anterior.

Desde la estación 7 a la 9 también hay constancia en la

velocidad, aunque su valor sea algo más elevado. El valor que les corresponde es:

$$V_{7-9} = \frac{1,933 - 1,327}{0,587 - 0,427} = \frac{0,606}{0,160} = 3,800 \text{ m/s.}$$

Este nuevo valor nos pone de manifiesto que las margas sabulosas han aumentado su cantidad de caliza. Como no es posible separar los dos horizontes señalados por ser insensible y gradual el tránsito del primero al segundo le hemos considerado como uno solo, al que corresponde una velocidad de

$$V_{4-9} = \frac{1,933 - 0,400}{0,587 - 0,137} = \frac{1,533}{0,450} = 3,400 \text{ m/s.} = V_3$$

Este valor no ha resultado igual al promedio de los dos anteriores, por ser el horizonte superior más potente que el inferior, según se aprecia claramente en la línea dromocrónica.

A partir de la estación 10, que ya ha tenido otro aumento de velocidad con respecto a la 9, ésta va aumentando gradualmente hasta la 13; el horizonte correspondiente se caracteriza por la velocidad,

$$V_{9-13} = \frac{3,300 - 1,933}{0,872 - 0,587} = \frac{1,367}{0,285} = 4,800 \text{ m/s.} = V_4$$

que corresponde a verdaderas calizas.

Desde la estación 13 se presenta un nuevo horizonte geológico, con menor velocidad del anterior, por permanecer constante la media desde ésta hasta la 16, con el valor de 3.800 metros por segundo.

El horizonte correspondiente tiene por velocidad,

$$V_{13-16} = \frac{3,900 - 3,300}{1,034 - 0,872} = \frac{0,600}{0,162} = 3.700 \text{ m/s.} = V_6$$

que corresponde a las margas yesosas.

Desde la posición 16 a la 17 se presenta un enorme aumento en la velocidad del rayo sísmico, que no influye en la velocidad media por estar situadas en tan pequeña distancia. El aumento aparente es de

$$V_{16-17} = \frac{4,000 - 3,900}{-1,027 + 1,034} = \frac{0,100}{0,007} = 21.000 \text{ m/s.}$$

lo que parece indicarnos la tangencia del rayo sísmico con el techo de la sal. Así debe ser, en efecto, puesto que en la posición 18 se nota el gran aumento de la velocidad media en 200 m/s., y en la aparente de

$$V_{16-18} = \frac{4,125 - 3,900}{1,052 - 1,034} = \frac{0,225}{0,018} = 12.500 \text{ m/s.}$$

En la siguiente, toda la energía sísmica pasa por el horizonte salino y el rayo adquiere la velocidad que le corresponde.

$$V_{16-19} = \frac{4,240 - 3,900}{1,088 - 1,034} = \frac{0,340}{0,054} = 6.300 \text{ m/s.} = V_6.$$

Las estaciones sísmicas números 16 y 19 deben corresponder, muy aproximadamente, al techo y muro de la formación salífera, puesto que en la 20 la velocidad es de

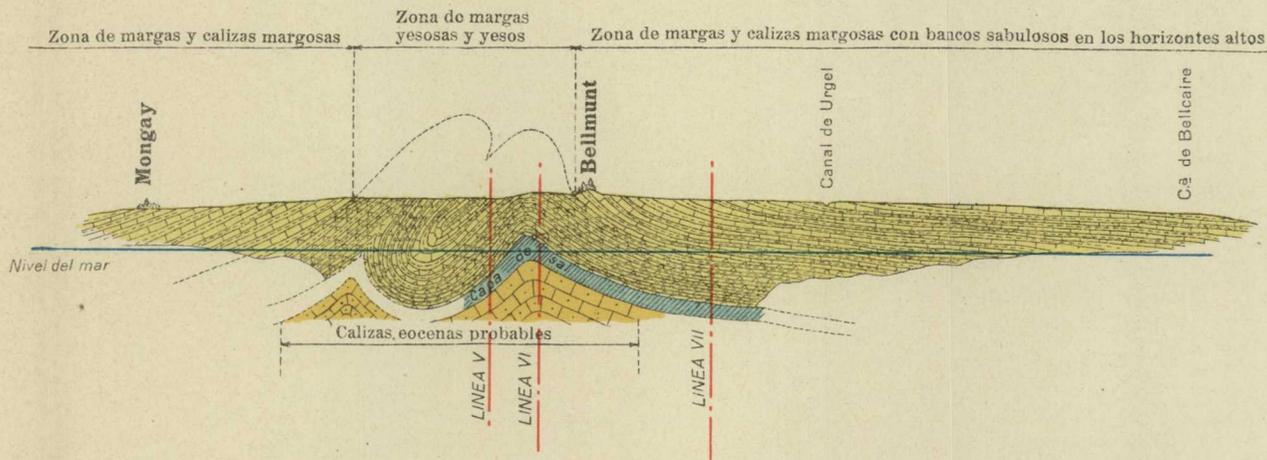
$$V_{16-20} = \frac{4,450 - 3,900}{1,134 - 1,034} = \frac{0,550}{0,100} = 5.500 \text{ m/s.}$$

que ya es inferior a la característica de la sal.

En la posición 19 empieza, por lo tanto, otro horizonte caracterizado por la velocidad de

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE BELLMUNT

CORTE GEOLÓGICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL QUE PASA POR MONGAY Y BELLMUNT



Escala 1:50.000

$$V_{19-20} = \frac{4,450 - 4,240}{1,134 - 1,088} = \frac{0,210}{0,046} = 4.600 \text{ m/s.} = V_7.$$

correspondiente a unas calizas.

Creemos muy probable que esta velocidad disminuya en las estaciones siguientes, que no hemos efectuado por considerarlas innecesarias para la resolución del problema.

La comparación entre las dos líneas observadas nos demuestra que hemos encontrado en la última los mismos horizontes geológicos de la anterior y, además, los caracterizados por las velocidades V_6 y V_7 , correspondientes a la sal y al substratum sobre el que descansa.

Las profundidades de los distintos horizontes determinados en la línea son:

| | | | | | | |
|-------------|------|------------|--------------------|-------|---------------|------|
| $h_1 = 60$ | mts. | $K = 0,29$ | (moladas) | ..... | $V_1 = 2.250$ | m/s. |
| $h_2 = 49$ | | $K = 0,25$ | (calizas margosas) | | $V_2 = 4.200$ | |
| $h_3 = 383$ | | $K = 0,25$ | (margas sabulosas) | | $V_3 = 3.400$ | |
| $h_4 = 302$ | | $K = 0,22$ | (calizas) | ..... | $V_4 = 4.800$ | |
| $h_5 = 120$ | | $K = 0,22$ | (margas y yesos) | .. | $V_5 = 3.700$ | |
| $h_6 = 75$ | | $K = 0,22$ | (sal) | ..... | $V_6 = 6.300$ | |

Ya hemos dicho que el horizonte V_2 no está bien delimitado del V_3 , por lo que aumenta el valor de h_3 en la misma cantidad que disminuye el de h_2 .

Si comparamos las profundidades obtenidas hasta el yeso en las dos líneas, obtenemos una disminución de 114 metros en la última considerada, que nos demuestra la hipótesis que hicimos, respecto al sentido del buzamiento de los estratos.

Con los datos obtenidos en esta línea y en la II hemos trazado el corte geológico de la lámina XVII.

Línea V.—Volvemos a estudiar el anticlinal de Bellmont

con las líneas V, VI y VII. La que ahora consideramos está situada en el flanco Norte del anticlinal, a 100 metros de su eje (véase el plano general). Las velocidades medias que le corresponden son:

$$\begin{array}{ll}
 V_1 = \frac{0,100}{0,044} = 2.300 \text{ m/s.} & V_{15} = \frac{1,500}{0,390} = 3.900 \text{ m/s.} \\
 V_2 = \frac{0,200}{0,057} = 3.500 \text{ } \gg & V_{16} = \frac{1,600}{0,420} = 3.800 \text{ } \gg \\
 V_3 = \frac{0,300}{0,093} = 3.200 \text{ } \gg & V_{17} = \frac{1,720}{0,442} = 3.900 \text{ } \gg \\
 V_4 = \frac{0,400}{0,125} = 3.200 \text{ } \gg & V_{18} = \frac{1,840}{0,481} = 3.800 \text{ } \gg \\
 V_5 = \frac{0,500}{0,170} = 2.900 \text{ } \gg & V_{19} = \frac{2,040}{0,513} = 4.000 \text{ } \gg \\
 V_6 = \frac{0,600}{0,187} = 3.200 \text{ } \gg & V_{20} = \frac{2,240}{0,537} = 4.200 \text{ } \gg \\
 V_7 = \frac{0,700}{0,207} = 3.400 \text{ } \gg & V_{21} = \frac{2,440}{0,599} = 4.100 \text{ } \gg \\
 V_8 = \frac{0,800}{0,232} = 3.400 \text{ } \gg & V_{22} = \frac{2,640}{0,670} = 4.000 \text{ } \gg \\
 V_9 = \frac{0,900}{0,242} = 3.700 \text{ } \gg & V_{23} = \frac{2,840}{0,683} = 4.100 \text{ } \gg \\
 V_{10} = \frac{1,000}{0,275} = 3.650 \text{ } \gg & V_{24} = \frac{3,040}{0,736} = 4.100 \text{ } \gg \\
 V_{11} = \frac{1,100}{0,293} = 3.800 \text{ } \gg & V_{25} = \frac{3,240}{0,786} = 4.100 \text{ } \gg \\
 V_{12} = \frac{1,200}{0,337} = 3.800 \text{ } \gg & V_{18'} = \frac{1,900}{0,493} = 3.900 \text{ } \gg \\
 V_{13} = \frac{1,300}{0,339} = 3.800 \text{ } \gg & V_{18''} = \frac{1,970}{0,494} = 4.000 \text{ } \gg \\
 V_{14} = \frac{1,400}{0,386} = 3.600 \text{ } \gg & V_{19'} = \frac{2,140}{0,518} = 4.100 \text{ } \gg
 \end{array}$$

Pasado el efecto producido por la cubierta detrítica, en la velocidad del rayo sísmico, $V_1 = 2.500$ m/s., ésta adquiere un valor constante, figura 91, hasta la estación 6. En la posición 2, para la cual $V_2 = 3.500$ m/s., se presenta

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE BELLMUNT
 Línea dromocrónica número 5

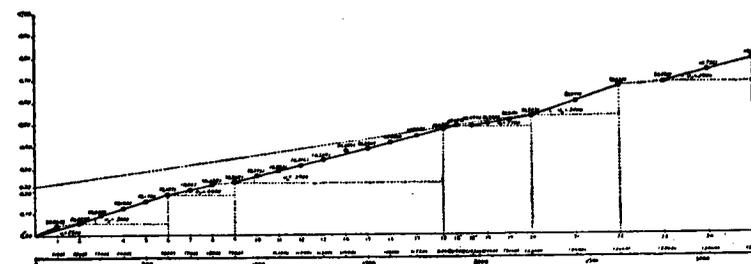


Fig. 91.

un aumento aparente producido por el paso del rayo sísmico del primer horizonte al segundo, que caracterizamos por el valor,

$$V_{2-6} = \frac{0,600 - 0,200}{0,187 - 0,057} = \frac{0,400}{0,130} = 3.100 \text{ m/s.} = V_2$$

Al pasar de la estación 6 a la 7 la velocidad media experimenta un incremento de 200 m/s. que se conserva hasta la 8.

La velocidad que corresponde a los estratos atravesados, es:

$$V_{6-8} = \frac{0,800 - 0,600}{0,232 - 0,187} = \frac{0,200}{0,045} = 4.400 \text{ m/s.} = V_8$$

que nos indica un horizonte de margas calizas de poco espesor.

Entre las posiciones 8 y 9 el aumento brusco de la ve-

locidad media asciende a 300 m/s., y ésta llega 3.700 m/s., que crece ligeramente y se sostiene después, alrededor de 3.800, hasta la estación 18.

El nuevo horizonte geológico atravesado tiene una característica de velocidad:

$$V_{9-18} = \frac{1,840 - 0,900}{0,481 - 0,242} = \frac{0,940}{0,239} = 3.900 \text{ m/s.} = V_4$$

La estación siguiente, que hemos llamado 18' por haber sido interpolada después de haber observado todo el perfil, ya ha sufrido el aumento que corresponde al horizonte subyacente y por eso no la consideramos como formando parte de la alineación comprendida entre los puntos 9 y 18 de la línea dromocrónica.

Este horizonte debe ser el de las margas yesosas, algo más puras que en las líneas I y II, por estar más resguardadas de la influencia de los agentes exteriores.

Entre las estaciones 18' y 18'' hay un enorme aumento de velocidad aparente del rayo sísmico

$$V_{18'-18''} = \frac{1,970 - 1,900}{0,494 - 0,493} = \frac{0,070}{0,001} = 70.000 \text{ m/s.}$$

que nos indica el encuentro de otro horizonte al que corresponde más velocidad que la media alcanzada por el rayo sísmico. Las estaciones anteriores, unidas a las 19, 19' y 20, nos han definido este horizonte que no es otro sino el de la sal,

$$V_{18'-20} = \frac{2,240 - 1,970}{0,537 - 0,493} = \frac{0,340}{0,044} = 7.700 \text{ m/s.} = V_5$$

Observemos de paso, como comprobación, que en la estación 20 el rayo ha alcanzado el valor máximo de la velocidad de toda la línea, e igual a 4.200 m/s. En la 21 dis-

minuye a 4.100 y en la 22 a 4.000 m/s. Ambas nos determinan otro horizonte estratigráfico,

$$V_{20-22} = \frac{2,640 - 2,240}{0,670 - 0,537} = \frac{0,400}{0,133} = 3.000 \text{ m/s.} = V_6$$

que concuerda perfectamente con el determinado en las líneas I y II bajo el horizonte salino.

En la posición sísmica número 23 observamos un nuevo incremento de la velocidad media de 100 m/s., que produce un efecto aparente muy grande.

$$V_{22-23} = \frac{2,840 - 2,640}{0,683 - 0,670} = \frac{0,200}{0,013} = 15.200 \text{ m/s.}$$

debido al paso de las ondas por otro horizonte de poco espesor y de mayor velocidad que el anterior. El horizonte siguiente queda bien determinado por las estaciones 24 y 25, en las que no ha variado la velocidad media de aquéllas, y puede ser un nuevo paquete de capas yesosas.

$$V_{23-25} = \frac{3,240 - 2,840}{0,786 - 0,683} = \frac{0,400}{0,103} = 3.900 \text{ m/s.} = V_7.$$

Lo más probable es que debajo del horizonte de las margas pobres en cal de la velocidad V_6 , haya otro banco salino, cuyo espesor no es suficiente para quedar determinado. Sin embargo, también puede suceder que se trate de las calizas margosas, determinadas en los perfiles I y II, por la velocidad de 4.400 m/s., que en éste no se han manifestado, por la misma razón de su pequeña potencia. A continuación deben estar los yesos determinados por V_7 .

Para calcular la profundidad del techo de la sal, em-

plearemos el procedimiento ya explicado. La velocidad V_1 de la fórmula la hacemos igual a la velocidad media hasta la posición 18, o sea al valor de 3.800 m/s. Ya hemos advertido que en la 18' se manifiesta ya el aumento que ha de sufrir la velocidad del rayo sísmico. La V_2 es desde luego igual a 7.700 m/s.

$$h = 0,11 \times \frac{3.800}{\sqrt{1 - \left(\frac{38}{77}\right)^2}} = 0,11 \frac{3.800}{\sqrt{1 - 0,25}} =$$

$$= 0,11 \frac{3.800}{0,865} = 483 \text{ metros.}$$

El coeficiente K resulta igual a 0,25, como anteriormente. El espesor del banco salino, contado según la dirección vertical, será:

$$0,25 (2.240 - 1.900) = 85 \text{ metros.}$$

El horizonte de los yesos, en el que aparecen las velocidades V_2 , V_3 y V_4 , podemos caracterizarlo por su promedio, exactamente igual al valor de 3.800 m/s., tomado para el cálculo.

Podemos, por consiguiente, resumir este perfil con los valores siguientes:

$V_1 = 3.800$ m/s. (margas yesosas)..... $h = 483$ metros (según la vertical).

$V_2 = 7.700$ m/s. (sal) $h = 85$ metros (según la vertical).

$V_3 = 3.000$ m/s. (margas pobres en cal) .. $h = 100$ metros (según la vertical).

Línea VI.—Está estudiada, precisamente, sobre el eje del anticlinal. Los valores de la velocidad media del rayo sísmico son:

$$V_1 = \frac{0,100}{0,035} = 2.900 \text{ m/s.} \quad V_{12} = \frac{1,710}{0,449} = 3.800 \text{ m/s.}$$

$$V_2 = \frac{0,200}{0,072} = 2.800 \text{ } \rangle \quad V_{13} = \frac{1,810}{0,457} = 4.000 \text{ } \rangle$$

$$V_3 = \frac{0,300}{0,099} = 3.000 \text{ } \rangle \quad V_{14} = \frac{1,910}{0,481} = 4.000 \text{ } \rangle$$

$$V_4 = \frac{0,400}{0,126} = 3.200 \text{ } \rangle \quad V_{15} = \frac{2,010}{0,511} = 3.900 \text{ } \rangle$$

$$V_5 = \frac{0,500}{0,161} = 3.100 \text{ } \rangle \quad V_{16} = \frac{2,110}{0,520} = 4.100 \text{ } \rangle$$

$$V_6 = \frac{0,600}{0,182} = 3.300 \text{ } \rangle \quad V_{17} = \frac{2,210}{0,536} = 4.100 \text{ } \rangle$$

$$V_7 = \frac{0,805}{0,238} = 3.400 \text{ } \rangle \quad V_{18} = \frac{2,410}{0,619} = 3.900 \text{ } \rangle$$

$$V_8 = \frac{1,000}{0,291} = 3.400 \text{ } \rangle \quad V_{19} = \frac{2,810}{0,724} = 3.900 \text{ } \rangle$$

$$V_9 = \frac{1,200}{0,360} = 3.350 \text{ } \rangle \quad V_{20} = \frac{1,100}{0,331} = 3.300 \text{ } \rangle$$

$$V_{10} = \frac{1,400}{0,358} = 3.900 \text{ } \rangle \quad V_{21} = \frac{1,310}{0,388} = 3.400 \text{ } \rangle$$

$$V_{11} = \frac{1,610}{0,429} = 3.700 \text{ } \rangle \quad V_{22} = \frac{1,500}{0,415} = 3.600 \text{ } \rangle$$

La cubierta detrítica tiene más espesor que en la línea anterior, por manifestarse su velocidad $V_1 = 2.800$ m/s., figura 92, hasta la estación 2. Después de ésta, la velocidad media crece paulatinamente hasta la estación 9'. Los puntos marcados en la dromocrónica coinciden en una alineación que nos caracteriza la velocidad correspondiente a las margas yesosas,

$$V_{2-9'} = \frac{1,310 - 0,200}{0,388 - 0,072} = \frac{1,110}{0,316} = 3.500 \text{ m/s.} = V_2.$$

Este valor es algo menor que el del perfil anterior, a causa del aumento de potencia de la capa superior, más descompuesta por las acciones exteriores.

Entre las estaciones 9' y 10, encontramos la tangencia del rayo sísmico con el techo de la sal,

$$V_{9'-10} = \frac{1,400 - 1,310}{0,390 - 0,388} = \frac{0,090}{0,002} = 45.000 \text{ m/s.}$$

Todas las estaciones siguientes, hasta la 17 inclusive, determinan este horizonte, cuya característica es:

$$V_{9'-17} = \frac{2,210 - 1,310}{0,536 - 0,388} = \frac{0,900}{0,148} = 6.100 \text{ m/s.} = V_3.$$

Hasta la estación 13, desde la 9', el valor de la velocidad es, como anteriormente, de 7.200 m/s. Después dis-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE BELLMUNT
 Línea dromocrónica número 6

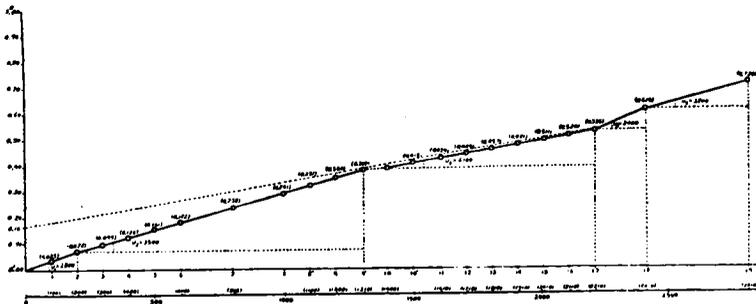


Fig. 92.

minuye por las impurezas margosas intercaladas en los bancos salinos.

Entre las estaciones 17 y 18 encontramos de nuevo las margas subyacentes a la sal.

$$V_{17-18} = \frac{2,410 - 2,210}{0,619 - 0,536} = \frac{0,200}{0,083} = 2.400 \text{ m/s.} = V_4.$$

Y, por último, encontramos el horizonte geológico del perfil anterior, entre las estaciones 18 y 19,

$$V_{18-19} = \frac{2,810 - 2,410}{0,724 - 0,619} = \frac{0,400}{0,105} = 3.800 \text{ m/s.} = V_5.$$

La profundidad del techo de la sal es:

$$h = \frac{0,16}{2} \cdot \frac{3.400}{\sqrt{1 - \left(\frac{34}{61}\right)^2}} = 0,08 \cdot \frac{3.400}{\sqrt{0,69}} = 0,08 \times \times 4096 = 328 \text{ metros.}$$

Hemos tomado el valor de $V_1 = 3.400 \text{ m/s.}$, por ser ésta la velocidad media hasta la estación 9'.

El valor de K resulta:

$$K = \frac{328}{1,310} = 0,25$$

y la potencia del banco de sal

$$(2,210 - 1,310) \times 0,25 = 225 \text{ metros.}$$

Según nos indica este valor, la potencia de la sal se ha más que duplicado en la parte más alta del anticlinal, de acuerdo con la teoría que admite que ésta se comporta como un fluido en el levantamiento del mismo.

Los tres horizontes característicos de esta línea, poseen las constantes siguientes:

| | | |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| $V_1 = 3.500 \text{ m/s.}$ | (margas yesosas)..... | $h = 328 \text{ metros.}$ |
| $V_2 = 6.100$ | > (sal) | $h = 225$ > |
| $V_3 = 2.400$ | > (margas pobres en cal). | $h = 50$ > |

Las profundidades calculadas en las líneas I, II y VI, se han utilizado para trazar el corte geológico longitudinal de la lámina XVIII.

Línea VII.—Con este perfil hemos tratado de estudiar el flanco Sur del anticlinal, en la zona donde las capas tienden a curvarse para tomar la posición, casi horizontal, que poseen en la llanura de Belcaire.

Las velocidades sísmicas medias, son:

$$\begin{array}{ll}
 V_1 = \frac{0,365}{0,114} = 3.200 \text{ m/s.} & V_9 = \frac{2.800}{0,688} = 4.100 \text{ m/s.} \\
 V_2 = \frac{0,695}{0,209} = 3.300 \text{ } & V_{10} = \frac{3,020}{0,748} = 4.100 \text{ } \\
 V_3 = \frac{1,025}{0,284} = 3.600 \text{ } & V_{11} = \frac{3,220}{0,787} = 4.100 \text{ } \\
 V_4 = \frac{1,350}{0,367} = 3.650 \text{ } & V_{12} = \frac{3,420}{0,843} = 4.100 \text{ } \\
 V_5 = \frac{1,675}{0,440} = 3.600 \text{ } & V_{13} = \frac{3,620}{0,874} = 4.150 \text{ } \\
 V_6 = \frac{2,000}{0,507} = 3.950 \text{ } & V_{14} = \frac{3,820}{0,940} = 4.100 \text{ } \\
 V_7 = \frac{2,300}{0,594} = 3.900 \text{ } & V_{15} = \frac{4,030}{0,964} = 4.200 \text{ } \\
 V_8 = \frac{2,550}{0,648} = 3.900 \text{ } & V_{16} = \frac{2,633}{0,653} = 4.000 \text{ }
 \end{array}$$

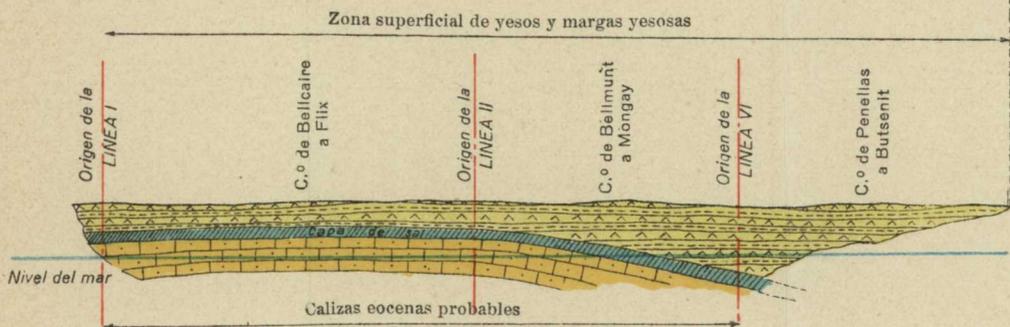
Las dos primeras estaciones nos determinan un horizonte geológico de margas sabulosas, caracterizado por la velocidad (figura 93),

$$V_{0-1} = 3.300 \text{ m/s.} = V_1.$$

La estación 3 corresponde ya a otro horizonte inferior, por el aumento sufrido en la velocidad al alcanzarla. Este

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE BELLMUNT

CORTE GEOLÓGICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL QUE PASA POR EL EJE
DEL ANTICLINAL



Escala 1:50.000

horizonte continúa, sin duda ninguna, hasta la 6. Su característica de velocidad aparente es,

$$V_{2-6} = \frac{2,000 - 0,695}{0,507 - 0,209} = \frac{1,305}{0,298} = 4.200 \text{ m/s.} = V_2.$$

Al pasar de la posición 5 a la 6, observamos el gran incremento de 350 m/s. en la velocidad media, que produce un efecto aparente de

$$V_{5-6} = \frac{2,000 - 1,675}{0,507 - 0,440} = \frac{0,325}{0,067} = 4.900 \text{ m/s.}$$

Este valor corresponde a un banco de calizas propiamente dichas, situado bajo las margas de análoga natura-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE BELLMUNT
Línea dromocrónica número 7

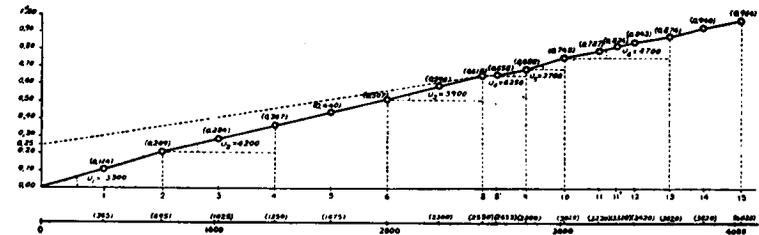


Fig. 93.

leza. No cambia, sin embargo, la velocidad que caracteriza a todo el tramo, puesto que también desde 2 a 5 reina el mismo valor

$$V_{2-5} = \frac{1,675 - 0,695}{0,440 - 0,209} = \frac{0,980}{0,231} = 4.200 \text{ m/s.}$$

Entre las estaciones 6 y 8, obtenemos la constante que corresponde a los yesos.

$$V_{6-8} = \frac{2,550 - 2,000}{0,648 - 0,507} = \frac{0,550}{0,141} = 3.900 \text{ m/s.} = V_3.$$

En la 9 volvemos a encontrar otro aumento importante de velocidad media. Para precisar su origen hemos interpolado la estación 8', que con la 8 nos determina la velocidad aparente,

$$V_{8-8'} = \frac{2,633 - 2,550}{0,653 - 0,648} = \frac{0,083}{0,005} = 16.500 \text{ m/s.}$$

Debe ser producida por haber alcanzado el techo de la sal, puesto que, además, entre las estaciones 8 y 9 encontramos su valor característico,

$$V_{8-9} = \frac{2,800 - 2,550}{0,688 - 0,648} = \frac{0,250}{0,040} = 6.250 \text{ m/s.} = V_4.$$

A continuación, la velocidad media permanece estacionaria, por propagarse la energía sísmica por un horizonte de menor velocidad.

Entre las estaciones 9 y 10 obtenemos el valor que caracteriza a las margas, repetidamente encontradas, debajo de la sal.

$$V_{9-10} = \frac{3,020 - 2,800}{0,748 - 0,688} = \frac{0,220}{0,060} = 3.700 \text{ m/s.} = V_5.$$

La línea dromocrónica nos indica una alineación de puntos, a partir de la estación 10, que determina la velocidad del horizonte subyacente al anterior,

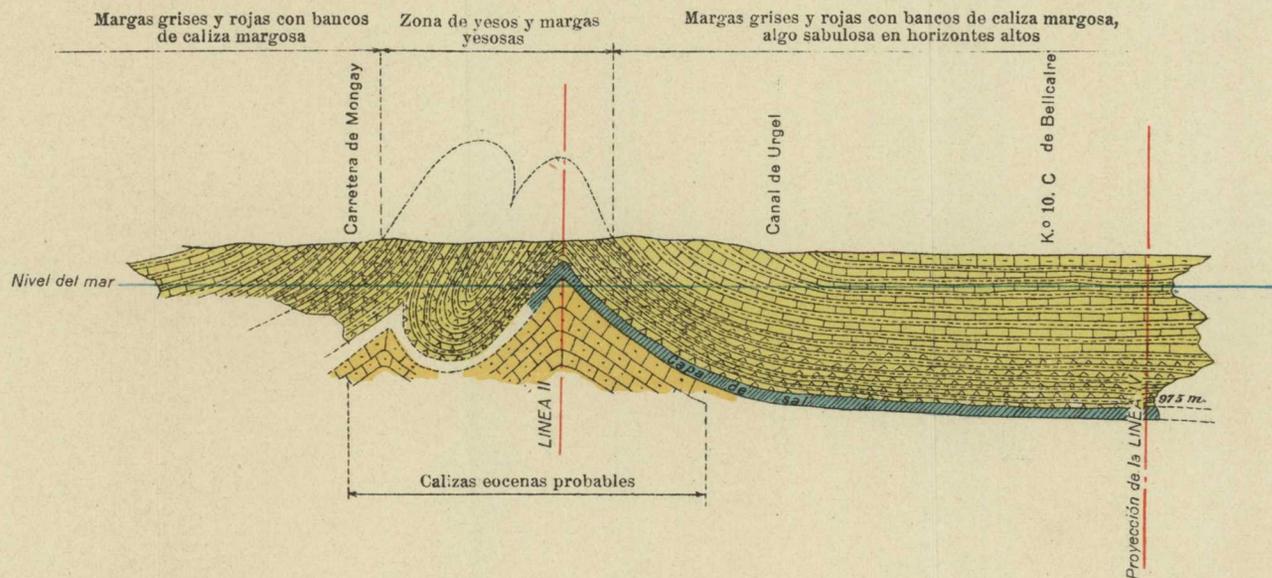
$$V_{10-15} = \frac{4,030 - 3,020}{0,964 - 0,748} = \frac{1,010}{0,216} = 4.700 \text{ m/s.} = V_6.$$

constituido por verdaderas calizas.

La profundidad del techo del horizonte salino es,

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE BELLMUNT

CORTE GEOLÓGICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL N. NE.-S. SO. QUE PASA
POR EL ORIGEN DE LA LÍNEA II



Escala 1:50.000

$$h = \frac{0,25}{2} \cdot \frac{3.900}{\sqrt{1 - \left(\frac{39}{62}\right)^2}} = 0,125 \cdot \frac{3.900}{0,775} = 0,125 \cdot 5032 =$$

$$= 629 \text{ metros}$$

y su potencia,

$$0,25 (2,800 - 2,550) = 62 \text{ metros (según la vertical)}$$

por tener el coeficiente K el mismo valor de los perfiles anteriores.

El espesor del yeso queda indeterminado en este perfil por la dificultad de separar los horizontes V_2 y V_3 , según ya hemos explicado, sin efectuar más estaciones entre las estaciones 5 y 6, por no haberlo concebido necesario.

Hemos de hacer notar las dificultades que se han presentado para la elección de las estaciones de este perfil, que debían estar sobre las verticales de una línea de nivel del flanco Sur del anticlinal. A causa de ellas, el horizonte salino y el de los yesos, no se marcan con tanta precisión como en los perfiles anteriores.

También puede suceder, en lo que respecta a la sal, que el paquete de capas sea más pobre en sal y más rico en margas, como consecuencia del corrimiento de aquélla hacia la región superior.

El corte transversal del anticlinal, representado en la lámina XIX, se ha construído con los datos suministrados por los perfiles V, VI y VII.

§ 32. Resumen.—Con los perfiles sísmicos I, II, V, VI, y VII, hemos estudiado el anticlinal de Bellmunt, encontrando la profundidad de la sal, en cada uno de ellos, así como la potencia de la formación.

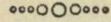
Se ha determinado también el espesor de los yesos, que

nos ha permitido comprobar la hipótesis del doble plegamiento indicada en el dibujo correspondiente, no indicada hasta ahora.

Por medio de los perfiles III y IV, se ha reconocido la estructura estratigráfica del llano de Belcaire, fijando la profundidad de la sal con uno de ellos y con el otro el sentido del buzamiento de las capas. Los resultados constan en los cortes adjuntos, que corresponden a los valores medios de las profundidades en la zona.

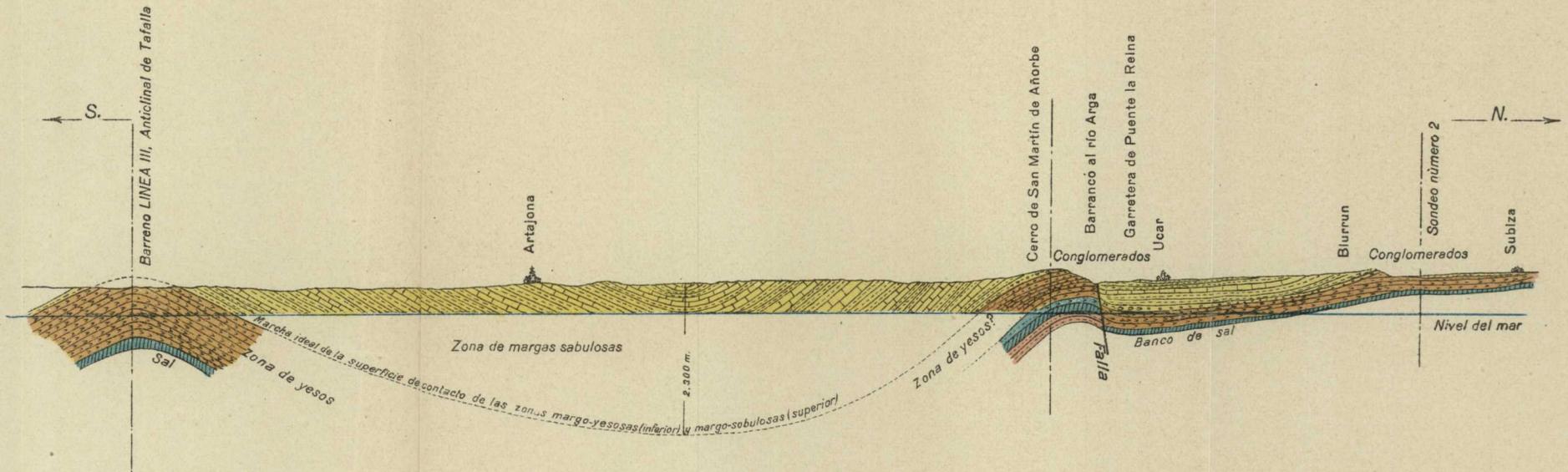
El estudio estratigráfico de conjunto, deducido de las mediciones sísmicas, nos demuestra que el sistema Oligoceno de esta región es idéntico al de la provincia de Barcelona y que, por consiguiente, la cuenca potásica catalana se extiende hacia las provincias situadas al Este, sin solución de continuidad.

En el caso probable de que existiere la continuidad, el Instituto Geológico de España, con sus trabajos geológicos y geofísicos, habría puesto en manos de la Nación la cuenca potásica más importante del mundo.



INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE NAVARRA

CORTE GEOLÓGICO GENERAL DESDE EL ORIGEN DE LA LÍNEA NÚMERO III DE TAFALLA HASTA EL SONDEO NÚMERO 2 EN SUBIZA



Escala 1:100.000

CAPÍTULO VIII

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE TAFALLA

§ 33. **Prólogo.** — En la investigación sísmica que hemos efectuado en el anticlinal de Bellmunt, situado en la cuenca potásica catalana, expusimos la creencia, compartida por los eminentes geólogos señores Marín y del Valle, de que aquella cuenca se extendía hasta Navarra, sin solución de continuidad.

Con el objeto de comprobar esta hipótesis, que tanta importancia tiene para la economía minera nacional, el Director del Instituto Geológico, Sr. de la Peña, dispuso un plan de investigación que, además, sirviese para conocer la potencia y profundidad del manto salino, en los puntos en que fuese posible explotarle económicamente.

El corte geológico general de la cuenca potásica de Navarra, que presentamos en la lámina XX, nos demuestra que tanto en el anticlinal de Tafalla, donde los yesos que deben estar sobre la sal, se presentan en la superficie y muy denudados, como en las cercanías de Añorbe, donde a consecuencia de un accidente tectónico el mencionado yacimiento salino ha disminuído de profundidad, es posible que éste se encuentre en condiciones explotables.

Debemos, por consiguiente, efectuar una investigación en cada uno de los dos lugares mencionados.

Entre todos los métodos geofísicos de prospección, el único que podemos emplear en este caso es el sísmico, y aun para ello hay que vencer algunos inconvenientes, debidos a la inclinación de las capas de yeso, que sin embargo no es tan grande como en el anticlinal de Bellmunt. Tampoco en este caso es posible observar perfiles transversales, y los longitudinales han de coincidir exactamente con la dirección de estratificación, para evitar grandes errores en el cálculo de las profundidades de los distintos horizontes geológicos.

En este trabajo nos vamos a ocupar, exclusivamente, de la primera investigación del plan general, que ya hemos realizado en el anticlinal de Tafalla.

El corte geológico de la cuenca nos hace ver claramente la inutilidad de efectuar estudios en el sinclinal de Artajona, por la enorme profundidad que ha alcanzado el yacimiento salino.

§ 34. Reseña geográfica y geológica.

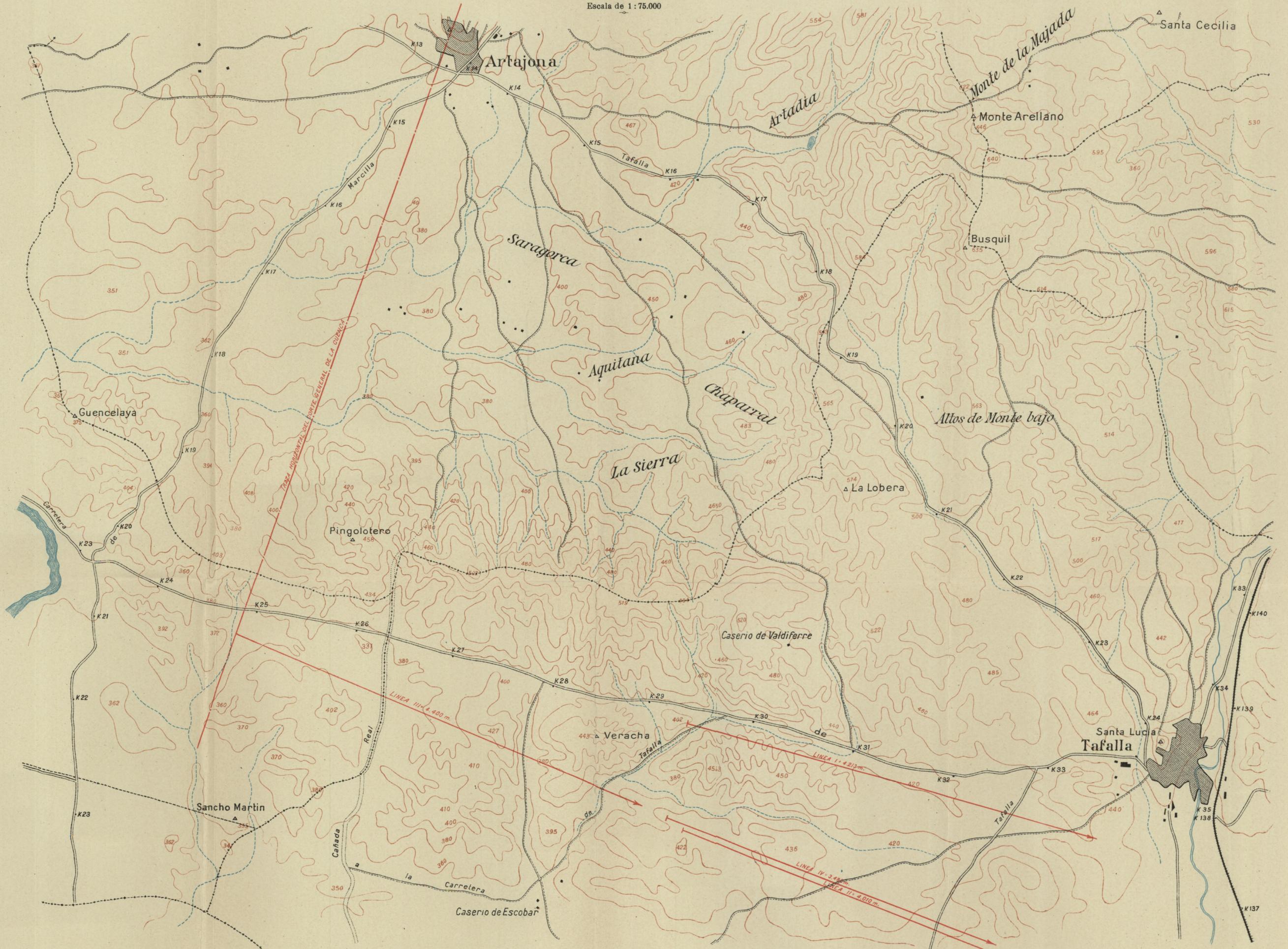
a) *Reseña geográfica.*—La zona de investigación que nos ocupa corresponde a la parte occidental de Tafalla, y está comprendida entre esta ciudad y el pueblo de Larraga (véase el plano topográfico general de la lám. XXI).

Está limitada al Norte por la carretera de Estella; al Sur por la de Miranda de Arga; al Este por la general de Madrid a Irún; y al Oeste por la de Marcilla y Artajona, que comprenden una extensión superficial de unos 10 kilómetros de longitud por dos y medio de anchura.

El relieve del terreno, de la categoría de los medianamente accidentados, se caracteriza por dos direcciones orográficas, próximamente perpendiculares entre sí. Una de ellas concuerda con la dirección de los principales pliegues geológicos de la cuenca, dirigidos de levante a

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
PLANO TOPOGRÁFICO GENERAL DE TAFALLA

POR
J. G. SIÑERIZ
INGENIERO DE MINAS
Escala de 1 : 75.000



poniente, y la otra está dirigida de Norte a Sur. A esta última corresponden los cerros más importantes, que alcanzan la altitud de 646 metros. En la dirección de levante a poniente se reducen las alturas, tanto en el sentido de Tafalla, como en el de Larraga, que no alcanzan más que 464 metros en el primer caso, y 375 en el segundo; además queda cortado el cordal por los ríos Cidacos y Arga, a las alturas de 420 y 320 metros, respectivamente.

En la región Sur, precisamente en la zona de emplazamiento de los perfiles sísmicos, se presenta otro pequeño pliegue, orientado también de Este a Oeste y separado del último de los de la serie principal por un valle de erosión, que sirve de paso a la carretera de Estella. Sus alturas más elevadas coinciden con las de la parte central y oriental, para descender de un modo gradual hacia el río Arga.

La red hidrográfica de la zona está constituida por las cuencas de los ríos Arga y Cidacos, que descienden del Norte. El Cidacos surca la parte oriental de la zona y pasa por Tafalla, con un caudal relativamente escaso. El Arga atraviesa la occidental y es, por el contrario, uno de los ríos más importantes de Navarra. A causa de su escasa pendiente da lugar a la formación de múltiples meandros.

Ninguno de los dos ríos tiene afluentes de importancia dentro de la zona que consideramos, surcada por una multitud de barrancos que recogen el agua de lluvia. En las inmediaciones del anticlinal de Tafalla, donde el terreno es impermeable, existen diversas lagunas sin salida, que retienen el agua llovida.

En cuanto a emplazamiento y vías de comunicación, la zona de estudio presenta condiciones inmejorables. Su distancia a Tafalla no excede de 10 kilómetros, y la vía férrea de Barcelona a Irún presenta lugares de acceso a

poco más de mil metros de distancia. Está rodeada por las cuatro carreteras ya mencionadas, de las que arrancan diversos caminos que sirven a las fincas de labor. Se presta, por consiguiente, para el establecimiento de una industria minera, por importante que sea.

b) Reseña geológica.—Nuestra zona de investigación corresponde a la formación oligocena, que cubre una gran parte de la región de Navarra y se extiende por Huesca, bordeando la cordillera pirenaica, hasta las provincias de Lérida y Barcelona.

Está constituida por un conjunto de bancos y lechos de margas de colores pardo-rojizo, amarillento y gris, que alternan con otros de marcado carácter sabuloso, con potencias muy variables. En los horizontes superiores predomina el rojo, así como las capas sabulosas, molasas y areniscas, y en los inferiores el gris, en potentes capas de margas.

Análogamente a lo que sucede en la cuenca catalana, las capas pierden su condición margosa de un modo gradual de abajo hacia arriba, y se convierten en molasas, areniscas y hasta verdaderos conglomerados, en los lugares donde la denudación ha respetado el tramo completo.

En la parte inferior del horizonte de margas sabulosas mencionado aparece la zona de yesos mezclados con margas grises. Únicamente se presentan puros en algunas bolsadas de pequeña importancia, de los horizontes más profundos, que la denudación ha puesto al descubierto en el eje del anticlinal y que se explotan por medio de canteras.

La estratificación del tramo de margas y molasas, y en general de todas las rocas que se superponen a los yesos, aparece completamente definida y precisa, como puede observarse en la mayor parte de los cortes naturales del

terreno y en los de las carreteras y desmontes; en el horizonte yesoso, por el contrario, las capas se encuentran tan alteradas y retorcidas que sólo puede definirse su dirección y buzamiento de conjunto, por comparación con las capas laterales.

En la zona de estudio, las capas forman un pliegue anticlinal denudado, en cuyo eje aparecen los yesos que forman la parte profunda del Oligoceno y la cobertera de las capas salíferas. En la rama septentrional del pliegue se superponen las margas, que pierden lentamente las intercalaciones de yeso y aumentan su carácter sabuloso, a la vez que disminuye la inclinación de las capas (véase el corte geológico general) hasta quedar horizontales a unos dos kilómetros al Norte de la villa de Artajona.

En este punto, situado en el eje del sinclinal, el horizonte selenitoso alcanza una profundidad de 2.700 metros, a juzgar por el nivel que alcanza en el anticlinal de Tafalla y la marcha de la estratificación en el trozo comprendido entre dicho anticlinal y Artajona, que ha sido estudiada con todo detenimiento.

Más al Norte, las capas se presentan con buzamiento contrario y una inclinación que alcanza rápidamente 60 y 65°, hasta las cercanías de Añorbe. En esta localidad aparecen algunos conglomerados que no hemos visto en la región del Sur, quizás a causa de encontrarnos ahora en las proximidades del borde de la cuenca. Pero en un nivel, algo inferior a ellos, asoma de nuevo el horizonte de yesos, no muy bien definido en las cercanías de Tirapu, pero completamente preciso y potente entre este pueblo y el de Puente la Reina, próximo a las salinas de Obanos. El mencionado horizonte de conglomerados volvemos a encontrarlo cerca de Biurrun (véase el corte general de la cuenca), en un nivel geológico muy inferior al

que antes tenía. Es indispensable, por consiguiente, que al Norte de Añorbe haya una falla con salto, como la representada en el corte. En apoyo de esta hipótesis podemos citar la discordancia de estratificación que se observa al Norte y al Sur de la misma, que casi alcanza el valor de 90 grados.

Es muy posible que el aumento de volumen originado por la hidratación del yeso, sea la causa que ha producido la elevación de los estratos de Añorbe, hasta un límite que no permitía la elasticidad de las capas y que determinó su rotura. También pueden haber influido para producir las mismas consecuencias los movimientos característicos de las capas salinas.

Por las razones expuestas creemos indudable una aproximación del yacimiento salino a la superficie en las cercanías de Añorbe. La profundidad indicada en el corte geológico, a título de indicación, podrá ser determinada por medio de la segunda investigación sísmica del plan general, ya mencionado.

§ 35. Las mediciones sísmicas.

Línea I.—Consta de 23 estaciones sísmicas, repartidas en una longitud de 4.213 metros, según se indica en el plano de la línea dromocrónica correspondiente.

Está situada a lo largo de la carretera de Tafalla a La-

LINEA I

| Ex- plo- sión | Dina- mita — kgs. | T — (seg.) | Δ — (kms.) |
|---------------------|----------------------------|------------------|------------------|
| 1. ^a | 5 | 0,093 | 0,265 |
| | | 0,127 | 0,395 |
| | | 0,182 | 0,555 |
| 2. ^a | 15 | 0,201 | 0,655 |
| | | 0,260 | 0,755 |
| | | 0,298 | 0,875 |
| 3. ^a | 30 | 0,325 | 1,000 |
| | | 0,349 | 1,140 |
| | | 0,397 | 1,340 |
| 4. ^a | 40 | 0,454 | 1,540 |
| | | 0,535 | 1,740 |
| | | 0,555 | 1,900 |
| 5. ^a | 60 | 0,605 | 2,100 |
| | | 0,680 | 2,365 |
| | | 0,757 | 2,600 |
| 6. ^a | 75 | 0,784 | 2,800 |
| | | 0,841 | 3,000 |
| | | 0,928 | 3,200 |
| 7. ^a | 100 | 0,938 | 3,400 |
| | | 0,943 | 3,600 |
| | | 1,057 | 3,800 |
| 8. ^a | 125 | 1,126 | 3,990 |
| | | 1,141 | 4,213 |

rraga, en la posición representada en el plano topográfico y dirigida hacia la primera de las dos localidades citadas.

Los tiempos empleados por la onda sísmica en llegar a cada una de las posiciones que han ocupado los sismógrafos, medidos por el primer ímpetu de los sismógramas, en milésimas de segundo, las cantidades de dinamita empleadas en cada explosión y las distancias al barreno, desde cada una de las posiciones de los sismógrafos, se encuentran reunidos en el cuadro correspondiente.

Línea II.—Tiene una longitud de 4.010 metros, en los que se han colocado 20 posiciones sísmicas, repartidas en la forma indicada en la línea dromocrónica número 2. Después de terminada se interpolaron dos más, para precisar los resultados.

Está situada en el eje del anticlinal, según se indica en el plano topográfico, y su dirección, a partir del barreno, es hacia el Este-Sur.

Las distancias epicentrales que corresponden a cada posición sísmica, los tiempos de propagación de las ondas y las cantidades de explosivos empleados en cada barreno, se han reunido en el cuadro número 2, que escribimos a continuación.

LINEA II

| Ex- plo- sión | Dina- mita — kgs. | T — (seg.) | Δ — (kms.) |
|---------------------|----------------------------|------------------|------------------|
| 1. ^a | 5 | 0,077 | 0,150 |
| | | 0,153 | 0,350 |
| | | 0,245 | 0,550 |
| 2. ^a | 25 | 0,281 | 0,750 |
| | | 0,339 | 0,950 |
| | | 0,340 | 1,180 |
| 3. ^a | 40 | 0,425 | 1,380 |
| | | 0,510 | 1,600 |
| | | 0,589 | 1,800 |
| 4. ^a | 50 | 0,632 | 2,030 |
| | | 0,641 | 2,140 |
| | | 0,674 | 2,330 |
| 5. ^a | 70 | 0,713 | 2,507 |
| | | 0,777 | 2,707 |
| | | 0,818 | 2,863 |
| 6. ^a | 85 | 0,886 | 3,063 |
| | | 0,901 | 3,263 |
| | | 0,948 | 3,433 |
| 7. ^a | 100 | 0,970 | 3,628 |
| | | 1,053 | 4,010 |
| 8. ^a | 12 | 0,242 | 0,650 |
| | | 0,295 | 0,850 |

Línea III.—El emplazamiento de los barrenos de la línea III está próximo a la intersección de la carretera de

Larraga con la de Marcilla. Su dirección es la misma de las anteriores, o sea de Oeste-Norte a Este-Sur. Consta de 21 estaciones, repartidas en una longitud de 4.400 metros de perfil sísmico, a las distancias parciales indicadas en la línea dromocrónica correspondiente.

Los datos numéricos para su construcción, calculados los referentes a los tiempos y medidos directamente los de distancias epicentrales, así como la dinamita gastada en cada barreno, se encuentran en el cuadro número 3.

| LINEA III | | | | LINEA IV | | | |
|---------------------|----------------------------|------------------|------------------|---------------------|----------------------------|------------------|------------------|
| Ex- plo- sión | Dina- mita — kgs. | T — (seg.) | Δ — (kms.) | Ex- plo- sión | Dina- mita — kgs. | T — (seg.) | Δ — (kms.) |
| 1. ^a | 5 | 0,084 | 0,182 | 1. ^a | 5 | 0,093 | 0,200 |
| | | 0,140 | 0,388 | | | 0,171 | 0,450 |
| | | 0,195 | 0,608 | | | 0,215 | 0,600 |
| 2. ^a | 25 | 0,275 | 0,825 | 2. ^a | 20 | 0,278 | 0,800 |
| | | 0,334 | 1,032 | | | 0,318 | 0,960 |
| | | 0,387 | 1,250 | | | 0,385 | 1,150 |
| 3. ^a | 40 | 0,459 | 1,410 | 3. ^a | 35 | 0,386 | 1,300 |
| | | 0,524 | 1,650 | | | 0,449 | 1,500 |
| | | 0,557 | 1,850 | | | 0,500 | 1,760 |
| 4. ^a | 55 | 0,651 | 2,090 | 4. ^a | 50 | 0,549 | 1,980 |
| | | 0,678 | 2,323 | | | 0,575 | 2,130 |
| | | 0,714 | 2,523 | | | 0,645 | 2,260 |
| 5. ^a | 75 | 0,742 | 2,748 | 5. ^a | 70 | 0,715 | 2,440 |
| | | 0,838 | 3,000 | | | 0,755 | 2,700 |
| | | 0,868 | 3,200 | | | 0,819 | 2,860 |
| 6. ^a | 95 | 0,980 | 3,400 | 6. ^a | 85 | 0,854 | 3,066 |
| | | 0,994 | 3,600 | | | 0,919 | 3,280 |
| | | 0,980 | 3,780 | | | 0,961 | 3,480 |
| 7. ^a | 125 | 1,046 | 4,000 | 7. ^a | 35 | 0,520 | 1,885 |
| | | 1,085 | 4,200 | | | | |
| | | 1,134 | 4,400 | | | | |

Línea IV.—Podemos considerarla como la prolongación de la anterior. Su dirección ha cambiado ligeramente para que coincida mejor con la de estratificación de las capas, que no es completamente rectilínea.

Después de efectuar las 18 estaciones de que consta la línea, de una longitud total de 3.480 metros, se creyó ne-

cesario interpolar alguna más para precisar los resultados obtenidos.

Su distribución longitudinal se indica en la línea dromocrónica IV, construída con los datos de tiempos y distancias, que con los explosivos empleados reunimos en el último cuadro.

§ 36. **La interpretación geológica de las mediciones sísmicas.**—No nos detendremos a explicar la teoría empleada en la interpretación de las mediciones sísmicas, por estar expuesta con todo detalle en mi obra «Los Métodos Geofísicos de Prospección», a la que remitimos a los lectores interesados en ello.

Como en los demás trabajos, ya efectuados, discutiremos sucesivamente cada una de las líneas sísmicas estudiadas.

Línea I.—Los valores de las velocidades medias del rayo sísmico, al llegar a cada una de las posiciones que han ocupado los sismógrafos, son:

$$\begin{aligned}
 V_{0-1} &= \frac{0,265}{0,093} = 2.900 \text{ m/s.} & V_{0-8} &= \frac{1,140}{0,349} = 3.300 \text{ m/s.} \\
 V_{0-2} &= \frac{0,395}{0,127} = 3.100 \text{ »} & V_{0-9} &= \frac{1,340}{0,397} = 3.350 \text{ »} \\
 V_{0-3} &= \frac{0,555}{0,182} = 3.100 \text{ »} & V_{0-10} &= \frac{1,540}{0,454} = 3.400 \text{ »} \\
 V_{0-4} &= \frac{0,655}{0,201} = 3.300 \text{ »} & V_{0-11} &= \frac{1,740}{0,535} = 3.250 \text{ »} \\
 V_{0-5} &= \frac{0,757}{0,260} = 2.900 \text{ »} & V_{0-12} &= \frac{1,900}{0,555} = 3.400 \text{ »} \\
 V_{0-6} &= \frac{0,875}{0,298} = 3.000 \text{ »} & V_{0-13} &= \frac{2,100}{0,605} = 3.450 \text{ »} \\
 V_{0-7} &= \frac{1,000}{0,325} = 3.100 \text{ »} & V_{0-14} &= \frac{2,365}{0,680} = 3.450 \text{ »}
 \end{aligned}$$

canza el valor máximo de toda la línea. Entre las estaciones 18 y 19 la velocidad aparente es:

$$V_{18-19} = \frac{3,400 - 3,200}{0,938 - 0,928} = 20.000 \text{ m/s.}$$

y entre las 19 y 20,

$$V_{19-20} = \frac{3,600 - 3,400}{0,943 - 0,938} = 40.000 \text{ m/s.} = V_4$$

Todo parece indicarnos que el rayo sísmico ha alcanzado en su trayectoria el horizonte salino. Entre las estaciones 18 y 19 pasa por la zona salada y, entre las dos siguientes, por la sal propiamente dicha.

Teniendo en cuenta la profundidad, relativamente grande, de la formación salina, comparada con su potencia, no podemos colocar las estaciones sísmicas lo suficientemente próximas para que nos indiquen el valor de la constante sísmica de aquélla.

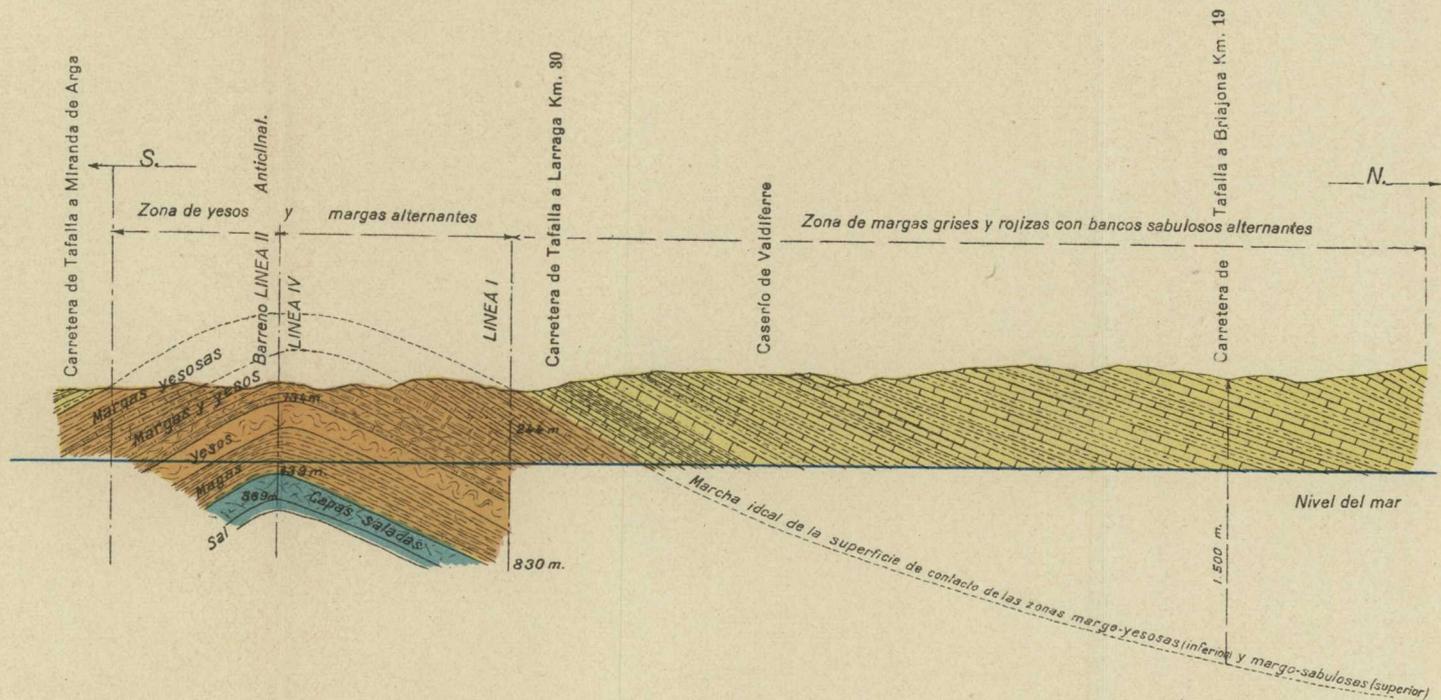
Después de la estación 20 hay una nueva disminución de velocidad media, que podemos saber a qué horizonte geológico corresponde por encontrar alineados en la dromocrónica los puntos 20, 21 y 22. El valor que determinan es:

$$V_{20-22} = \frac{3,990 - 3,600}{1,126 - 0,943} = 2.200 \text{ m/s.}$$

que corresponde a las margas situadas bajo la sal. El valor encontrado es menor del verdadero, por la influencia de la velocidad del horizonte superior. Al salir de la sal, el rayo sísmico, experimenta una brusca disminución de velocidad, que disminuye aparentemente la del inferior. Entre las estaciones 21 y 22 ya puede considerarse muy

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE NAVARRA

CORTE GEOLÓGICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL QUE PASA POR EL ORIGEN DE LA LÍNEA NÚMERO II Y EL KILÓMETRO 19 DE LA CARRETERA DE TAFALLA-ARTAJONA



Escala 1:40.000

aminorado el efecto aparente y, nos dan para la velocidad de las margas,

$$V_5 = V_{21-22} = \frac{3,990 - 3,800}{1,126 - 1,057} = 2.800 \text{ m/s.}$$

que aun creemos es menor del verdadero.

Pasada la estación 22 encontramos un nuevo incremento rápido de la velocidad media, debido a otro horizonte estratigráfico. Probablemente se trata de las calizas eocenas; pero como no tiene importancia para nuestro trabajo su determinación, que obligaría a gastar importantes cantidades de dinamita, por tratarse ya de distancias epicentrales próximas a cinco kilómetros, hemos dado por terminado el perfil que estudiamos.

Vamos a calcular la profundidad de cada uno de los horizontes mencionados en el estudio precedente, por medio de las fórmulas publicadas en mi obra, ya citada, «Los Métodos Geofísicos de Prospección».

Tomaremos como referencia el de los yesos, caracterizados por la constante,

$$V_8 = 3.900 \text{ m/s.}$$

$$h = 0,0420 \cdot \frac{3.100}{\sqrt{1 - \left(\frac{31}{39}\right)^2}} = 244 \text{ metros.}$$

Para medir t se ha construido un dibujo a escala 1:2.000. La constante K resulta:

$$K = 0,244,$$

que nos servirá para conocer la profundidad de la sal. Las capas saladas empiezan a la profundidad de 780 me-

tros, y la sal, propiamente dicha, a 830. Estos datos se han tenido en cuenta para dibujar el corte geológico de la lámina XXII, en el que se proyecta, perpendicularmente al plano del dibujo, el perfil estudiado.

Línea II.—A continuación escribimos los valores de la velocidad media de la onda sísmica, en las diferentes estaciones de esta línea.

| | |
|--|---|
| $V_{0-1} = \frac{0,150}{0,077} = 1.950 \text{ m/s.}$ | $V_{0-12} = \frac{2,330}{0,674} = 3.450 \text{ m/s.}$ |
| $V_{0-2} = \frac{0,350}{0,153} = 2.300 \text{ >}$ | $V_{0-13} = \frac{2,507}{0,713} = 3.500 \text{ >}$ |
| $V_{0-3} = \frac{0,550}{0,245} = 2.250 \text{ >}$ | $V_{0-14} = \frac{2,707}{0,777} = 3.500 \text{ >}$ |
| $V_{0-4} = \frac{0,750}{0,239} = 3.150 \text{ >}$ | $V_{0-15} = \frac{2,863}{0,818} = 3.500 \text{ >}$ |
| $V_{0-5} = \frac{0,950}{0,339} = 2.800 \text{ >}$ | $V_{0-16} = \frac{3,063}{0,886} = 3.500 \text{ >}$ |
| $V_{0-6} = \frac{1,180}{0,340} = 3.500 \text{ >}$ | $V_{0-17} = \frac{3,263}{0,901} = 3.600 \text{ >}$ |
| $V_{0-7} = \frac{1,380}{0,425} = 3.250 \text{ >}$ | $V_{0-18} = \frac{3,433}{0,948} = 3.600 \text{ >}$ |
| $V_{0-8} = \frac{1,600}{0,510} = 3.150 \text{ >}$ | $V_{0-19} = \frac{3,628}{0,970} = 3.750 \text{ >}$ |
| $V_{0-9} = \frac{1,800}{0,589} = 3.100 \text{ >}$ | $V_{0-20} = \frac{4,050}{1,053} = 3.800 \text{ >}$ |
| $V_{0-10} = \frac{2,300}{0,632} = 3.200 \text{ >}$ | $V_{0-21} = \frac{0,650}{0,242} = 4.200 \text{ >}$ |
| $V_{0-11} = \frac{2,140}{0,641} = 3.300 \text{ >}$ | |

La cubierta detrítica se caracteriza, en esta línea, por la velocidad $V_1 = 1.950 \text{ m/s.}$ figura 95, y tiene un espesor

muy reducido, puesto que su efecto no alcanza la posición segunda.

Desde la estación 1 a la 3, la velocidad permanece invariable y tiene el valor,

$$V_2 = V_{1-3} = \frac{0,550 - 0,150}{0,245 - 0,077} = 2.400 \text{ m/s.}$$

que corresponde a las margas yesosas, con poco yeso.

Entre las estaciones 3 y 4 hay un aumento brusco de ve-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE TAFALLA
Línea dromocrónica número 2

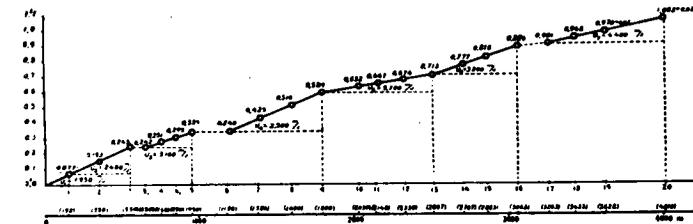


Fig. 95.

locidad, que llega a 900 m/s. en 200 metros de distancia. Para precisarlo más, interpolamos la posición 3_1 que nos fraccionó el incremento en dos partes iguales.

Dada la importancia del aumento mencionado y en la duda de si pudiera ser debido a la capa de sal, interpolamos también la estación 4_1 , encontrando que todos los puntos calculados, desde el 3_1 al 5, constituían un lado recto de la dromocrónica, que nos caracterizaba un horizonte, cuya velocidad es,

$$V_3 = V_{3_1-5} = \frac{0,950 - 0,650}{0,339 - 0,242} = 3.100 \text{ m/s.}$$

que corresponde exactamente a los yesos margosos, que además aclara la razón del incremento de velocidad de 3 a 3₁. De no haber observado la estación 3₁, hubiéramos tenido que unir la 3 con la 4 y el salto brusco quedaba desvanecido.

Desde la estación 5 a la 6 volvemos a encontrar otro enorme incremento de velocidad media, que no podemos asegurar a qué sea debido; ya que en este caso, no es posible la interpolación de valores entre los de las estaciones 5 y 6, que sólo difieren en una milésima de segundo. Desde luego se trata de un banco de poco espesor, que pudiera ser de anhidrita, cuya velocidad es muy grande. No creemos sea el de sal, porque a continuación vamos a encontrar las margas oligocenas, determinadas con toda seguridad por la alineación 6-9, que determina el valor,

$$V_4 = V_{6-9} = \frac{1,800 - 1,180}{0,589 - 0,340} = 2.500 \text{ m/s.}$$

En la estación 9, v_m (llamemos así a la velocidad media, para abreviar) ha llegado a su mínimo descendente y empieza a crecer, hasta la estación 13. Todos los puntos intermedios forman otro lado de la dromocrónica, que nos caracteriza el horizonte salino por su velocidad,

$$V_5 = V_{9-13} = \frac{2,507 - 1,800}{0,713 - 0,589} = 5.700 \text{ m/s.}$$

A primera vista, puede causar extrañeza que no se acuse el cambio geológico de las margas a la sal, con un salto brusco de v_m . Sin embargo, el tránsito no es desde las margas a la sal, sino desde las margas a capas cada vez más saladas, por cambios graduables, hasta llegar a la sal pura.

A continuación encontramos las margas eocenas, admitiendo, con los demás geólogos, que el horizonte salino marca el tránsito entre el Oligoceno y el Eoceno. Entre las posiciones 13 y 16 se caracteriza la velocidad,

$$V_6 = V_{13-16} = \frac{3,063 - 2,507}{0,886 - 0,713} = 3.200 \text{ m/s.}$$

Es interesante hacer notar, que no obstante la profundidad, relativamente grande, de los dos grupos de margas situados encima y debajo de la sal, se les distingue perfectamente por las mediciones sísmicas. El primero tiene una constante de velocidad de 2.500 m/s., y el segundo de 3.200, en igual lapso de tiempo.

Esta diferencia se podrá utilizar para resolver el problema de la situación geológica de otras margas de la zona, casi imposibles de clasificar, por su ausencia de fósiles y analogía de caracteres físicos.

Entre las estaciones 16 y 17 encontramos otro incremento importante para v_m , debido al paso del rayo sísmico por las calizas eocenas. Como el tránsito de las margas a las calizas es brusco, también tiene que serlo el aumento de velocidad.

Las estaciones siguientes nos permiten calcular su constante sísmica, que es,

$$V_7 = V_{17-20} = \frac{4,010 - 3,263}{1,075 - 0,901} = 4.400 \text{ m/s.}$$

En resumen, esta línea nos ha permitido seguir, paso a paso, los distintos horizontes estratigráficos del Oligoceno, hasta las calizas del Eoceno.

Para calcular las profundidades respectivas no es posible emplear las fórmulas mencionadas, por no cumplirse las condiciones para las que han sido establecidas. Pero como ya conocemos el valor de la constante K , que

$V_2 = V_{0-2} = 2.800$ m/s. No se manifiestan más allá de la estación 2.

Entre esta última y la 3 podemos apreciar el primer incremento de v_m , debido al pasar el rayo sísmico al horizonte de los yesos, que continúa hasta la estación 8, según demuestra la alineación de la línea dromocrónica. Su constante de velocidad es,

$$V_3 = V_{2-8} = \frac{1.650 - 0.388}{0.524 - 0.140} = 3.300 \text{ m/s.}$$

El segundo incremento de v_m se manifiesta entre las estaciones 8 y 9, correspondientes al encuentro de la anhidrita, por las ondas sísmicas, puesto que la velocidad que determina la dromocrónica,

$$V_4 = V_{8-15} = \frac{3.200 - 1.850}{0.868 - 0.557} = 4.400 \text{ m/s.}$$

es la correspondiente a esta clase de roca.

Ahora decrece v_m con rapidez, al pasar de la estación 15 a la 16, sin que la disminución pase de la última.

El valor relativo encontrado, seguramente menor que el verdadero por el efecto del horizonte geológico superior, que no puede despreciarse hasta bastante más allá de la estación 16, es

$$V_5 = V_{15-16} = \frac{3.400 - 3.200}{0.980 - 0.868} = 1.800 \text{ m/s.}$$

Este valor debe corresponder a las margas que forman el techo de la sal, que ahora aparecen con una velocidad menor que la que las corresponde, por el efecto relativo que acabamos de mencionar.

Pasada la estación 16 se incrementa de nuevo la velo-

cidad media en 300 m/s. hasta la 18. La velocidad relativa aparente que se manifiesta entre esas estaciones alcanza el valor ∞ , por ser iguales los tiempos de recorrido que corresponden a los dos extremos.

Naturalmente, que cualquiera que sea la velocidad sísmica de los nuevos estratos, el tiempo de recorrido tiene que aumentar con la distancia epicentral; pero si las diferencias son pequeñísimas, el grado de apreciación de los aparatos y el efecto relativo de los diversos horizontes geológicos pueden producir el efecto señalado.

Creemos que el nuevo horizonte es el de las capas salinas, como corresponde en las líneas ya estudiadas. Además, a continuación encontramos las margas subyacentes, caracterizadas por el valor,

$$V_7 = V_{18-19} = \frac{4.000 - 3.780}{1.046 - 0.980} = 3.300 \text{ m/s.}$$

y las calizas eocenas, que nos manifiesta la constante sísmica,

$$V_8 = V_{19-21} = \frac{4.400 - 4.000}{1.134 - 1.046} = 4.500 \text{ m/s.}$$

Por medio del método ya mencionado, encontramos para la profundidad de los distintos horizontes geológicos los valores siguientes:

Profundidad del techo de los yesos:

$$\Delta = 0,388 \quad K = 0,244 \quad h = 95 \text{ metros.}$$

Profundidad del techo de la anhidrita:

$$\Delta = 1,650 \quad K = 0,244 \quad h = 403 \text{ metros.}$$

Profundidad del techo de la sal:

$$\Delta = 3,400 \quad K = 0,220 \quad h = 748 \text{ metros.}$$

En la lámina XXIII se representa un corte geológico que pasa por el origen de la línea III y el pueblo de Artajona.

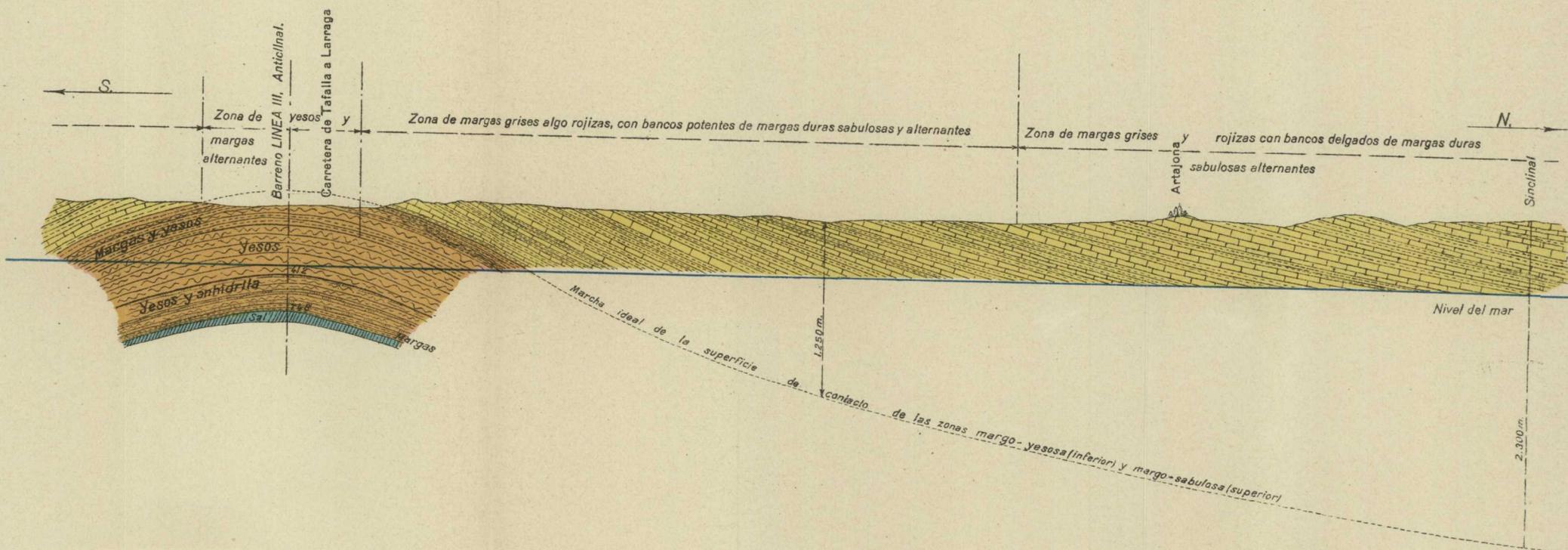
Línea IV.—En el perfil IV, que podemos considerar como prolongación del anterior, hemos obtenido los siguientes valores, para la velocidad media de las ondas sísmicas, al llegar a cada sismógrafo:

$$\begin{array}{ll}
 V_{0-1} = \frac{0,200}{0,093} = 2.150 \text{ m/s.} & V_{0-11} = \frac{2,130}{0,575} = 3.700 \text{ m/s.} \\
 V_{0-2} = \frac{0,420}{0,171} = 2.450 \text{ »} & V_{0-12} = \frac{2,260}{0,645} = 3.500 \text{ »} \\
 V_{0-3} = \frac{0,600}{0,215} = 2.800 \text{ »} & V_{0-13} = \frac{2,440}{0,715} = 3.400 \text{ »} \\
 V_{0-4} = \frac{0,800}{0,278} = 2.900 \text{ »} & V_{0-14} = \frac{2,700}{0,755} = 3.550 \text{ »} \\
 V_{0-5} = \frac{0,960}{0,318} = 3.000 \text{ »} & V_{0-15} = \frac{2,860}{0,819} = 3.500 \text{ »} \\
 V_{0-6} = \frac{1,150}{0,385} = 3.000 \text{ »} & V_{0-16} = \frac{3,060}{0,854} = 3.600 \text{ »} \\
 V_{0-7} = \frac{1,300}{0,386} = 3.400 \text{ »} & V_{0-17} = \frac{3,280}{0,919} = 3.600 \text{ »} \\
 V_{0-8} = \frac{1,500}{0,449} = 3.350 \text{ »} & V_{0-18} = \frac{3,480}{0,961} = 3.600 \text{ »} \\
 V_{0-9} = \frac{1,760}{0,500} = 3.500 \text{ »} & V_{0-19} = \frac{1,855}{0,520} = 3.600 \text{ »} \\
 V_{0-10} = \frac{1,980}{0,549} = 3.600 \text{ »} &
 \end{array}$$

El estudio de interpretación de esta línea, es completamente análogo al de la anterior, figura 97. Como en ella, aparecen las margas superficiales con un valor de la constante de velocidad inferior al que la corresponde, por el efecto de los agentes de erosión,

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CUENCA POTÁSICA DE NAVARRA

CORTE GEOLÓGICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL QUE PASA POR EL ORIGEN DE LA LÍNEA SÍSMICA NÚMERO III Y EL PUEBLO DE ARTAJONA



Escala 1:40.000

$$V_1 = V_{0-1} = 2.150 \text{ m/s.}$$

Pasada la estación 1, ya alcanza el valor que realmente tiene,

$$V_2 = V_{0-2} = 2.450 \text{ m/s.}$$

Ahora encontramos el horizonte de los yesos, con su constante,

$$V_3 = V_{2-6} = \frac{1,150 - 0,420}{0,385 - 0,171} = 3.400 \text{ m/s.}$$

y enseguida el de la anhidrita. El paso de uno a otro se manifiesta de la manera característica. Primero, un rápi-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE TAFALLA
Línea dromocrónica número 4

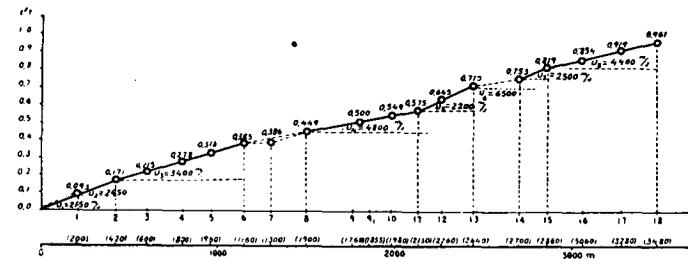


Fig. 97.

do aumento de velocidad aparente, que casi llega a ∞ ; después, una disminución gradual, hasta alcanzar su valor real, que resulta,

$$V_4 = V_{7-11} = \frac{2,130 - 1,300}{0,575 - 0,386} = 4.400 \text{ m/s.}$$

A continuación volvemos a encontrar las margas supra-

yacentes a la sal. Como en este caso tienen más potencia que en la línea III, nos es posible determinar un valor más aproximado, de su constante de velocidad,

$$V_5 = V_{11-13} = \frac{2,440 - 2,130}{0,715 - 0,575} = 2.200 \text{ m/s.}$$

El horizonte siguiente en profundidad es ya el de la sal, puesto que entre las estaciones 13 y 14 obtenemos,

$$V_6 = V_{13-14} = \frac{2,700 - 2,440}{0,755 - 0,715} = \frac{0,260}{0,040} = 6.500 \text{ m/s.}$$

Es natural que no obtengamos un cambio brusco de velocidad, por estar encima un grupo de bancos de anhidrita de gran espesor, al que también corresponde un valor grande para aquella.

Inmediatamente debajo volvemos a encontrar las margas, correspondientes a

$$V_7 = V_{14-15} = \frac{2,860 - 2,700}{0,819 - 0,755} = \frac{0,160}{0,064} = 2.500 \text{ m/s.}$$

y las calizas, determinadas por la constante,

$$V_8 = V_{15-18} = \frac{3,480 - 2,860}{0,961 - 0,819} = 4.400 \text{ m/s.}$$

Los valores que resultan para la profundidad de los estratos, son:

Profundidad del techo de los yesos:

$$\Delta = 0,420 \quad K = 0,244 \quad h = 103 \text{ metros.}$$

Profundidad del techo de la anhidrita:

$$\Delta = 1,150 \quad K = 0,244 \quad h = 281 \text{ metros.}$$

Profundidad del techo de la sal:

$$\Delta = 2,440 \quad K = 0,25 \quad h = 610 \text{ metros.}$$

§ 37. **Resumen.**—Con los datos calculados para las profundidades se han construido los cortes geológicos, que presentan los resultados ordenadamente. Del estudio general efectuado, podemos deducir:

1.º En el anticlinal de Tafalla se encuentra el yacimiento salino, en condiciones explotables, en lo que se refiere a su profundidad.

2.º La semejanza del corte estratigráfico obtenido para esta región con el análogo de Bellmunt, en la cuenca catalana, nos demuestra que ambas deben formar parte de una misma cuenca, en la que probablemente existen soluciones de continuidad por los trastornos y accidentes geológico-tectónicos locales. En ambos encontramos los horizontes estratigráficos siguientes, citados en el sentido descendente; margas yesosas, yesos, anhidrita, margas, sal, margas y calizas.

3.º Los dos grupos de margas que comprenden a la sal difieren notablemente en su constante sísmica, por lo que se puede emplear este método de prospección para situarlos geológicamente, ya que las primeras pertenecen al Oligoceno y las segundas al Eoceno.

4.º Es muy importante efectuar un sondeo en la zona estudiada, por afectar la forma de cúpula y no estar cortada por ninguna falla. Aunque la cúpula es muy abierta puede haber permitido la acumulación de hidrocarburos líquidos y gaseosos en cantidades de consideración.

CAPÍTULO IX

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CONCESIÓN «ELORZ», DE LA COMPAÑÍA DE SALES POTÁSICAS DE NAVARRA

§ 38. **Prólogo.**—Los notables trabajos realizados en Navarra por la Región N. del Instituto Geológico y Minero de España, a las órdenes del Sr. del Valle, pusieron de manifiesto la existencia de un yacimiento salino de importancia, situado en el horizonte más bajo del Oligoceno, sobre las margas bartonienses del Eoceno; y como consecuencia de ello se reservó una zona para el Estado, en la que habían de continuar las investigaciones.

Sobre el manto salino se comprobó que existían otras margas, parecidas a las subyacentes por su aspecto y composición, que no era posible diferenciarlas de las bartonienses por la ausencia absoluta de fósiles.

En la creencia de que las margas que constituyen la superficie de la región de Elorz, situada al Este de la zona reservada para el Estado, pertenecieran al Oligoceno, en cuyo caso debía encontrarse bajo ellas el manto salino, la Compañía de Sales Potásicas de Navarra, obtuvo la concesión minera, que lleva el nombre de la mencionada localidad.

Como ninguno de los notables geólogos que la visita-

ron pudo asegurar, con razones paleontológicas o estratigráficas, si las margas de Elorz eran las del Oligoceno o las del Eoceno, la compañía propietaria de la concesión acudió al Instituto Geológico y Minero de España, para que su Sección de Geofísica tratase de resolver este problema, por el método sísmico de prospección, que tenía en este caso aplicación inmediata, por no ser grande la inclinación de los estratos.

El plan de investigación que nos hemos trazado comprende dos partes. En la primera, seguiremos paso a paso la capa salina, desde el sondeo n.º 1, practicado en Salinas de Pamplona, por medio de perfiles sísmicos que tengan una parte común con el que las precede, hasta llegar al afloramiento teórico de aquélla. El primer perfil nos servirá, además, para determinar la característica de velocidad de los dos horizontes de margas objeto de estudio.

En la segunda, mediremos la constante de velocidad de las margas de la concesión «Elorz», para comprobar a cual corresponde de las determinadas en el sondeo.

Además, se aumentará la profundidad de investigación lo necesario para llegar a las calizas lutecienses, que nos suministrarán una comprobación de los resultados anteriores.

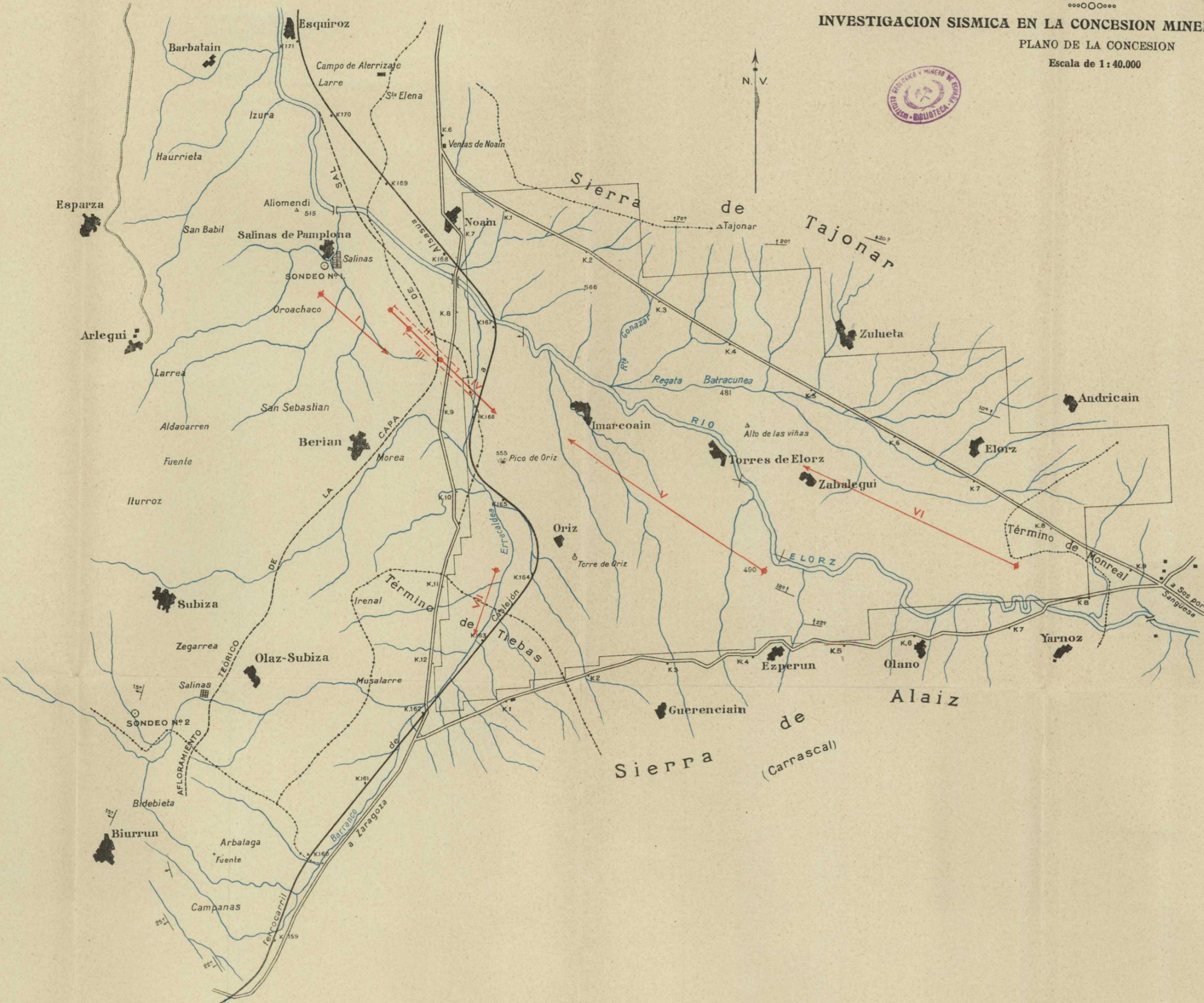
§ 39. *Reseña geográfica y geológica.*

a) Reseña geográfica.—La zona de estudio está representada en la lámina XXIV y no sólo comprende la concesión «Elorz», de la Compañía de sales potásicas de Navarra, sino que se extiende hacia el Poniente y Sur, hasta los pueblos de Salinas y Subiza, donde se han practicado dos sondeos de reconocimiento en la zona del Estado, que han servido de referencia y orientación en el trabajo que nos ocupa.

INVESTIGACION SISMICA EN LA CONCESION MINERA ELORZ (NAVARRA)

PLANO DE LA CONCESION

Escala de 1:40.000



Está limitada por una línea poligonal que arranca en el cruce de la carretera general de Pamplona con la de Campanas a Urroz; sigue por ella hasta su empalme con la de Monreal; dobla por ésta hacia el Poniente y continúa hasta el pueblo de Salinas, después de haber cortado la carretera general antes citada en la Venta de Noain, para retroceder por las inmediaciones de Biurrun, hasta el punto de origen.

El relieve del terreno es accidentado en su conjunto, por existir al Norte la sierra de Tajonar, con altitudes que exceden de 600 metros y al Sur la de Alaiz, cuya cúspide culminante, denominada Higa de Monreal, se eleva a 1.300 metros sobre el nivel del mar. La zona de investigación se encuentra entre ambas sierras, en forma de valle abierto hacia el Poniente, con un relieve suave. Sus puntos más elevados corresponden a varios cerros que ha respetado la erosión, entre los que citaremos el de Noain, que es el más elevado y tiene 568 metros de altitud; el de Oriz, con 555 metros, y el Altomendi, al Noroeste de Salinas, con 515. Entre estos cerros se extiende una llanura ondulada, cuyos desniveles pasan por diferencias graduales entre límites bastante próximos.

La red hidrográfica está constituida por la primera mitad del río Elorz, que atraviesa la zona de Levante a Poniente, con un caudal de 200 a 300 litros por segundo en la época de aguas medias y por su afluente conocido con el nombre de Barranco de Errecaldea, que bordea la vía férrea de Barcelona a Irún, desde Campanas a Noain, que es precisamente el punto de confluencia. En las márgenes de los dos anteriores hay, además, varios arroyuelos de régimen intermitente, que recogen las aguas pluviales de las vertientes de las sierras de Tajonar y Alaiz.

Las vías de comunicación son buenas y abundantes. El

ferrocarril de Barcelona a Irún atraviesa la concesión minera por su parte occidental, muy próxima a la estación de Noain. Las carreteras de Pamplona, Urroz y Monreal la circundan totalmente y por medio del ramal de Ima-coain se llega al centro de aquélla.

Puede afirmarse, por consiguiente, que las condiciones de situación, topografía y acceso, son inmejorables para el establecimiento de una explotación minera de importancia.

b) *Reseña geológica.*—En la superficie de la zona se encuentra un manto de acarreo, probablemente de origen diluvial, cuyo espesor es muy variable. En algunos puntos alcanza dos metros y aun algo más; en otros queda reducido a una simple manifestación superficial y en otros desaparece completamente. Está constituido por cantos rodados de varios tamaños, mezclados con arena y tierras sin trabazón alguna. Los cantos son de naturaleza caliza en casi su totalidad y presenta multitud de trozos cuajados de *nummulites*, que nos demuestran su formación posterior al tramo luteciense del sistema Eoceno de la sierra de Alaiz, de donde proceden.

En los escarpes de las márgenes del río Elorz y del barranco Erre-caldea, es decir, en un horizonte geológico algo más bajo, se presenta otro banco análogo como de un metro de potencia y entre ambos se intercala una zona de margas blanquecinas descompuestas, que constituyen una gran parte de los terrenos de labor.

Si a partir de este horizonte nos dirigimos hacia el SO., es decir, ascendiendo geológicamente, nos encontramos las margas sabulosas pardo amarillentas, pardo rojizas y grises, con una dirección NO. y buzamientos hacia el tercer cuadrante. Su inclinación oscila entre 5 y 15 grados. Si por el contrario, nos dirigimos al Norte o al Este, cam-

bia el color que se torna gris azulado, aumenta la dureza de las margas en cuanto desaparece la cubierta detrítica, pierden las alternancias sabulosas y lo que es aún más importante, presentan una manifiesta discordancia en la dirección de estratificación. La orientación NO. de las capas de la región occidental de la concesión es de E.-O. en la oriental. Los buzamientos dirigidos hacia el tercer cuadrante en la primera, tienden en la segunda hacia el Norte. Las inclinaciones oscilan entre 0 y 22°, que es el valor que tiene en los estratos próximos a Azperun.

En resumen, esta segunda zona margosa forma un conjunto alabeado, cuya parte horizontal coincide con los alrededores de los pueblos de Torres de Elorz y Zabalegui, la más levantada hacia el contacto con las calizas y la más hundida al Norte y poniente.

Estas consideraciones nos hacen pensar que quizás el horizonte de referencia que hemos indicado sea el de separación del Oligoceno y Eoceno, es decir, que las margas grises azuladas pertenezcan al tramo bartoniense del Eoceno, de acuerdo con el notable geólogo Sr. del Valle.

Sin embargo, el cambio de dirección y buzamiento de las capas es tan gradual, que bien pudiera no existir la discordancia mencionada y en ese caso no son suficientes, a mi juicio, las demás razones para justificar la situación geológica de las margas objeto de estudio.

En la región Sur de la zona se encuentran las calizas lutecienses, que forman el macizo de la sierra de Alaiz. La dirección de los bancos es curvilínea, alrededor del asomo cretáceo que aparece en la parte central de aquella sierra

Desde el punto de vista tectónico, todo parece indicar que, a semejanza de lo que ocurre en la región catalana, se han producido dos clases de empujes: uno, en el senti-

do Norte-Sur, a modo de aproximación de la cordillera pirenaica y en relación directa con su levantamiento, y otro normal al anterior, de aparición simultánea o quizás posterior. Al primero obedece la configuración general de la cuenca, en forma de pliegues orientados de Este a Oeste, que se van desvaneciendo hacia el Sur, a medida que aumenta la distancia a la mencionada cordillera, y al segundo los accidentes locales que afectan a estos pliegues, como son la discordancia de capas producida por la interposición de fallas, la formación de ezeemas y otros accidentes parciales, originados por los movimientos póstumos que siguen al principal y por el aumento de volumen producido por la transformación de la anhidrita en yeso, así como por los movimientos típicos de los bancos salinos, favorecido por el poco espesor de la corteza de recubrimiento.

Sea cual fuere la época, origen y circunstancias de tales accidentes tectónicos y sin entrar en el estudio de las distintas teorías que pudieran explicarlos, desde las antiquísimas de Agrícola, que hacían depender el relieve del suelo de los empujes verticales de las rocas internas, hasta las traslaticias de Wegener y Kossmann, la consecuencia práctica en este caso es que una vez verificado el levantamiento de las capas como resultado de los esfuerzos naturales y roto el equilibrio de las mismas, en la zona que comprende la concesión minera, se produjo una rápida denudación, que se manifiesta en los depósitos de acarreo, a la que siguió otra lenta y progresiva, a través de los tiempos. Esta fué la causa de la desaparición de los estratos oligocenos, hasta dejar aisladas las regiones de Salinas y Monreal, donde aún se presenta esta formación y de que los del Eoceno apareciesen en la superficie.

§ 40. **Las mediciones sísmicas.**—Ya hemos dicho en el Prólogo, que la primera parte de la investigación tiene por objeto seguir, paso a paso, la capa de sal a partir del sondeo realizado en Salinas de Pamplona, y la segunda el estudio de las constantes de velocidad de las margas de la concesión «Elorz».

Para lo primero sirven las líneas sísmicas I, II, III y IV y para lo segundo las V, VI y VII.

Se han empleado simultáneamente tres equipos sísmicos y la estación de telegrafía sin hilos, para el registro del momento de la explosión.

Línea I.—Parte del sondeo de Salinas, tiene una longitud de 915 metros y consta de 11 estaciones.

Los tiempos empleados por la onda sísmica para llegar a cada una de las posiciones que han ocupado los sismógrafos, medidos por el primer ímpetu de los sismogramas en milésimas de segundo y las distancias epicentra-

LINEA I

| Ex- plo- sión | Sis- mó- grafo — Pos. | T — (seg.) | Δ — (kms.) |
|---------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|
| 1. ^a | 1 | 0,050 | 0,072 |
| | 2 | 0,093 | 0,195 |
| | 3 | 0,148 | 0,275 |
| 2. ^a | 4 | 0,156 | 0,335 |
| | 5 | 0,193 | 0,418 |
| | 6 | 0,207 | 0,465 |
| 3. ^a | 7 | 0,218 | 0,525 |
| | 8 | 0,250 | 0,565 |
| | 9 | 0,286 | 0,645 |
| 4. ^a | 10 | 0,301 | 0,769 |
| | 11 | 0,357 | 0,915 |

LINEA II

| Ex- plo- sión | Sis- mó- grafo — Pos. | T — (seg.) | Δ — (kms.) |
|---------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|
| 1. ^a | 1 | 0,040 | 0,060 |
| | 2 | 0,062 | 0,120 |
| | 3 | 0,073 | 0,180 |
| 2. ^a | 4 | 0,100 | 0,240 |
| | 5 | 0,134 | 0,300 |
| | 6 | 0,150 | 0,360 |
| 3. ^a | 7 | 0,168 | 0,420 |
| | 8 | 0,198 | 0,520 |
| | 9 | 0,235 | 0,620 |
| 4. ^a | 10 | 0,260 | 0,720 |
| | 11 | 0,295 | 0,820 |
| | 12 | 0,342 | 0,990 |

les correspondientes, se encuentran reunidos en el cuadro adjunto.

Línea II.—Está situada a continuación de la anterior y

tiene con ella una parte común. Consta de 12 estaciones, distribuidas en una longitud de 990 metros. El cuadro adjunto resume los valores de los tiempos de propagación de las ondas sísmicas y las distancias epicentrales correspondientes.

Línea III.—También tiene una parte común con la II,

LINEA III

| Ex- plo- sión | Sis- mó- grafo — Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|---------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 1. ^a | 1 | 0,035 | 0,050 |
| | 2 | 0,067 | 0,100 |
| | 3 | 0,080 | 0,150 |
| 2. ^a | 4 | 0,110 | 0,200 |
| | 5 | 0,119 | 0,250 |
| | 6 | 0,142 | 0,300 |
| 3. ^a | 7 | 0,154 | 0,350 |
| | 8 | 0,184 | 0,450 |
| | 9 | 0,249 | 0,620 |
| 4. ^a | 10 | 0,317 | 0,820 |
| | 11 | 0,333 | 0,920 |
| | 12 | 0,333 | 0,920 |
| 5. ^a | 11 | 0,052 | 0,075 |
| | 22 | 0,076 | 0,132 |
| | 33 | 0,089 | 0,089 |

y está dirigida en el mismo sentido. Su longitud total es de 920 metros. Primeramente se observaron 12 estaciones; después de terminadas se vió la necesidad de intercalar otras tres, entre las cuatro primeras, para precisar el espesor de las margas superiores al yacimiento salino, por lo que resultan 15 estaciones.

Los valores numéricos de los tiempos de recorrido y las distancias epicentrales respectivas se encuentran en el cuadro tercero.

Línea IV.—Es la última de la alineación formada por las tres anteriores y, como en ellas, tiene también su parte común con la línea III. No se consideró necesario observar más que 10 estaciones, en una longitud de 850 metros.

Los valores numéricos necesarios para el cálculo y construcción de la línea dromocrónica constan en el cuadro correspondiente.

Línea V.—Está situada al Norte del cerro de Oriz, en la posición indicada en el plano topográfico general y va dirigida en sentido contrario a las anteriores. Consta de 10 estaciones, repartidas en una longitud de 2.475 metros.

Los horizontes que determina son tan característicos,

como veremos al estudiar la interpretación de los resultados, que no ha sido preciso interpolar estaciones para aclarar los resultados. Los tiempos de recorrido, obteni-

LINEA IV

| Ex- plo- sión | Sis- mó- grafo — Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|---------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 1. ^a | 1 | 0,028 | 0,025 |
| | 2 | 0,034 | 0,050 |
| | 3 | 0,050 | 0,075 |
| 2. ^a | 4 | 0,068 | 0,150 |
| | 5 | 0,112 | 0,250 |
| | 6 | 0,179 | 0,395 |
| 3. ^a | 7 | 0,198 | 0,495 |
| | 8 | 0,240 | 0,595 |
| | 9 | 0,256 | 0,695 |
| 4. ^a | 10 | 0,221 | 0,850 |

LINEA V

| Ex- plo- sión | Sis- mó- grafo — Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|---------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 1. ^a | 1 | 0,083 | 0,225 |
| | 2 | 0,142 | 0,440 |
| | 3 | 0,193 | 0,685 |
| 2. ^a | 4 | 0,275 | 0,975 |
| | 5 | 0,326 | 1,195 |
| | 6 | 0,384 | 1,465 |
| 3. ^a | 7 | 0,460 | 1,715 |
| | 8 | 0,508 | 1,975 |
| | 9 | 0,679 | 2,225 |
| 4. ^a | 10 | 0,747 | 2,475 |

dos por el cálculo de los sísmogramas, y sus respectivas distancias epicentrales se han reunido en el cuadro de la línea V.

Línea VI.—De análogo sentido a la anterior, es decir,

LINEA VI

| Ex- plo- sión | Sis- mó- grafo — Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|---------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 1. ^a | 1 | 0,049 | 0,100 |
| | 2 | 0,069 | 0,200 |
| | 3 | 0,107 | 0,306 |
| 2. ^a | 4 | 0,181 | 0,570 |
| | 5 | 0,260 | 0,830 |
| | 6 | 0,309 | 0,987 |
| 3. ^a | 7 | 0,397 | 1,310 |
| | 8 | 0,443 | 1,560 |
| | 9 | 0,528 | 1,860 |
| 4. ^a | 10 | 0,642 | 2,320 |
| | 11 | 0,672 | 2,538 |

LINEA VII

| Ex- plo- sión | Sis- mó- grafo — Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|---------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 1. ^a | 1 | 0,027 | 0,050 |
| | 2 | 0,038 | 0,082 |
| | 3 | 0,053 | 0,117 |
| 2. ^a | 1 | 0,066 | 0,177 |
| | 2 | 0,088 | 0,277 |
| | 3 | 0,112 | 0,377 |
| 3. ^a | 1 | 0,155 | 0,527 |
| | 3 | 0,221 | 0,627 |
| | 3 | 0,221 | 0,725 |

hacia el poniente, arranca cerca del límite oriental de la concesión «Elorz», según puede verse en el plano gene-

ral. Tiene 11 estaciones y una longitud de 2.538 metros. El cuadro adjunto contiene los valores numéricos que han de servir para interpretar los resultados obtenidos.

Línea VII.—Se ha efectuado en el ángulo Suroeste de «Elorz», en la situación que se indica en el plano, para adquirir el convencimiento de que no alcanzaban hasta ella los estratos oligocenos ni el yacimiento salino. Tiene una longitud de 725 metros, en los que se han observado nueve estaciones.

Los valores obtenidos se indican en el cuadro de la línea VII.

§ 41. La interpretación geológica de las mediciones sísmicas.—El método seguido para la interpretación geológica de las mediciones sísmicas consiste en trazar las líneas dromocrónicas con los datos de tiempos y distancias, obtenidos de la observación directa; calcular las velocidades de los distintos horizontes que se caractericen en aquéllas, así como la profundidad a que se encuentren, por las fórmulas expuestas. Analizaremos sucesivamente cada una de las líneas estudiadas.

Línea I.—Tanto en esta línea como en las sucesivas, se presentan alineaciones de puntos de la dromocrónica, que nos indican la constancia de la velocidad del rayo sísmico en los diversos horizontes estratigráficos que encuentra aquél bajo la superficie exterior.

Antes de considerar estas alineaciones (véase la figura 98) examinemos los valores adjuntos de la velocidad media del rayo sísmico, al llegar a cada estación.

$$V_{0-1} = \frac{0,072}{0,050} = 1.420 \text{ m/s.} \quad V_{0-3} = \frac{0,275}{0,148} = 1.860 \text{ m/s.}$$

$$V_{0-2} = \frac{0,195}{0,093} = 2.100 \text{ } \quad V_{0-4} = \frac{0,335}{0,156} = 2.150 \text{ } \quad \text{»}$$

$$V_{0-5} = \frac{0,418}{0,193} = 2.150 \text{ m/s.} \quad V_{0-9} = \frac{0,645}{0,286} = 2.250 \text{ m/s.}$$

$$V_{0-6} = \frac{0,465}{0,207} = 2.250 \text{ } \quad V_{0-10} = \frac{0,769}{0,301} = 2.550 \text{ } \quad \text{»}$$

$$V_{0-7} = \frac{0,525}{0,218} = 2.400 \text{ } \quad V_{0-11} = \frac{0,915}{0,357} = 2.550 \text{ } \quad \text{»}$$

$$V_{0-8} = \frac{0,565}{0,250} = 2.250 \text{ } \quad \text{»}$$

La primera velocidad $V_1 = 1.420$ m/s. corresponde a la cubierta detrítica, que tiene muy poco espesor, toda vez

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CONCESIÓN «ELORZ»
Línea dromocrónica número 1

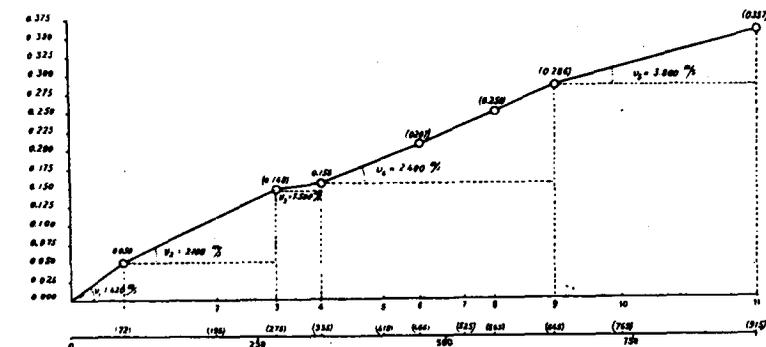


Fig. 98.

que su influencia no pasa de la primera estación. Entre la 1 y la 2 hay un aumento de velocidad que corresponde a la entrada del rayo sísmico en las margas oligocenas, cuya velocidad en este lugar es,

$$V_2 = 2.100 \text{ m/s.}$$

Al pasar de la estación 2 a la 3, la velocidad media experimentalmente el enorme incremento de más de 600 metros

por segundo, en una distancia horizontal muy pequeña, que nos prueba que el rayo sísmico ha cortado otro horizonte, con una característica de velocidad mucho mayor. En este caso sabemos que es la sal.

La velocidad que le caracteriza es,

$$V_3 = V_{3-4} = \frac{0,335 - 0,275}{0,156 - 0,148} = \frac{0,260}{0,008} = 7.500 \text{ m/s.}$$

En la estación 4, la velocidad media vuelve a tener el valor que antes tenía en la 2; o sea que las ondas sísmicas pasan ya debajo del horizonte salino.

Entre las estaciones 4 y 9 hay una alineación de puntos que nos determina la velocidad de estas margas, a saber:

$$V_4 = V_{4-9} = \frac{0,645 - 0,335}{0,286 - 0,156} = \frac{0,310}{0,130} = 2.400 \text{ m/s.}$$

De nuevo encontramos otro aumento, al pasar de la estación 9 a la 10, que se conserva en la siguiente. El nuevo horizonte de margas está caracterizado por la velocidad,

$$V_5 = V_{9-11} = \frac{0,915 - 0,645}{0,357 - 0,286} = \frac{0,270}{0,071} = 3.800 \text{ m/s.}$$

Esta línea nos ha determinado, por consiguiente, dos clases de margas; unas situadas sobre la sal, con la velocidad de 2.100 m/s., y otras debajo, con la constante de $(2.400 + 3.800) : 2 = 3.100$ m/s. Esta enorme diferencia, que comprobaremos en las líneas sucesivas después de tomar los promedios de los valores que obtengamos, nos permitirá distinguirlas después en el resto de la zona de estudio.

Para calcular la profundidad de cada uno de los distintos horizontes, aplicaremos nuestro procedimiento para

$K = 0,27$, que es el valor que resulta de los datos obtenidos en el sondeo, según el cual el muro de la sal está a 90 metros.

$$K = \frac{0,090}{0,335} = 0,27.$$

| | | |
|-------------|------------------------------------|----------------------------|
| Aluvial ... | $72 \times 0,27 = 19 \text{ m.}$ | $V_1 = 1.400 \text{ m/s.}$ |
| Margas ... | $275 \times 0,27 = 74 \text{ m.}$ | $V_2 = 2.100 \text{ »}$ |
| Sal | $335 \times 0,27 = 91 \text{ m.}$ | $V_3 = 7.500 \text{ »}$ |
| Margas ... | $645 \times 0,27 = 174 \text{ m.}$ | $V_4 = 2.400 \text{ »}$ |
| Idem | $915 \times 0,27 > 245 \text{ m.}$ | $V_5 = 3.800 \text{ »}$ |

Estos valores coinciden casi exactamente con los obtenidos en el sondeo practicado en Salinas de Pamplona.

Línea II.—Los valores de la velocidad media del rayo sísmico al llegar a cada sismógrafo son:

| | |
|--|--|
| $V_{0-1} = \frac{0,060}{0,040} = 1.500 \text{ m/s.}$ | $V_{0-7} = \frac{0,420}{0,168} = 2.500 \text{ m/s.}$ |
| $V_{0-2} = \frac{0,120}{0,062} = 1.920 \text{ »}$ | $V_{0-8} = \frac{0,520}{0,198} = 2.625 \text{ »}$ |
| $V_{0-3} = \frac{0,180}{0,073} = 2.475 \text{ »}$ | $V_{0-9} = \frac{0,620}{0,235} = 3.650 \text{ »}$ |
| $V_{0-4} = \frac{0,240}{0,100} = 2.400 \text{ »}$ | $V_{0-10} = \frac{0,720}{0,260} = 2.775 \text{ »}$ |
| $V_{0-5} = \frac{0,300}{0,134} = 2.250 \text{ »}$ | $V_{0-11} = \frac{0,820}{0,295} = 2.800 \text{ »}$ |
| $V_{0-6} = \frac{0,360}{0,150} = 2.400 \text{ »}$ | $V_{0-12} = \frac{0,990}{0,342} = 2.900 \text{ »}$ |

El primer valor, igual a $V_1 = 1.500$ m/s., figura 99, corresponde a la cubierta detrítica, como en la línea anterior, y no pasa tampoco de la primera estación. El aumento de 400 metros, observado al pasar de la primera a la

segunda, indica el paso del rayo sísmico por las margas superiores cuya velocidad es:

$$V_2 = V_{1-2} = \frac{0,120 - 0,060}{0,062 - 0,040} = 2.700 \text{ m/s.}$$

El incremento de este valor, con relación al correspon-

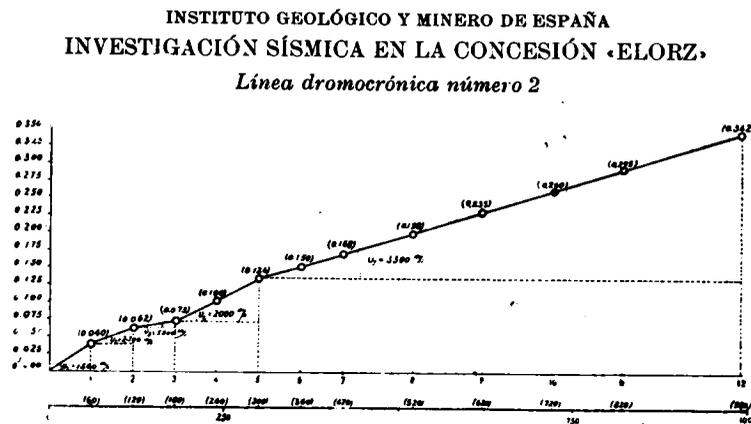


Fig. 99.

diente de la línea I, tiene que ser debido a la posición de la estación 2, que ya debe estar en el horizonte salino.

Entre las estaciones 2 y 3 hay un nuevo incremento de la velocidad media de más de 500 m/s., que corresponde a la capa de sal. La velocidad correspondiente es:

$$V_3 = V_{2-3} = \frac{0,180 - 0,120}{0,073 - 0,062} = 5.500 \text{ m/s.}$$

La disminución de velocidad del horizonte de la sal es debida a que ésta se encuentra más impura y mezclada con las margas, por estar más cercana a la superficie.

Después se presentan las margas, entre las estaciones 3 y 5, con la velocidad,

$$V_4 = V_{3-5} = \frac{0,300 - 0,180}{0,134 - 0,073} = 2.000 \text{ m/s.}$$

y desde la estación 5 a la 12, entre las que la velocidad media crece gradualmente para tratar de igualarse con la del horizonte atravesado, que es

$$V_5 = V_{5-12} = \frac{0,990 - 0,300}{0,342 - 0,134} = 3.300 \text{ m/s.}$$

El promedio de las velocidades de los dos grupos de margas situadas bajo la sal es $(2.000 + 3.300):2 = 2.740 \text{ m/s.}$

El cálculo de profundidades, por el procedimiento explicado, nos suministra los valores siguientes:

| | | |
|-------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Aluvial ... | $60 \times 0,27 = 16,20 \text{ m.}$ | $V_1 = 1.400 \text{ m/s.}$ |
| Margas ... | $120 \times 0,27 = 32,50 \text{ m.}$ | $V_2 = 2.700 \text{ >}$ |
| Sal | $180 \times 0,27 = 64,00 \text{ m.}$ | $V_3 = 5.500 \text{ >}$ |
| Margas ... | $300 \times 0,27 = 81,00 \text{ m.}$ | $V_4 = 2.000 \text{ >}$ |
| Idem | $990 \times 0,27 > 276,00 \text{ m.}$ | $V_5 = 3.300 \text{ >}$ |

El techo de la sal está en esta línea 27 metros más alto que en la anterior $(91 - 64) = 27$, y a 64 metros bajo la superficie.

Línea III.—Las velocidades medias que corresponden a esta línea, son las siguientes:

| | |
|--|--|
| $V_{0-1} = \frac{0,050}{0,035} = 1.400 \text{ m/s.}$ | $V_{0-5} = \frac{0,250}{0,119} = 2.100 \text{ m/s.}$ |
| $V_{0-2} = \frac{0,107}{0,067} = 1.600 \text{ >}$ | $V_{0-6} = \frac{0,300}{0,142} = 2.100 \text{ >}$ |
| $V_{0-3} = \frac{0,150}{0,080} = 1.900 \text{ >}$ | $V_{0-7} = \frac{0,350}{0,154} = 2.275 \text{ >}$ |
| $V_{0-4} = \frac{0,207}{0,110} = 1.800 \text{ >}$ | $V_{0-8} = \frac{0,450}{0,184} = 2.450 \text{ >}$ |

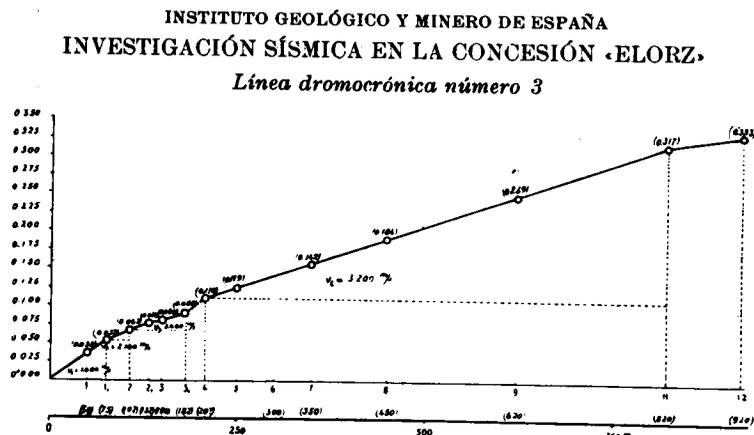
$$V_{0-9} = \frac{0,620}{0,249} = 2.500 \text{ m/s.} \quad V_{0-11} = \frac{0,075}{0,052} = 1.400 \text{ m/s.}$$

$$V_{0-10} \text{ (falló)} \quad V_{0-21} = \frac{0,132}{0,076} = 1.750 \text{ ,}$$

$$V_{0-11} = \frac{0,820}{0,317} = 2.600 \text{ ,} \quad V_{0-31} = \frac{0,182}{0,089} = 2.050 \text{ ,}$$

$$V_{0-12} = \frac{0,920}{0,333} = 2.750 \text{ ,}$$

La cubierta detrítica alcanza hasta la estación interpo-



lada 1, y se caracteriza por la velocidad ya conocida $V_1 = 1.400 \text{ m/s.}$, figura 100.

Después, entre 1₁ y 2, encontramos las margas superiores a la sal con su velocidad,

$$V_2 = V_{11-2} = \frac{0,107 - 0,075}{0,067 - 0,052} = \frac{0,032}{0,015} = 2.150 \text{ m/s.}$$

Desde la estación 2 a la 3₁, hay un aumento de 450 m/s. en el valor de la velocidad media menor que en la línea

anterior, lo que nos indica que la sal está más borrascosa que en ella.

El horizonte está caracterizado por el valor,

$$V_3 = V_{2-31} = \frac{0,182 - 0,107}{0,089 - 0,067} = \frac{0,075}{0,022} = 3.250 \text{ m/s.}$$

que no puede corresponder más que a la mezcla de margas y sal para constituir, no un horizonte salino, sino una marga salada.

De la estación 3₁ a la 4, hay una brusca disminución de velocidad, que puede ser debida a que, a más de una ligera capa de margas, como en los casos anteriores, el rayo sísmico ha encontrado el horizonte de conglomerado suelto, que existe en la separación del Eoceno con el Oligoceno. Esta velocidad es,

$$V_{31-4} = \frac{0,207 - 0,182}{0,110 - 0,089} = \frac{0,025}{0,021} = 1.200 \text{ m/s.}$$

que no representa la de las margas.

Desde la estación 4 a la 12 progresa paulatinamente la velocidad sísmica, para alcanzar el valor que corresponde al horizonte atravesado.

$$V_4 = V_{4-12} = \frac{0,920 - 0,207}{0,333 - 0,110} = \frac{0,713}{0,223} = 3.200 \text{ m/s.}$$

que, como antes, caracteriza las margas inferiores a la sal.

Las profundidades obtenidas para los distintos horizontes son:

| | | | | |
|--------------|-------|---------------------|-----------------------|----------------------------|
| Aluvial | ..... | $75 \times 0,27 =$ | 20 m. | $V_1 = 1.400 \text{ m/s.}$ |
| Margas | ..... | $107 \times 0,27 =$ | 29 m. | $V_2 = 2.100 \text{ ,}$ |
| Salado | ..... | $182 \times 0,27 =$ | 49 m. | $V_3 = 3.250 \text{ ,}$ |
| Conglomerado | ..... | $207 \times 0,27 =$ | 72 m. | $V_4 = 1.200 \text{ ,}$ |
| Margas | ..... | $820 \times 0,27 =$ | $\geq 305 \text{ m.}$ | $V_5 = 3.200 \text{ ,}$ |

El techo de la capa salada ha subido 15 metros con relación a la línea anterior $(64 - 49) = 15$ y se encuentra a 49 metros bajo la superficie.

Línea IV.—Los valores obtenidos para las velocidades medias por la observación directa son:

$$\begin{aligned} V_{0-1} &= \frac{0,025}{0,028} = 890 \text{ m/s.} & V_{0-6} &= \frac{0,395}{0,179} = 2.200 \text{ m/s.} \\ V_{0-2} &= \frac{1,050}{0,034} = 1.470 \text{ } & V_{0-7} &= \frac{0,495}{0,198} = 2.500 \text{ } \\ V_{0-3} &= \frac{0,075}{0,050} = 1.500 \text{ } & V_{0-8} &= \frac{0,595}{0,240} = 2.500 \text{ } \\ V_{0-4} &= \frac{0,110}{0,068} = 1.620 \text{ } & V_{0-9} &= \frac{0,695}{0,256} = 2.700 \text{ } \\ V_{0-5} &= \frac{1,250}{0,112} = 2.220 \text{ } & V_{0-10} &= \frac{0,850}{0,321} = 2.650 \text{ } \end{aligned}$$

El pequeño valor obtenido primeramente, $V_1 = 890$ m/s. figura 101, corresponde exclusivamente a la delgada capa

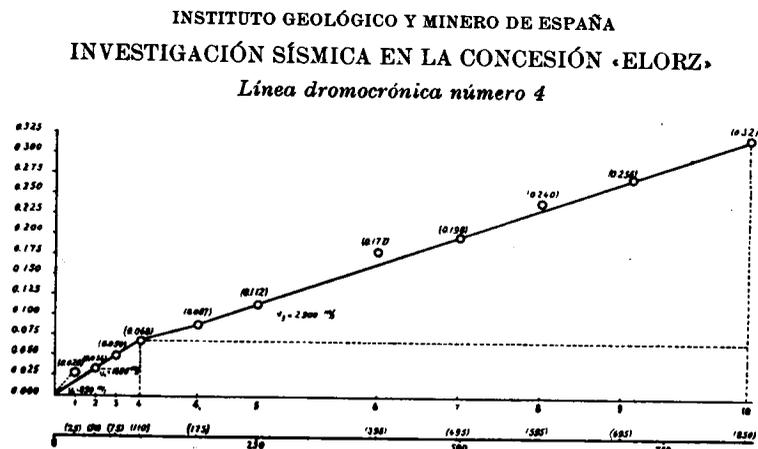


Fig. 101.

aluvial que cubre la superficie. Esta capa ha sido aprecia-

da, por haber colocado el primer sismógrafo a la pequeña distancia epicentral de 25 metros.

Hasta la estación 4 inclusive, permanece casi constante la velocidad media. El horizonte atravesado tiene una constante sísmica,

$$V_2 = V_{0-4} = 1.600 \text{ m/s.}$$

Desde la estación 5 en adelante, se manifiesta el aumento progresivo de velocidad, hasta la última estación efectuada. La alineación de puntos, en la línea dromocrónica, nos determina la velocidad correspondiente a su horizonte, que es,

$$V_3 = V_{4-10} = \frac{0.850 - 0.110}{0.321 - 0.068} = 2.900 \text{ m/s.}$$

En esta línea obtenemos, únicamente, dos horizontes distintos de margas. Uno superior a 1.600 m/s. de velocidad sísmica y otro inferior con el valor de 2.900 metros en igual cantidad de tiempo, que son los dos que venimos siguiendo desde el sondeo de Salinas.

Esto nos prueba que se ha terminado, por completo, el horizonte salado y que las margas oligocenas y eocenas están separadas por una capa de cantos rodados, que ya mencionamos en la descripción geológica.

Tomando el promedio de los valores de V_1 obtenidos para los dos horizontes de margas, resulta:

$$\text{Margas oligocenas... } V_1 = 2.100 \text{ m/s.}$$

$$\text{Margas eocenas } V_2 = 3.000 \text{ } >$$

En realidad, aun hay más diferencia entre ambas, por las razones que expusimos en la línea II, que dió un valor de V_1 mayor del verdadero.

Línea V.—Los valores de la velocidad media de las ondas sísmicas son los siguientes:

$$\begin{aligned} V_{0-1} &= \frac{0,225}{0,083} = 2.700 \text{ m/s.} & V_{0-6} &= \frac{1,465}{0,384} = 3.800 \text{ m/s.} \\ V_{0-2} &= \frac{0,440}{0,142} = 3.100 \text{ } & V_{0-7} &= \frac{1,715}{0,460} = 3.750 \text{ } \\ V_{0-3} &= \frac{0,685}{0,193} = 3.550 \text{ } & V_{0-8} &= \frac{1,975}{0,508} = 3.900 \text{ } \\ V_{0-4} &= \frac{0,975}{0,275} = 3.600 \text{ } & V_{0-9} &= \frac{2,225}{0,679} = 3.300 \text{ } \\ V_{0-5} &= \frac{1,195}{0,326} = 3.650 \text{ } & V_{0-10} &= \frac{2,475}{0,747} = 3.300 \text{ } \end{aligned}$$

Como la primera estación tiene ya una distancia epicentral de 225 metros, figura 102, no apreciamos la capa alu-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CONCESIÓN «ELORZ»
Línea dromocrónica número 5

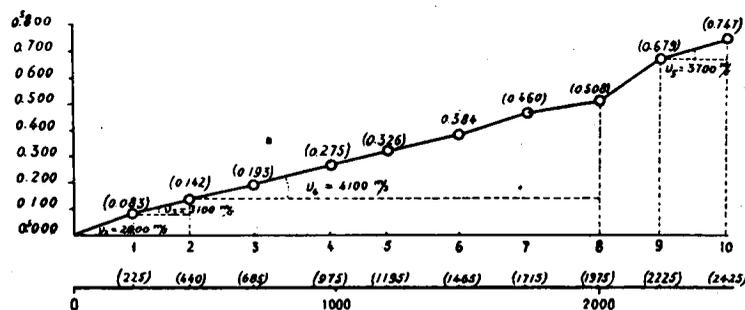


Fig. 102.

via. La primera determinada es la de las margas superficiales, cuya constante es,

$$V_1 = V_{0-1} = 2.700 \text{ m/s.}$$

El aumento que nos manifiestan las velocidades medias entre las estaciones 1 y 2, nos indica el horizonte subyacente, al que le corresponde

$$V_2 = V_{0-2} = 3.100 \text{ m/s.}$$

Este horizonte es, sin duda alguna, el de las margas eocenas. El anterior, a juzgar solamente por el valor absoluto de la velocidad, podría ser el de las oligocenas. No lo creemos así, sin embargo. Todos los estratos superficiales de un mismo horizonte geológico, pierden una gran parte de su velocidad sísmica por la acción de los agentes de erosión y a esto es debida la disminución superficial.

A continuación, la velocidad media aumenta poco a poco hasta la estación 8. El horizonte atravesado por el rayo sísmico tiene por constante,

$$V_4 = V_{2-8} = \frac{1,975 - 0,440}{0,508 - 0,142} = 4.100 \text{ m/s.}$$

que es el valor que caracteriza las calizas de la zona.

Entre las estaciones 8 y 9 hay una brusca disminución de velocidad media que se conserva aún en la 10, indicándonos entre estas dos últimas un valor aparente

$$V_5 = V_{9-10} = \frac{2,475 - 2,225}{0,747 - 0,679} = 3.700 \text{ m/s.}$$

Lo más probable es que hemos cortado una falla en la trayectoria sísmica. Como no interesa aclararlo, para el problema que nos ocupa, no hemos efectuado más estaciones destinadas a tal objeto.

En resumen, esta línea nos permite asegurar, que las margas de la región donde ha sido establecida son las del Eoceno.

La profundidad de las calizas, cerca del barreno, es de 119 metros y varía según el lugar elegido, por el buzamiento de los estratos.

Línea VI.—Siguiendo el criterio establecido, presenta-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CONCESIÓN «ELORZ»

Línea dromocrónica número 6

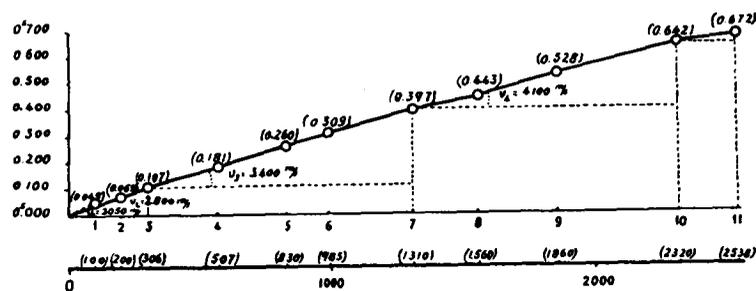
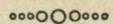


Fig. 103.

mos a continuación los valores obtenidos para las velocidades medias:

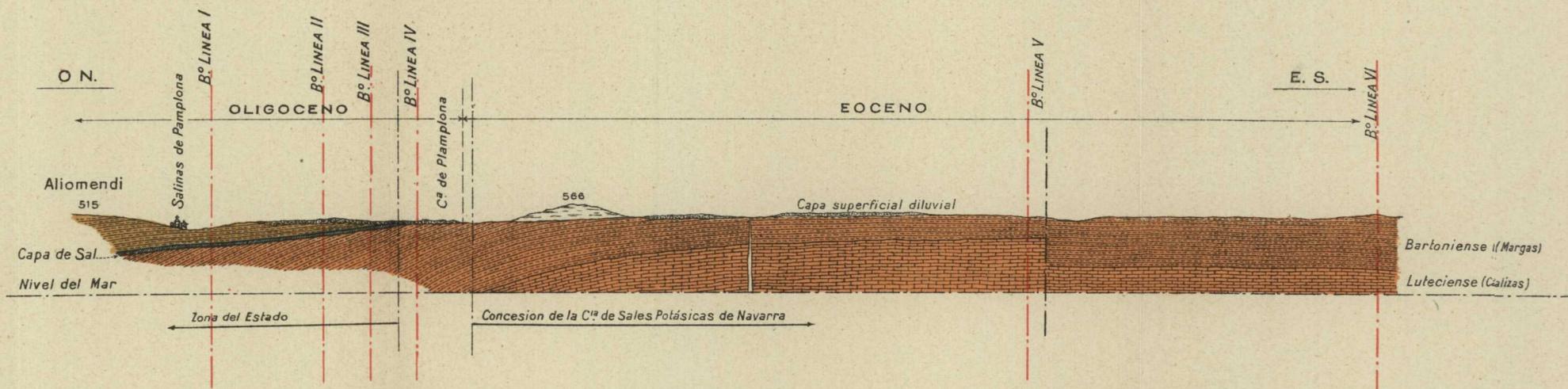
$$\begin{array}{l}
 V_{0-1} = \frac{0,100}{0,049} = 2,050 \text{ m/s.} \\
 V_{0-2} = \frac{0,200}{0,069} = 2,900 \text{ } \\
 V_{0-3} = \frac{0,306}{0,107} = 2,900 \text{ } \\
 V_{0-4} = \frac{0,570}{0,181} = 3,350 \text{ } \\
 V_{0-5} = \frac{0,830}{0,260} = 3,200 \text{ } \\
 V_{0-6} = \frac{0,987}{0,309} = 3,200 \text{ } \\
 V_{0-7} = \frac{1,310}{0,395} = 3,300 \text{ m/s.} \\
 V_{0-8} = \frac{1,560}{0,443} = 3,500 \text{ } \\
 V_{0-9} = \frac{1,860}{0,528} = 3,500 \text{ } \\
 V_{0-10} = \frac{2,320}{0,642} = 3,600 \text{ } \\
 V_{0-11} = \frac{2,538}{0,672} = 3,800 \text{ }
 \end{array}$$

La línea dromocrónica correspondiente, figura 103, nos manifiesta la velocidad superficial, por ser menor la distancia epicentral de la estación primera que la correspondiente de la línea anterior,



INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CONCESION MINERA ELORZ (NAVARRA)

CORTE GEOLÓGICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL QUE PASA POR EL SONDEO DE PAMPLONA SOBRE EL QUE SE PROYECTAN LAS LÍNEAS SÍSMICAS NÚMEROS I, II, III, IV, V Y VI



Escala de 1:40.000

$$V_1 = V_{0-1} = 2.050 \text{ m/s.}$$

Hasta la estación 3 se manifiesta el influjo de los agentes externos, disminuyendo el valor de la constante de las margas hasta

$$V_2 = V_{2-3} = \frac{0,306 - 0,200}{0,107 - 0,069} = 2.800 \text{ m/s.}$$

Después ya aparecen éstas con su verdadero valor,

$$V_3 = V_{3-6} = \frac{0,987 - 0,306}{0,309 - 0,107} = 3.400 \text{ m/s.}$$

A continuación, entre las estaciones 7 y 10, encontramos las calizas,

$$V_4 = V_{7-10} = \frac{2,320 - 1,310}{0,642 - 0,397} = 4.100 \text{ m/s.}$$

Y por último, entre las estaciones 10 y 11, se presenta un nuevo accidente geológico, que no nos hemos detenido a aclarar por las razones ya dichas.

Esta línea, como la anterior, nos permite asegurar que no hay sal en la región correspondiente de la concesión «Elorz», y que las margas que en ella existen son también las del Eoceno.

En la parte media de la línea, las calizas se encuentran a 350 metros de profundidad.

Con los datos de todas las líneas anteriores se ha construido el corte geológico, representado en las láminas XXV y XXVI.

Línea VII.—Los valores de las velocidades medias, son los siguientes:

$$\begin{aligned}
 V_{0-1} &= \frac{0,050}{0,027} = 1.850 \text{ m/s.} & V_{0-5} &= \frac{0,277}{0,088} = 3.150 \text{ m/s.} \\
 V_{0-2} &= \frac{0,082}{0,038} = 2.150 \text{ »} & V_{0-6} &= \frac{0,377}{0,112} = 3.400 \text{ »} \\
 V_{0-3} &= \frac{0,117}{0,053} = 2.200 \text{ »} & V_{0-7} &= \frac{0,527}{0,155} = 3.400 \text{ »} \\
 V_{0-4} &= \frac{0,177}{0,066} = 2.700 \text{ »} & V_{0-9} &= \frac{0,725}{0,221} = 3.300 \text{ »}
 \end{aligned}$$

La cubierta detrítica está caracterizada por la constante, figura 104,

$$V_1 = V_{0-1} = 1.850 \text{ m/s.}$$

Enseguida se encuentran las margas, afectadas por los

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CONCESIÓN «ELORZ»

Línea dromocrónica número 7

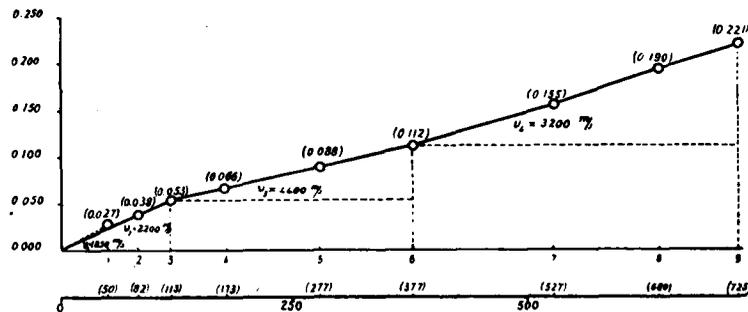


Fig. 104.

agentes exteriores, hasta la estación 3, a las que corresponde,

$$V_2 = V_{0-2} = 2.200 \text{ m/s.}$$

Inmediatamente debajo se encuentran las calizas, que se nos manifiestan entre las estaciones 3 y 6, con la velocidad,

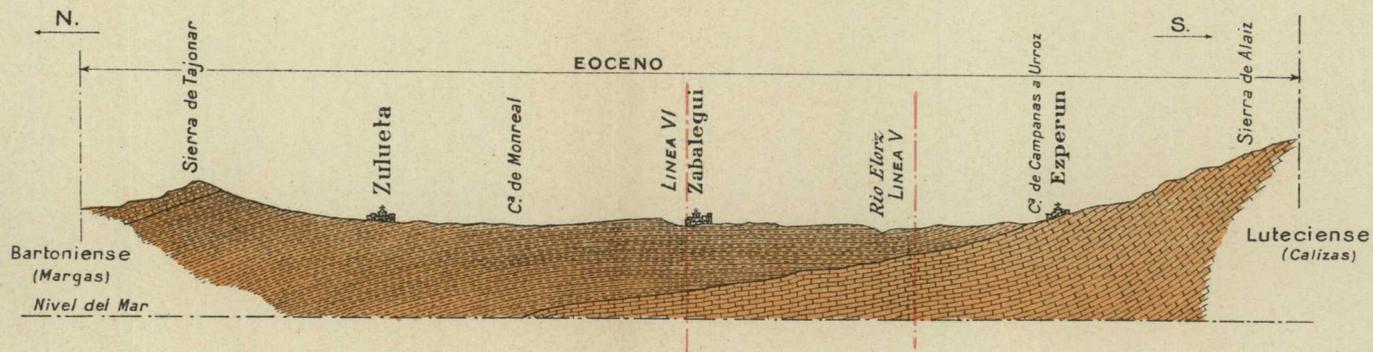


INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

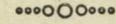
○○○○○

INVESTIGACION SISMICA EN LA CONCESION MINERA ELORZ (NAVARRA)

CORTE GEOLOGICO SEGUN UN PLANO VERTICAL QUE PASA POR EZPERUN,
ZABALEGUI Y ZULUETA

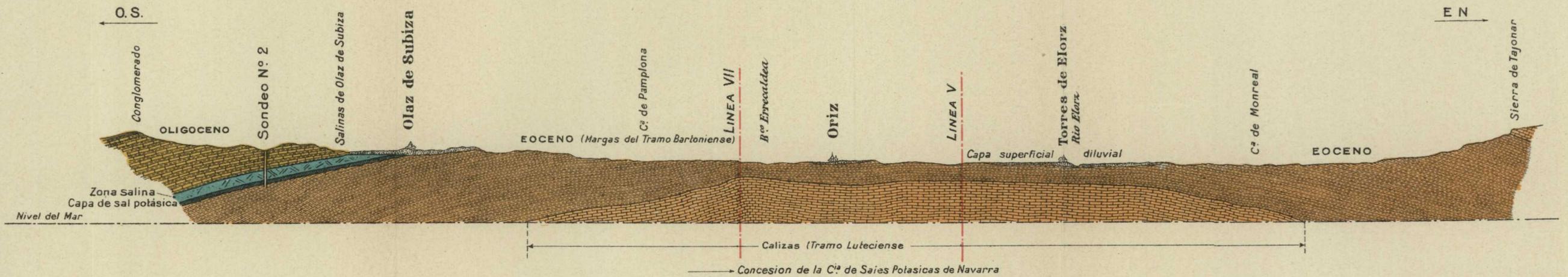


Escala de 1:40.000



INVESTIGACION SISMICA EN LA CONCESION MINERA ELORZ (NAVARRA)

CORTE GEOLÓGICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL QUE PASA POR EL SONDEO
NÚMERO 2 Y EL PUEBLO DE ORIZ



Escala de 1:40.000

$$V_3 = V_{3-6} = \frac{0,377 - 0,117}{0,112 - 0,053} = 4.400 \text{ m/s.}$$

Ahora podemos ver la comprobación de lo que hemos afirmado, respecto a la influencia de los agentes de erosión, en la constante de velocidad de un mismo horizonte geológico, puesto que, en este caso, no cabe duda alguna de que las margas situadas sobre las calizas son las del Eoceno.

Después de las calizas volvemos a encontrar un tramo de margas, con el valor,

$$V_4 = V_{6-9} = \frac{0,725 - 0,377}{0,221 - 0,112} = 3.200 \text{ m/s.}$$

Resumiendo lo que acabamos de explicar, esta línea nos da resultados análogos a los dos anteriores. En las proximidades del barreno, la caliza se encuentra próxima a la superficie. En la lámina XXVII se representa el corte geológico que se refiere a esta línea sísmica.

§ 42. Resumen.—En los cortes geológicos que acompañan esta Memoria, se exponen ordenadamente los resultados obtenidos en la investigación sísmica. Estos resultados han sido comprobados por medio de varios sondeos, efectuados por la Compañía de Sales Potásicas de Navarra, recientemente. En los cortes se manifiesta claramente:

- 1.º El yacimiento salino está fuera de la concesión minera «Elorz», de la Compañía de Sales Potásicas de Navarra.
- 2.º No hay posibilidad de encontrar sal en ningún lugar de la concesión mencionada.
- 3.º Se puede afirmar que toda ella se encuentra en el Eoceno.

4.º Debemos mencionar la aplicación que ha tenido el método sísmico de prospección para resolver el problema geológico de la edad de las margas de la concesión «Elorz».

Las mediciones efectuadas han demostrado que la constante de velocidad de estas últimas es igual a la que corresponde a las situadas bajo la sal, en el sondeo de Salinas de Pamplona, que pertenecen al Eoceno y 1.000 metros por segundo superior a las situadas sobre aquélla, que constituían el nivel más bajo del Oligoceno.

CAPÍTULO X

LA INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA. CONSTRUCCIÓN DEL PLANO ALTIMÉTRICO DEL SUBSUELO

§ 43. **Prólogo.**—Ante las dificultades que se han presentado en la región minera de Hiendelaencina para encontrar la prolongación del filón argentífero denominado «Rico», después de su límite en la falla «La Vascongada», el Instituto Geológico y Minero de España; decidió efectuar una investigación sísmica, que permitiese construir un plano altimétrico del subsuelo, constituido por el neis recubierto de aluviones modernos, y facilitar así el estudio de nuevas investigaciones mineras.

Este trabajo se efectuó bajo la dirección de mi malogrado compañero Sr. O'Shea con el personal y material de la Sociedad «Geos», ya disuelta.

Los sismógrafos utilizados fueron los del modelo «Ambronn», que se describen minuciosamente en las páginas 275-290 de mi obra «Los Métodos Geofísicos de Prospección», y el método de trabajo seguido, también expuesto en la citada obra, se explica brevemente en el § 7 de esta Memoria.

§ 44. **Reseña geográfica y geológica.**

a) *Reseña geográfica.*—El pueblo de Hiendelaencina,

que da nombre a uno de los distritos mineros más importantes de España, por la calidad de sus yacimientos argentíferos, está enclavado en las últimas estribaciones de la parte meridional de la sierra del Alto Rey, perteneciente a la cordillera central o Carpeto Vetónica, en la región Norte de la provincia de Guadalajara.

En su término municipal, a poco más de un kilómetro del casco de la población, hacia levante, se encuentra el lugar denominado Llanos de San Martín, donde se ha verificado la investigación sísmica que vamos a describir en los párrafos siguientes.

Dicho lugar forma parte de una gran meseta, sensiblemente horizontal, surcada por algunas barrancadas y arroyos. Por el Norte, se extiende hasta el pueblo de Robledo de Corpes; por el Sur y Levante rodea, en forma de abanico abierto, el cerro denominado El Otero, hasta internarse en los términos municipales de Congostrina y Pálmaces de Jadraque.

Considerada la región en conjunto, corresponde a la parte más accidentada de la provincia, en su límite con la de Soria, con alturas que superan la cota de 1.800 metros sobre el nivel del mar.

Su parte central está envuelta por las sierras en forma de herradura y comprende una superficie de unos 10 kilómetros de anchura por 15 de fondo. La mitad, próximamente, corresponde a terrenos abruptos, especialmente en la parte donde se abre paso el río Bornoba, dentro del término de Hiendelaencina, y el resto está constituido por tres mesetas aisladas entre sí por los cauces del mencionado río y de su afluente llamado Cristóbal o de la Vega.

La situación de estas mesetas concuerda con la de los vértices de un triángulo equilátero. La más pequeña y de

mayor elevación es la situada al Norte, cuyas altitudes aumentan desde 1.100 metros hasta 1.300. Las otras dos, una de las cuales corresponde a la zona de la investigación, rara vez superan la primera de dichas cotas y suelen descender, en muchos puntos, por debajo de los 1.000 metros.

El pueblo de Hiendelaencina, cuya altitud es de 1.080 metros, se alza sobre una de las lomas del macizo neísico. Al saliente del mismo se encuentran los Llanos de San Martín, sobre terreno de acarreo, con una altitud media de 1.110 metros.

El relieve pasa por todas las gradaciones comprendidas entre los 1.000 y los 2.000 metros, en una escasa extensión superficial, lo que nos evidencia el carácter accidentado de la región.

El clima, muy variable, es frío, como suele ocurrir en toda la meseta central, de la que forma una de las zonas más elevadas. En el invierno se registran temperaturas que pasan de 15° bajo cero y el verano es fresco.

Las lluvias son escasas e irregulares a causa de la gran escasez de arbolado y las nieves coronan las crestas más elevadas durante una gran parte del año.

Como medios de comunicación cuenta con dos carreteras que unen Hiendelaencina y los pueblos de Jadraque y Espinosa de Henares, de los que dista 23 y 31 kilómetros respectivamente. En la actualidad se halla en construcción, y muy próxima a terminarse, la prolongación de la primera hasta la villa de Atienza, cabeza del partido, separada de Hiendelaencina hacia el NE. alrededor de 21 kilómetros.

b) *Reseña geológica.*—La región minera de Hiendelaencina comprende dos clases de formaciones geológicas: el Estrato cristalino y el Aluvial o de acarreo, cada

uno de los cuales cubre, próximamente, la misma superficie. En el primero, que se oculta en parte por el Aluvial y en cuya periferia se apoyan las rocas estratificadas, enclavan los filones que han sido objeto de explotaciones importantes, a partir de su descubrimiento, efectuado a mediados del siglo pasado (véase el esquema de la hoja de Hiendelaencina, lámina XXVIII).

Al Norte, levante y poniente, se superponen al Estrato cristalino los bancos de cuarcitas y pizarras silurianas, correspondientes a su tramo inferior u ordoviciense. Al Sur, se encuentran también las rocas triásicas y cretáceas, superpuestas directamente sobre el neis.

De los tres pisos que se le asignan al sistema Estrato cristalino, sólo se manifiesta el inferior de un modo claro y definido. Está compuesto, en su mayor parte, por la variedad porfiroide, que insensiblemente pasa a ser amigdaloido o glandular. En él se encuentran engastados multitud de nódulos feldespáticos, cuyo tamaño llega a ser hasta el de los huevos de gallina. Forman zonas de grandes espesores, que alternan con otras en las que dichos elementos aparecen reemplazados por la mica. Esta las imprime el color claro o negruzco según el predominio de la muscovita o de la biotita y las da una textura pizarrea hasta convertirse, aparentemente, en verdaderas micacitas.

En algunos trabajos mineros se han cortado también capas de cuarcita, intercaladas en el neis, cuyo espesor ha oscilado entre 0,40 y 20 metros de potencia,

La textura pizarrea que imprime al neis la interposición de la mica, permite fijar su orientación como si se tratase de una roca francamente estratificada, lo que ha permitido comprobar que su disposición general coincide con la marcha curvilínea de las capas silurianas de las

sierras circundantes, como si el macizo néisico o quizás granítico entonces, hubiera ascendido verticalmente sometido a la fuerte presión de las capas primarias, una parte de las cuales ocupa actualmente sus alrededores y el resto ha desaparecido por la denudación ocasionada por los agentes exteriores.

El terreno de acarreo, dispuesto en forma de terrazas aisladas, constituye las tres mesetas principales a que nos hemos referido en la reseña geográfica, que no son más que los restos de una gran formación aluvial que cubrió el Estrato cristalino en épocas geológicas anteriores.

Está compuesto de cantos rodados de cuarcita, de cuarzo con menos frecuencia y de trozos néisicos de la roca infrayacente, mezclados con materiales arcillosos teñidos por el óxido de hierro. Los cantos tienen dimensiones comprendidas entre uno y veinte centímetros y pueden considerarse en conjunto como un diluvium local formado en una sedimentación tumultuosa.

§ 45. Construcción del plano altimétrico del subsuelo.

a) *Determinación de la velocidad sísmica en las aluviones superficiales.*—Vamos a aclarar el procedimiento expuesto en el § 7, por medio de un ejemplo, que corresponde al perfil designado con el número 20.

Los sismógrafos se han colocado en cinco posiciones diferentes, a las siguientes distancias al origen (fig. 105):

| | | | | | |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------|
| 1. ^a posición | 70 | 90 | 110 | 130 | 150 metros. |
| 2. ^a » | 180 | 210 | 240 | 270 | » |
| 3. ^a » | 330 | 360 | 390 | 420 | » |
| 4. ^a » | 235 | 215 | 195 | 175 | » |
| 5. ^a » | 125 | 100 | 75 | 50 | » |

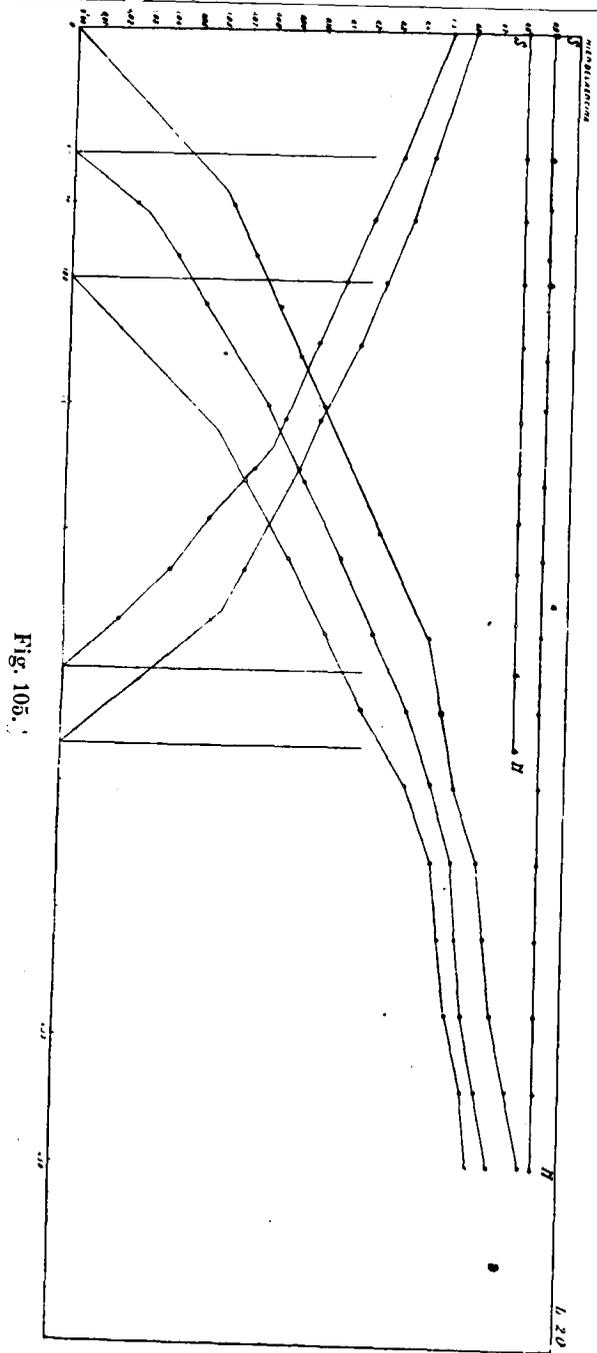


Fig. 105.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SISMICA EN HIEDELAENCINA
 Línea dromocrónica número 20

Las explosiones se han efectuado en cinco puntos distintos, a saber:

- 0 50 100 255 285 metros.

Las combinaciones entre la posición de los sismógrafos y la de las explosiones han sido:

| | |
|---|-------|
| Tres a 0 metros, correspondientes a cada una de las posiciones de los sismógrafos | 1-2-3 |
| Tres a 50 metros, íd. íd. | 1-2-3 |
| Dos a 100 metros, íd. íd. | 2-3 |
| Dos a 255 metros, íd. íd. | 4-5 |
| Dos a 285 metros, íd. íd. | 4-5 |

Construída la curva dromocrónica correspondiente a las tres explosiones efectuadas, en el emplazamiento 0 metros, figura 105, se obtienen los valores siguientes para las velocidades de propagación y los espesores de las capas que componen el recubrimiento:

$$0 \text{ m. } \left\{ \begin{array}{ll} V_1 = 1.050 \text{ m/s.} & h_1 = 16,3 \text{ m.} \\ V_2 = 2.130 \text{ } & h_2 = 71,8 \text{ } \\ V_3 = 5.150 \text{ } & \end{array} \right.$$

La curva que corresponde al emplazamiento del barro a 50 metros del origen, nos suministra los valores,

$$50 \text{ m. } \left\{ \begin{array}{ll} V_1 = 785 \text{ m/s.} & h_1 = 6,4 \text{ m.} \\ V_2 = 1.575 \text{ } & h_2 = 12,2 \text{ } \\ V_3 = 2.065 \text{ } & h_3 = 75,5 \text{ } \\ V_4 = 5.460 \text{ } & \end{array} \right.$$

Para el situado a 100 metros del origen, se obtiene:

$$100 \text{ m. } \left\{ \begin{array}{ll} V_1 = 1.000 \text{ m/s.} & h_1 = 14,8 \text{ m.} \\ V_2 = 1.803 \text{ } & h_2 = 31,1 \text{ } \\ V_3 = 2.860 \text{ } & h_3 = 75,6 \text{ } \\ V_4 = 7.500 \text{ } & \end{array} \right.$$

Para el situado a 255,

$$255 \text{ m. } \left\{ \begin{array}{ll} V_1 = 954 \text{ m/s.} & h_1 = 5,1 \text{ m.} \\ V_2 = 1.212 \text{ } & h_2 = 20,9 \text{ } \\ V_3 = 2.360 \text{ } & h_3 = 10,3 \text{ } \\ V_4 = 2.565 \text{ } & \end{array} \right.$$

Y para el último, situado a 285,

$$285 \text{ m. } \left\{ \begin{array}{ll} V_1 = 847 \text{ m/s.} & h_1 = 16,2 \text{ m.} \\ V_2 = 2.050 \text{ } & h_2 = 13,6 \text{ } \\ V_3 = 2.500 \text{ } & h_3 = 25,6 \text{ } \end{array} \right.$$

Al comparar los valores encontrados para h , vemos la gran irregularidad del depósito cuaternario exterior, que varía esencialmente sus condiciones, aun en distancias muy pequeñas.

Si deducimos la velocidad media en el recubrimiento por medio de las explosiones efectuadas a los 0-50 y 100 metros, se obtienen los valores,

| | |
|-----------------|------------|
| 0 metros..... | 1.950 m/s. |
| 50 metros..... | 2.023 > |
| 100 metros..... | 2.015 > |
| Promedio. | 2.000 > |

Los valores medios son, por consiguiente, muy regulares. La potencia total del recubrimiento, deducida de las mismas mediciones efectuadas a 0-50 y 100 metros, tiene el valor medio de 103,1 metros.

b) *Determinación de la velocidad sísmica en el subsuelo.*—La velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo constituido por el neis, se determinó directamente, en la zona donde aflora a la superficie, y por

medio de perfiles sísmicos de gran longitud. El valor medio hallado fue de 5.500 metros por segundo.

Determinadas las velocidades de 2.000 y 5.500 metros por segundo, correspondientes respectivamente al recubrimiento cuaternario y al subsuelo formado por el neis podemos aplicar el procedimiento de cálculo explicado.

c) *Método para calcular el espesor de los aluviones.*—Consideremos, por ejemplo, los sísmógrafos en la posición III, es decir, a los 330-360-390 y 450 metros del origen. Las ecuaciones de condición para los lugares de explosión, situados a 0-50 y 100 metros, son:

$$0 \text{ m. } \left\{ \begin{array}{l} h_{E_0} + h_{S_{330}} = \left(0,1660 - \frac{330}{5,500}\right) \cdot 2.000 = 212,0 \\ h_{E_0} + h_{S_{360}} = \left(0,1688 - \frac{360}{5,500}\right) \cdot 2.000 = 206,6 \\ h_{E_0} + h_{S_{390}} = \left(0,1722 - \frac{390}{5,500}\right) \cdot 2.000 = 202,4 \\ h_{E_0} + h_{S_{420}} = \left(0,1792 - \frac{420}{5,500}\right) \cdot 2.000 = 205,4 \\ h_{E_0} + h_{S_{450}} = \left(0,1849 - \frac{450}{5,500}\right) \cdot 2.000 = 206,0 \end{array} \right.$$

$$50 \text{ m. } \left\{ \begin{array}{l} h_{E_{50}} + h_{S_{330}} = \left(0,1560 - \frac{280}{5,500}\right) \cdot 2.000 = 210,2 \\ h_{E_{50}} + h_{S_{360}} = \left(0,1575 - \frac{310}{5,500}\right) \cdot 2.000 = 202,4 \\ h_{E_{50}} + h_{S_{390}} = \left(0,1610 - \frac{340}{5,500}\right) \cdot 2.000 = 198,6 \\ h_{E_{50}} + h_{S_{420}} = \left(0,1672 - \frac{370}{5,500}\right) \cdot 2.000 = 199,8 \\ h_{E_{50}} + h_{S_{450}} = \left(0,1727 - \frac{400}{5,500}\right) \cdot 2.000 = 198,4 \end{array} \right.$$

$$100 \text{ m.} \left\{ \begin{array}{l} h_{E_{100}} + h_{S_{330}} = \left(0,1482 - \frac{230}{5,500} \right) \cdot 2.000 = 212,8 \\ h_{E_{100}} + h_{S_{360}} = \left(0,1505 - \frac{260}{5,500} \right) \cdot 2.000 = 206,4 \\ h_{E_{100}} + h_{S_{390}} = \left(0,1540 - \frac{290}{5,500} \right) \cdot 2.000 = 202,6 \\ h_{E_{100}} + h_{S_{420}} = \left(0,1610 - \frac{320}{5,500} \right) \cdot 2.000 = 205,4 \\ h_{E_{100}} + h_{S_{450}} = \left(0,1640 - \frac{350}{5,500} \right) \cdot 2.000 = 200,6 \end{array} \right.$$

Restando, una a una, las ecuaciones de los sistemas segundo y tercero de sus correspondientes del primero obtendremos:

$$\begin{array}{ll} h_{E_0} - h_{E_{50}} = 1,8 \text{ m.} & h_{E_0} - h_{E_{100}} = - 0,8 \text{ m.} \\ h_{E_0} - h_{E_{50}} = 4,4 \text{ m.} & h_{E_0} - h_{E_{100}} = + 0,2 \text{ m.} \\ h_{E_0} - h_{E_{50}} = 3,8 \text{ m.} & h_{E_0} - h_{E_{100}} = - 0,2 \text{ m.} \\ h_{E_0} - h_{E_{50}} = 5,6 \text{ m.} & h_{E_0} - h_{E_{100}} = 0,0 \text{ m.} \\ h_{E_0} - h_{E_{50}} = 7,6 \text{ m.} & h_{E_0} - h_{E_{100}} = + 5,4 \text{ m.} \\ \text{Promedio } 4,6 \text{ m.} & \text{Promedio } \dots 1,0 \text{ m.} \end{array}$$

Como ya hemos determinado $h_{E_0} = 103,1$ metros, podemos introducir este valor en los promedios anteriores, para obtener:

$$h_{E_0} = 103,1 \text{ m.} \quad h_{E_{50}} = 98,5 \text{ m.} \quad h_{E_{100}} = 102,1 \text{ m.}$$

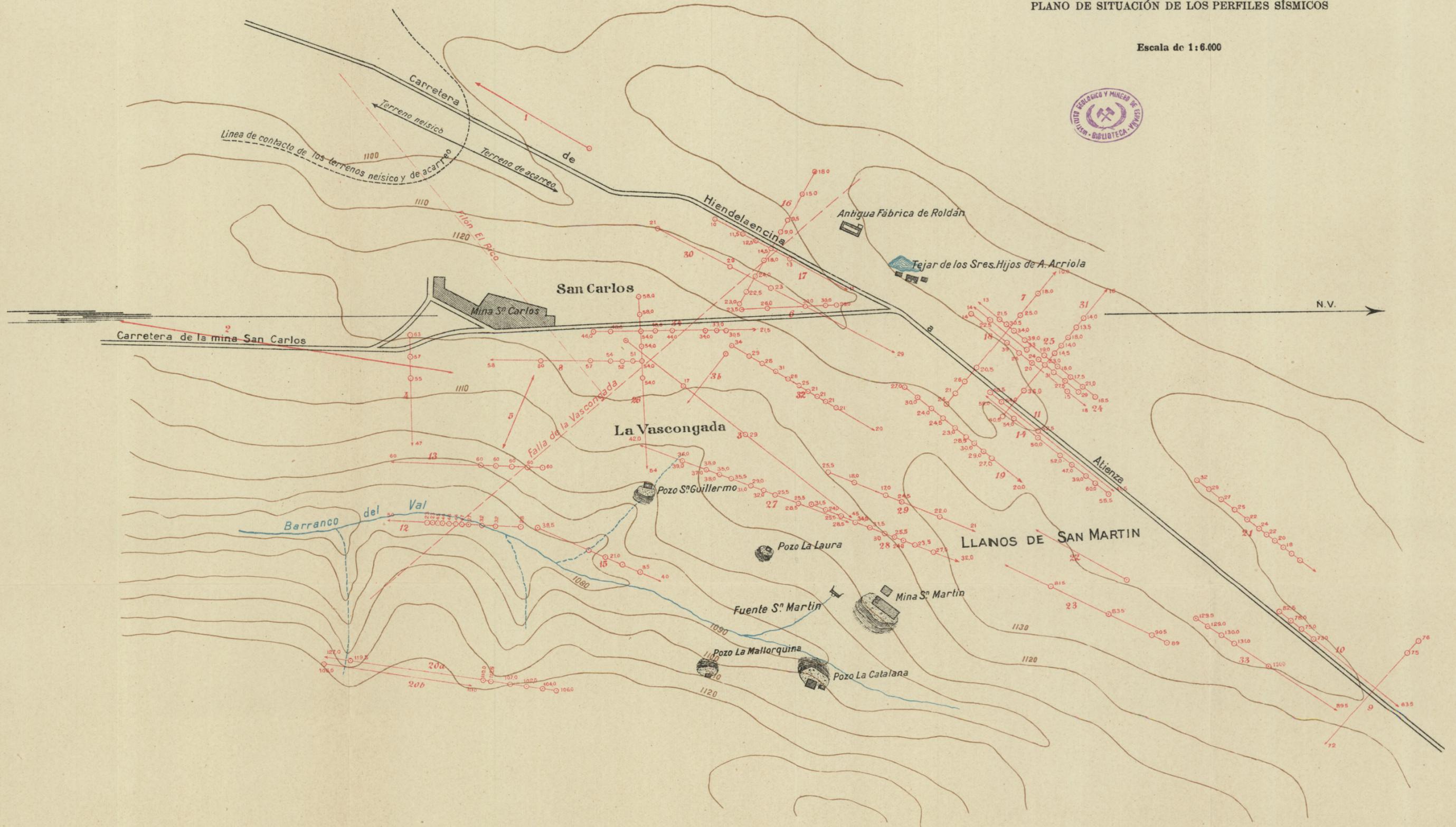
Introduciendo estos valores en las ecuaciones anteriores, obtenemos finalmente:

$$\begin{array}{l} h_{S_{330}} = 110,5 \text{ m.} \\ h_{S_{360}} = 104,0 \text{ m.} \\ h_{S_{390}} = 100,0 \text{ m.} \\ h_{S_{420}} = 103,3 \text{ m.} \\ h_{S_{450}} = 100,5 \text{ m.} \end{array}$$

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA

PLANO DE SITUACIÓN DE LOS PERFILES SÍSMICOS

Escala de 1:6.000



Este sistema de cálculo se ha seguido para todas las curvas dromocrónicas efectuadas, que describiremos en los párrafos siguientes.

§ 46. **Las líneas sísmicas.**—Las líneas sísmicas efectuadas ascienden a 34, cuya situación se representa en la lámina XXVIII. Los números rojos colocados al lado de estaciones, son las cotas sobre el nivel del mar de los puntos correspondientes del subsuelo, constituido por el neis, obtenidas como resultado de la investigación.

Líneas I y II.—Están situadas al Oeste y Este, respec-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Líneas dromocrónicas números 1 y 2

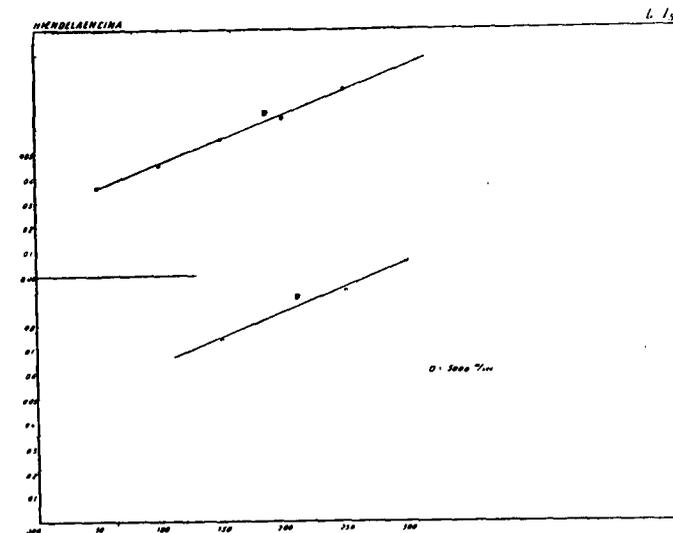


Fig. 106.

tivamente, de la mina «San Carlos», en la zona de contacto del neis con el terreno de acarreo. Tienen una longitud de 300 metros y constan de 9 estaciones (figura 106). Sir-

ven para determinar, directamente, la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el neis.

Línea III.—Se la ha situado en la zona de la falla «La Vascongada» y perpendicular a ella. Las siete estaciones sísmicas que la componen, están repartidas en una longitud

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Línea dromocrónica número 3

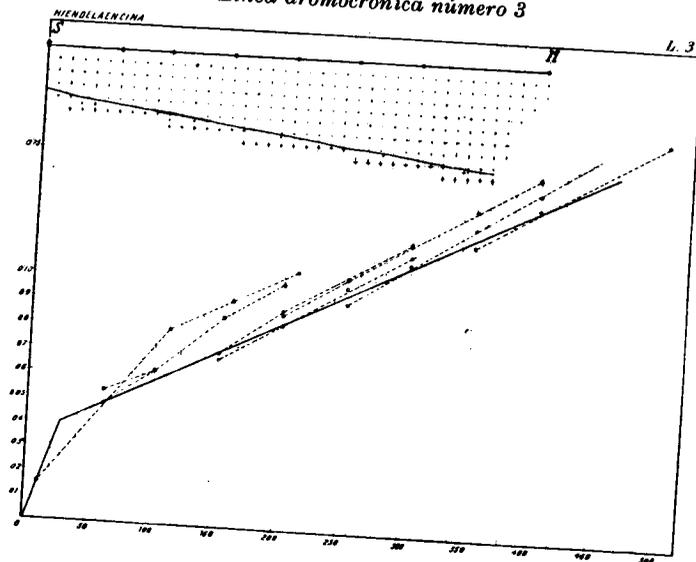


Fig. 107.

de 500 metros (fig. 107). Para comprobar la velocidad sísmica correspondiente al subsuelo, se repitieron las explosiones, según se indica en las varias dromocrónicas obtenidas.

Línea III b.—La dirección de esta línea es, próximamente, la de la falla «La Vascongada», con objeto de estudiar el compartimiento situado al Norte de la misma. Corren perpendicularmente a la línea III, en su primera mitad. En la pequeña distancia de 110 metros, se han observado las 15 estaciones indicadas en las líneas dromocrónicas de la figura 108, que también indica el número de explosiones efectuadas y su situación respectiva.

Línea IV.—Tanto la línea IV como la siguiente se han situado en el compartimiento Sur de la falla, muy cerca de la mina «San Carlos». Consta de 10 estaciones, distanciadas 10 metros unas de otras. Las dos explosiones efec-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Línea dromocrónica número 3 b

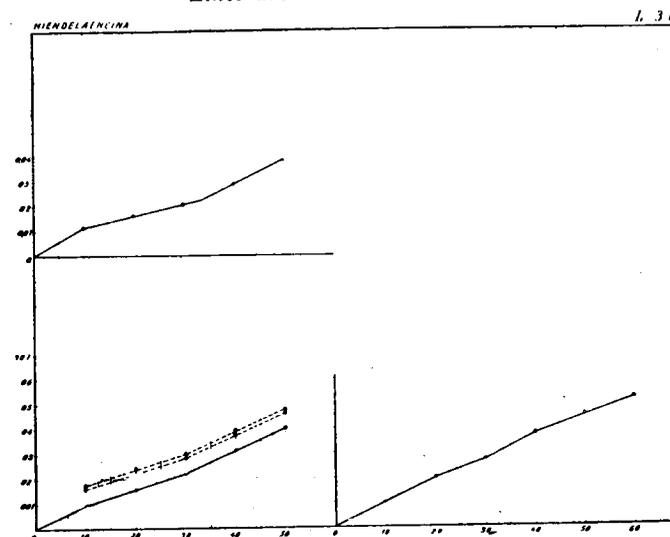


Fig. 108.

tuadas tuvieron lugar en el extremo oriental del perfil (figura 109).

Línea V.—Según acabamos de decir, su objeto es el mismo de la línea anterior y sus conclusiones completamente análogas, en lo que respecta al terreno de acarreo. Como su longitud no fue suficiente para que el rayo sísmico alcanzase la superficie del neis hemos prescindido de la dromocrónica correspondiente.

Línea VI.—Está situada en la intersección de la carretera de Atienza con la de la mina «San Carlos». Las explo-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
 Líneas dromocrónicas números 4 y 6

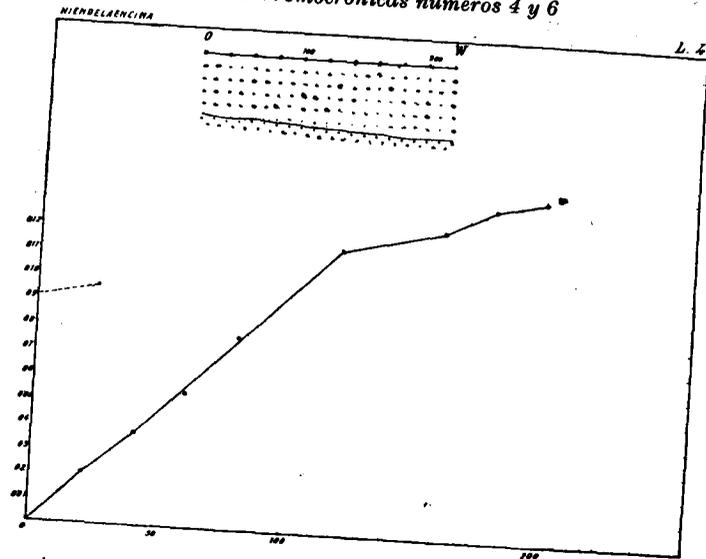


Fig. 109.

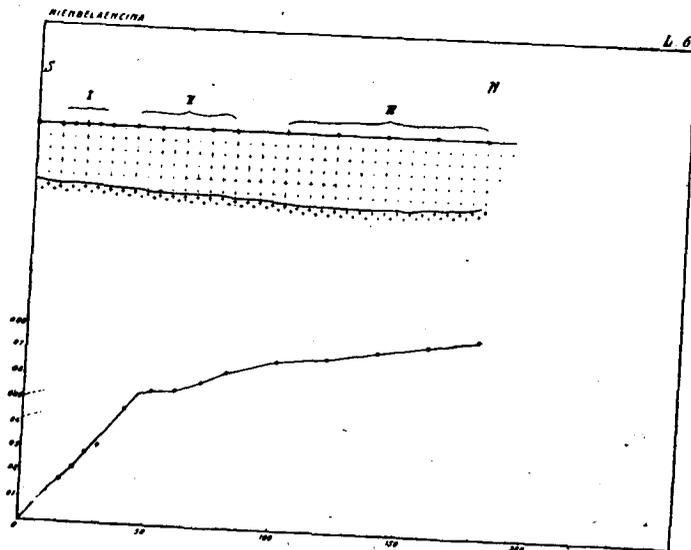


Fig. 110.

siones se han efectuado en su extremo Sur, para cada uno de los tres grupos formados por los cinco sismógrafos, colocados en una distancia de 180 metros, en la forma indicada en el esquema de la figura 110.

Línea VII.—Su dirección es perpendicular a la carretera de Atienza, a la que corta a unos 200 metros al Norte del cruce con la de «San Carlos». Consta de 18 estaciones obtenidas con tres sismógrafos y seis lugares para las explosiones, situados de la manera indicada en la figura 111,

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
 Línea dromocrónica número 7

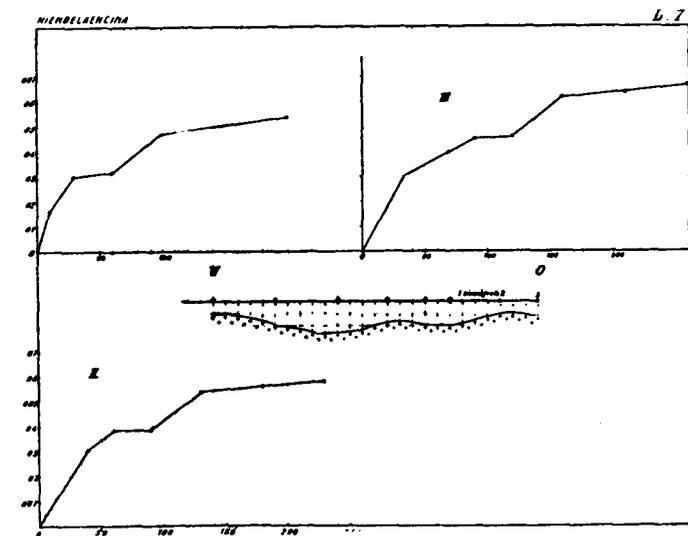


Fig. 111.

que también contiene las tres líneas dromocrónicas obtenidas.

Línea VIII.—Se la ha situado al Este de la mina «San Carlos», muy próxima a las líneas IV y V, pero en dirección casi perpendicular a ellas. El número de sismógrafos ha sido el de 15, y las explosiones, en número de dos,

se han combinado como se indica en la figura 112 para obtener las líneas dromocrónicas representadas en ella.

Línea IX.—Está situada en el extremo Nordeste de la

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Línea dromocrónica número 8

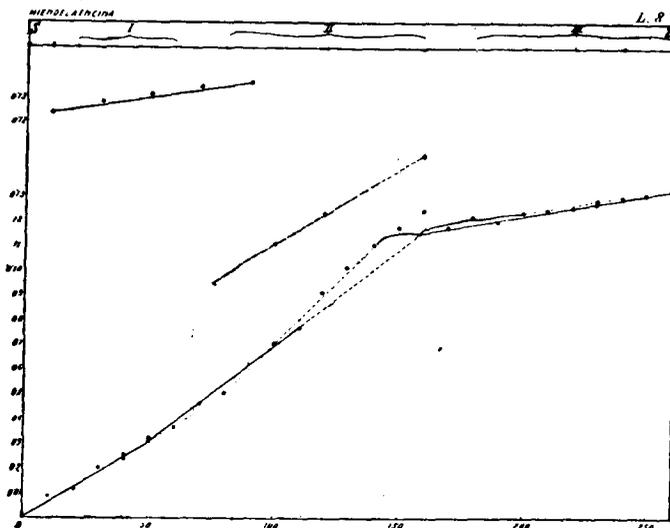


Fig. 112.

zona investigada en dirección perpendicular a la carretera de Atienza. El grupo constituido por los cinco sismógrafos se ha colocado en dos posiciones distintas y para cada una de ellas se han producido dos explosiones, según indica el dibujo de la figura 113. Las líneas dromocrónicas nos determinan la constante sísmica del país.

Línea X.—Corta a la anterior en su parte media y está dirigida perpendicularmente a ella. En su extremo Norte se han efectuado dos explosiones y otra en el Sur, para cada uno de los dos grupos de cinco sismógrafos empleados, colocados a las distancias expresadas en la figura 114, que también indica las líneas dromocrónicas obtenidas.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Líneas dromocrónicas números 9 y 10

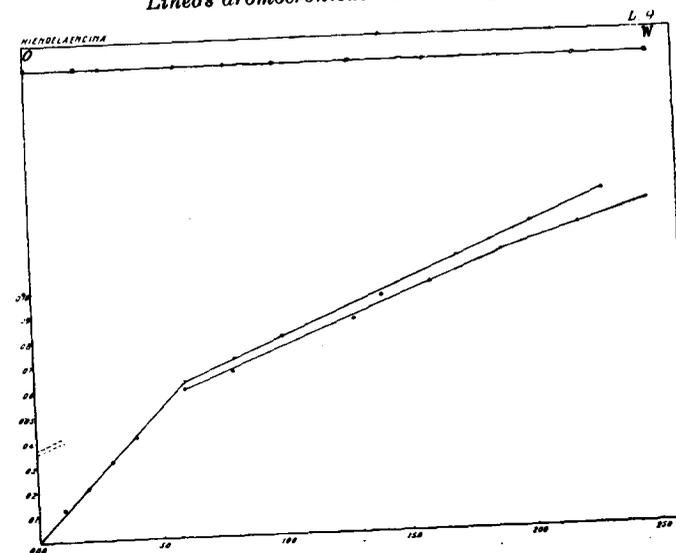


Fig. 113.

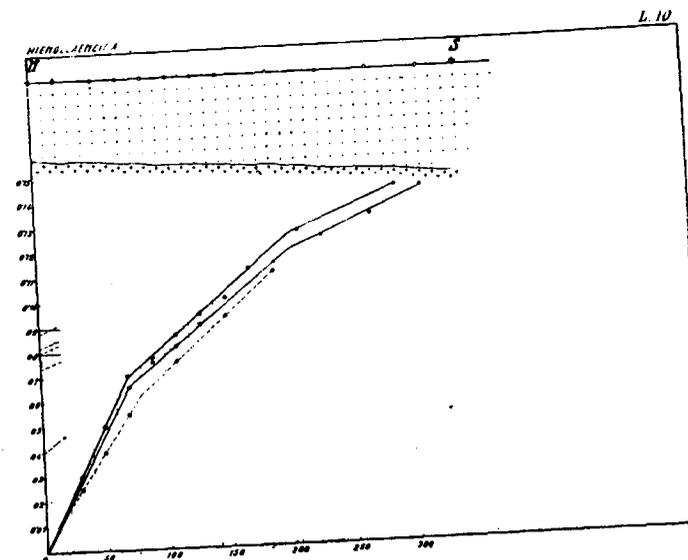


Fig. 114.

Línea XI.—Se encuentra al SE. de la mina «San Carlos» y muy próxima a ella, y se la ha observado a partir de su centro en las dos direcciones opuestas, con una longitud total de 600 metros. Consta de 10 estaciones, representadas en la figura 115, en el esquema situado en la parte su-

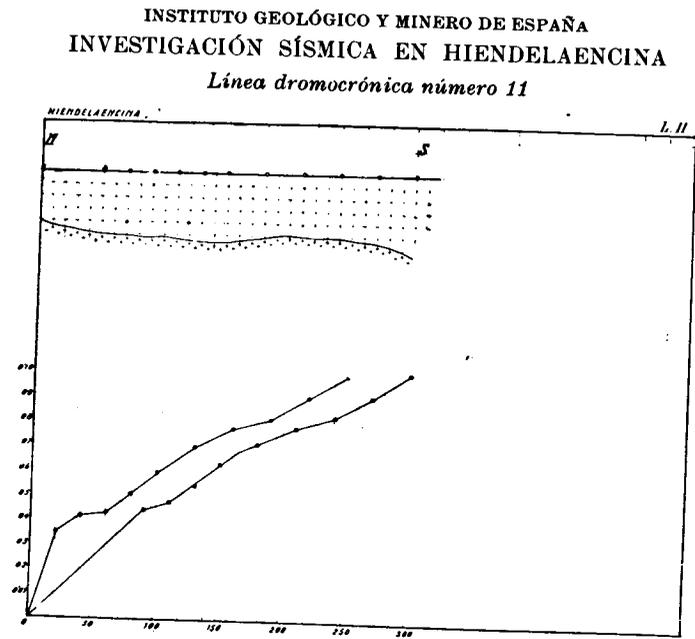


Fig. 115.

perior de las líneas dromocrónicas. La primera posición de los barrenos ha sido la situada a los 250 metros del eje de los tiempos y a partir de ella se colocaron los cinco sismógrafos a una distancia mutua de 50 metros. Después se efectuó otra explosión en el mismo lugar, cambiando los sismógrafos a las posiciones siguientes, que distan entre sí 75.

La segunda posición de los barrenos es la dibujada en el eje de los tiempos, y a ella corresponden las dos series

anteriores de cada grupo de sismógrafos, pero medidas en dirección contraria a la que antes tenían.

La línea dromocrónica superior, de las dos que constan en el dibujo, corresponde a la primera línea sísmica observada, y la inferior a la segunda o sea a su contralínea.

Línea XII.—Está situada en el barranco del Val, en la dirección Norte Sur, y corta la traza de la falla «La Vascongada», bajo un ángulo de 45°. Tiene una longitud de 255 metros, en la que se han colocado los cinco sismógrafos del equipo en dos posiciones distintas, indicadas en la

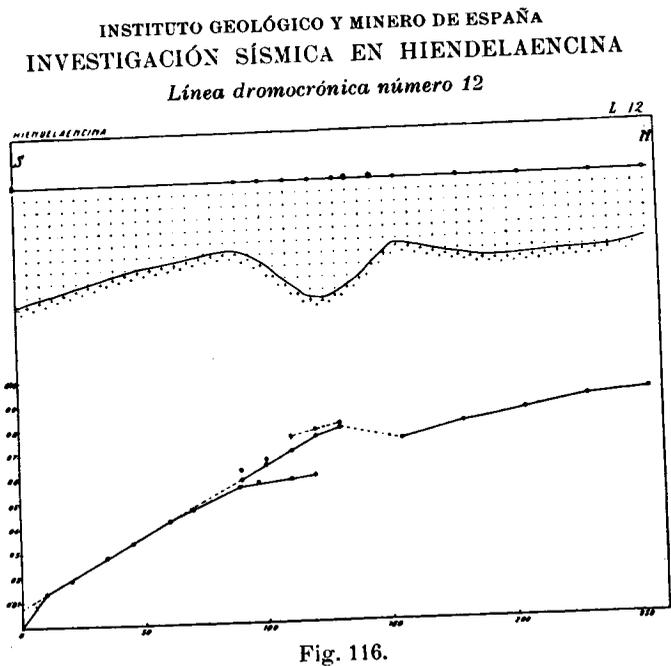


Fig. 116.

figura 116. Los barrenos se han situado en los tres lugares que aparecen en el dibujo. Con los dos barrenos intermedios se han estudiado las cinco posiciones del Sur de la línea, cuya dromocrónica corresponde a la parte de la izquierda de la figura y con el situado en el extremo Sur,

las cinco de la parte opuesta. También ha servido este barrenos para obtener los sismógramas de las cinco primeras. La dromocrónica superior corresponde a este barrenos.

Línea XIII.—Es paralela a la anterior y dista de ella unos 200 metros hacia el Oeste. Las combinaciones de sismógrafos y barrenos han sido análogas, y han dado por resultado las líneas dromocrónicas de la figura 117, que

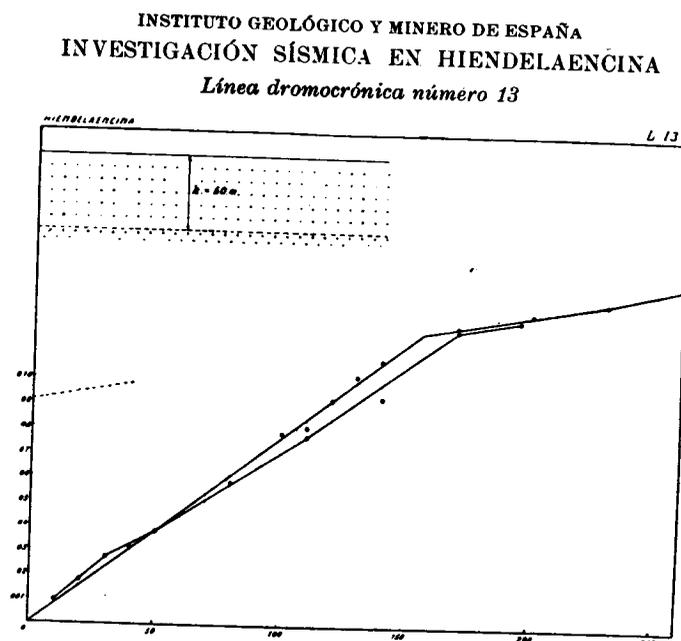


Fig. 117.

por su gran regularidad nos demuestran que su proyección sobre el neis es una línea horizontal.

Línea XIV.— Puede considerarse como la contralínea de la línea XI, ya que está al lado de la misma y se ha observado en sentido contrario. Según se observa en la figura 118, se han colocado los barrenos en dos lugares distintos. En cada uno de ellos se han verificado dos ex-

plosiones, una para cada grupo de sismógrafos, cuyos resultados han servido para la construcción de las dos dromocrónicas dibujadas.

Línea XV.—Es la prolongación de la línea XII; según el

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Línea dromocrónica número 14

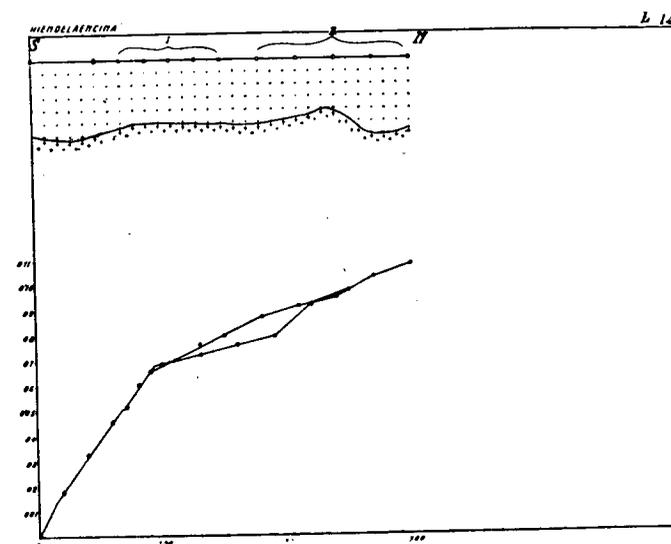


Fig. 118.

barranco del Val. Sólo se ha efectuado una explosión en su extremo Norte, para cada grupo de cinco sismógrafos, que han permitido dibujar la dromocrónica de la figura 119.

Línea XVI.—La línea que consideramos y la siguiente, situadas cerca de la antigua fábrica de Roldán, son perpendiculares entre sí. Su punto de intersección coincide con la traza de la falla «La Vascongada».

Se han producido cuatro explosiones en dos lugares distintos, para obtener los 20 sismógramas que determinan las dos líneas dromocrónicas de la figura 120.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
 Líneas dromocrónicas números 15 y 16

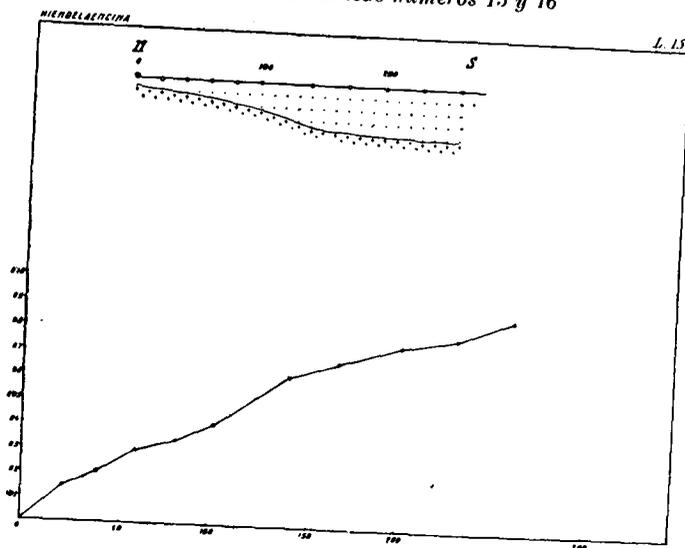


Fig. 119.

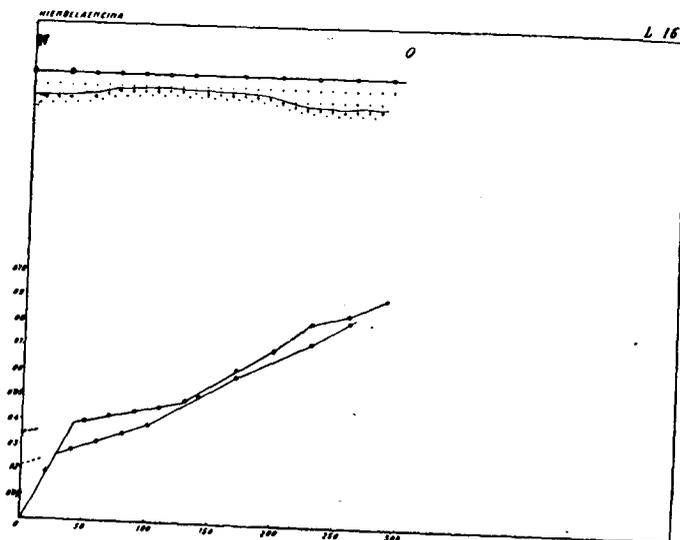


Fig. 120.

Línea XVII.—El trabajo sísmico realizado en la línea XVII es completamente análogo al de la anterior; dos posiciones para los barrenos y 10 para los sismógrafos, que han determinado las líneas dromocrónicas de la figura 121.

Línea XVIII.—Es la primera de un grupo de tres líneas

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
 Línea dromocrónica número 17

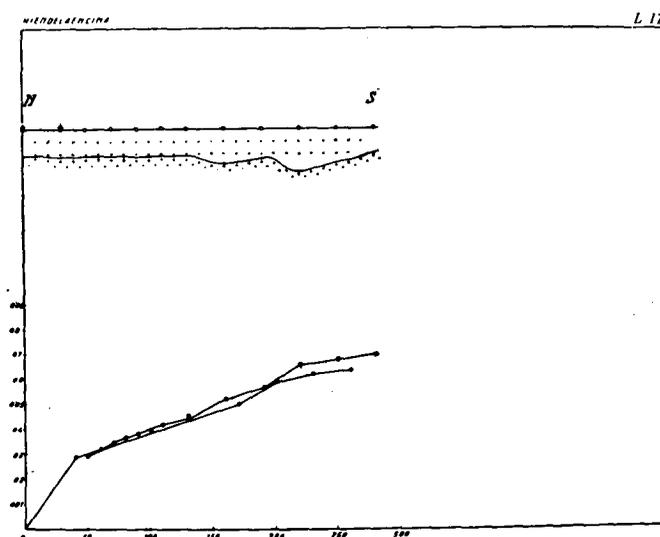


Fig. 121.

observadas cerca del tejlar de Arriola. Las explosiones se han colocado en dos lugares, en el extremo Norte de la línea, y los sismógrafos en las 14 distintas que figuran en las dos dromocrónicas de la figura 122. Las tres últimas de la inferior son las mismas que han servido para la obtención de la superior.

Línea XIX.—Su dirección es la más general de los perfiles sísmicos de la zona, Nordeste-Sudoeste, y se la ha situado en los llanos de San Martín.

También se han efectuado explosiones en los dos luga-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
 Líneas dromocrónicas números 18 y 19

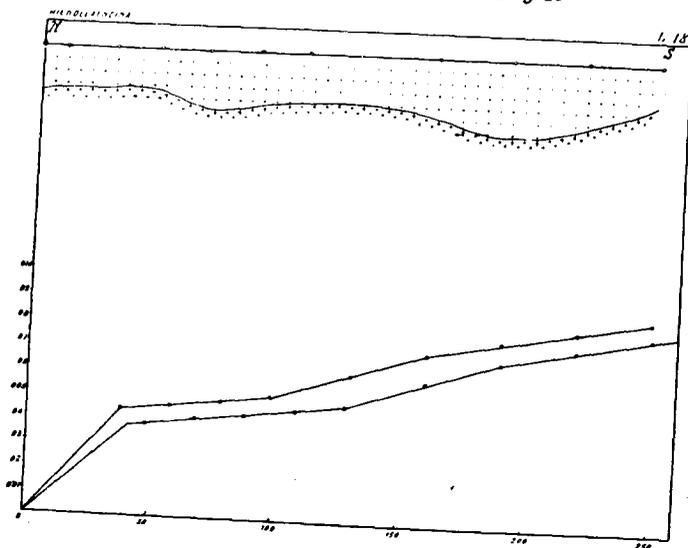


Fig. 122.

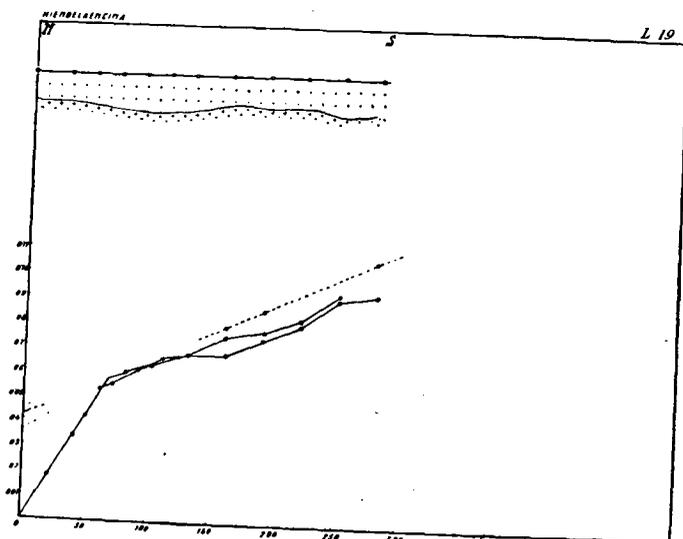


Fig. 123.

res indicados en el dibujo de la figura 123, al Norte de la línea. En la figura se aprecian, claramente, las combinaciones de barrenos y sismógrafos, que han servido para el trazado de las dromocrónicas y del perfil del subsuelo, a lo largo de la línea sísmica.

Línea XX a y b.—Está situada en la parte más oriental de la región estudiada. En el párrafo 45 a) se han explicado detenidamente las diversas combinaciones efectuadas entre las posiciones de los barrenos y las de los sismógrafos, por lo que no hace falta insistir más en ello.

Línea XXI.—Volvemos de nuevo a los llanos de San Martín, para observar esta línea y las dos siguientes. Tiene una longitud de 280 metros, contados en la dirección Norte-Sur. Se han obtenido 19 sismógramas en los sismógrafos colocados en las posiciones indicadas en la figura 124, para los dos lugares de las explosiones, que también se indican en la misma.

Línea XXII.—Es paralela y muy próxima a la anterior. Su longitud es solamente de 170 metros, con el objeto de comprobar si el rayo sísmico cortaba al neis para esa distancia epicentral, sin haberlo conseguido, según se aprecia en la velocidad sísmica que indican las dos líneas dromocrónicas de la figura 125, obtenidas por medio de 11 posiciones para los sismógrafos y dos para el lugar de los cuatro barrenos efectuados.

Línea XXIII.—En vista del resultado negativo de la línea XXII, se proyectó la XXIII, situada cerca de ella pero de mayor longitud. Los barrenos se efectuaron en su extremo Sur para las 10 posiciones de los sismógrafos indicadas en la figura 126. El rayo sísmico alcanzó al neis, toda vez que aparece en las dromocrónicas su velocidad característica.

Línea XXIV.—Tanto esta línea como la siguiente, tie-



INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
 Líneas dromocrónicas números 21 y 22

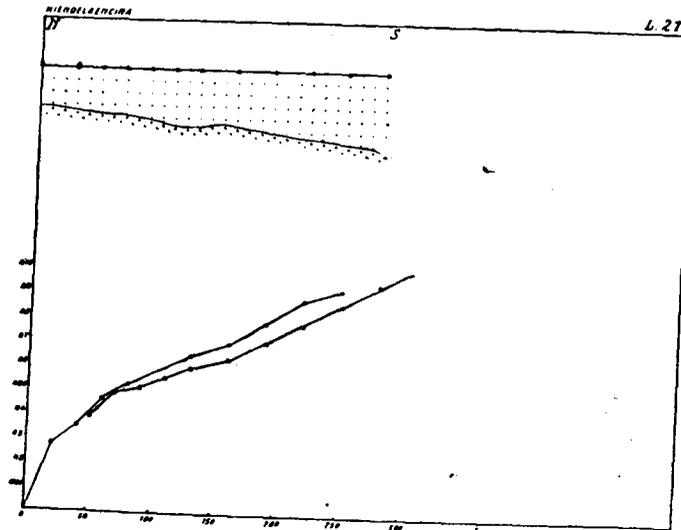


Fig. 124.

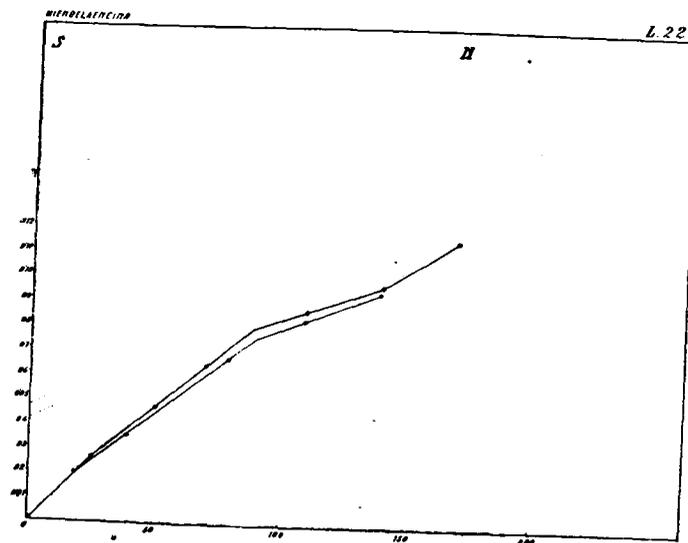


Fig. 125.

nen por objeto aclarar y comprobar los resultados obtenidos en la XVIII. Se efectuaron dos explosiones en un mismo lugar, una para cada equipo de cinco sismógrafos

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
 Línea dromocrónica número 23

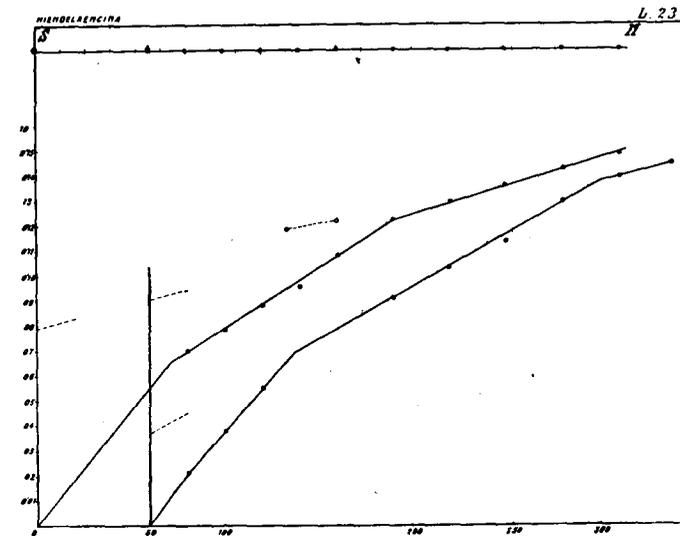


Fig. 126.

y con los resultados obtenidos para los tiempos de propagación, se construyó la línea dromocrónica de la figura 127.

Línea XXV.—Se la ha situado al lado de la anterior y también se la observa en la dirección Sur-Norte. Por medio de dos explosiones en cada uno de los dos emplazamientos elegidos para los barrenos, se obtuvieron los 17 sismógramas que determinan las dos líneas dromocrónicas de la figura 128.

Debemos hacer notar la gran irregularidad de la superficie del neis, bajo el terreno de acarreo, al comparar las

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
 Líneas dromocrónicas números 24 y 25

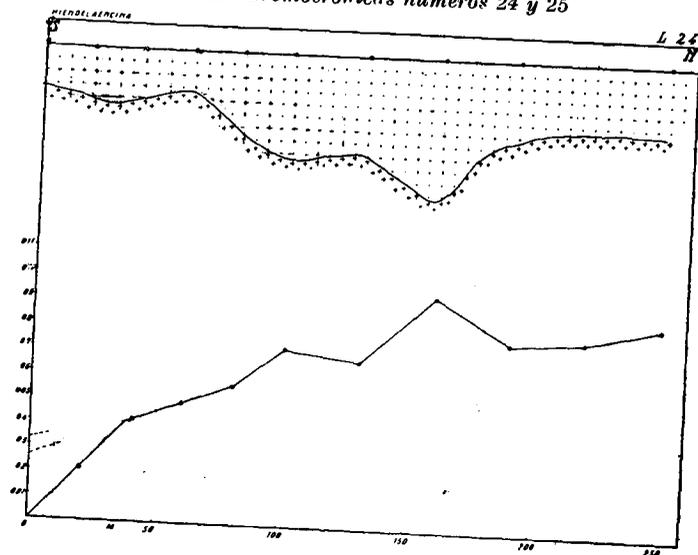


Fig. 127.

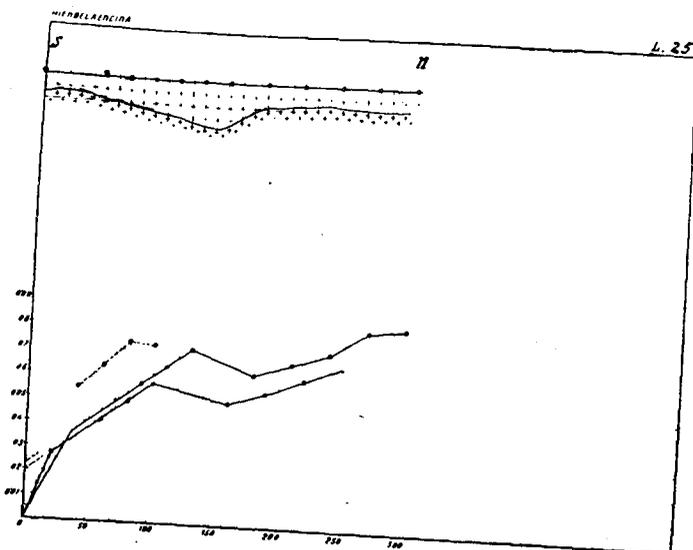


Fig. 128.

líneas dromocrónicas obtenidas en los perfiles XVIII, XXIV y XXV, tan próximos entre sí.

Línea XXVI.—Tiene por objeto cortar la falla «La Vascongada» en dirección Este-Oeste, muy distinta de la de las líneas anteriores, que también la han cortado. Su intersección con la III y la VIII, suministrará comprobacio-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
 Línea dromocrónica número 26

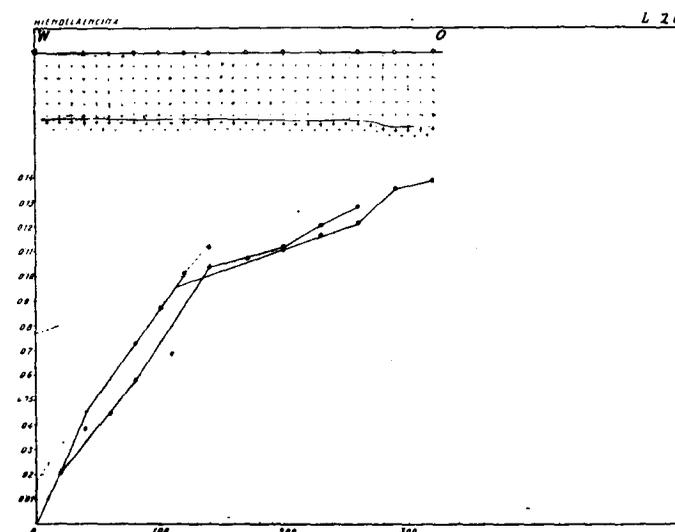


Fig. 129.

nes de los valores obtenidos. Las cuatro explosiones verificadas en el extremo Oeste de la línea, han servido para obtener los sismógramas correspondientes a las 10 posiciones dobles de los sismógrafos, con arreglo a las distancias indicadas en la figura 129.

Líneas XXVI. Norte y Sur.—En el extremo oriental del perfil anterior se ha colocado el que consideramos, cuya dirección es la general de todos los anteriores. Los emplazamientos de los dos primeros barrenos se han coloca-

do en su extremo Norte y a continuación, según indica la figura 130 N., se establecieron las dos series de cinco sismógrafos cada una. Inmediatamente después, se eligieron otros dos nuevos emplazamientos para las explosiones y

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Línea dromocrónica número 27 N.

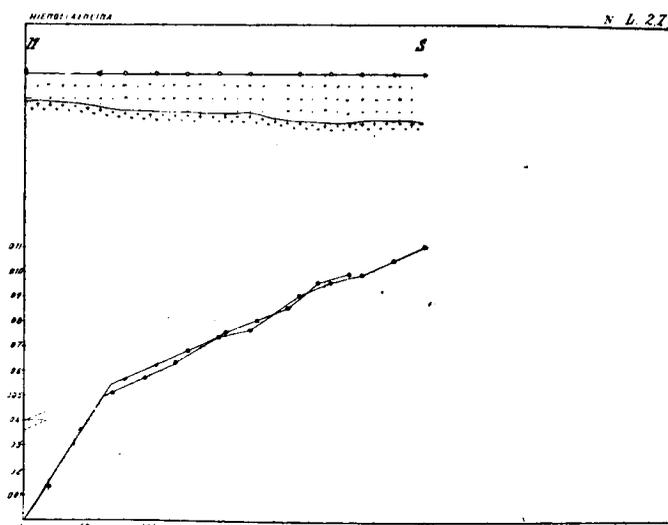


Fig. 130 N.

se trasladaron los sismógrafos a los lugares indicados en la figura 130 S.

Tanto en el primer caso, como en el segundo, se obtuvieron las líneas dromocrónicas, que nos permiten calcular las profundidades de los diversos puntos del perfil.

Línea XXVIII.—Podemos considerarla como una prolongación de la XXVII. Tiene con ella una parte común, para comprobar las profundidades encontradas en aquella. La disposición de los barrenos y de las estaciones sísmicas ha sido igual a la de la línea anterior, con arreglo a las distancias indicadas en la figura 131.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Líneas dromocrónicas números 27 S. y 28

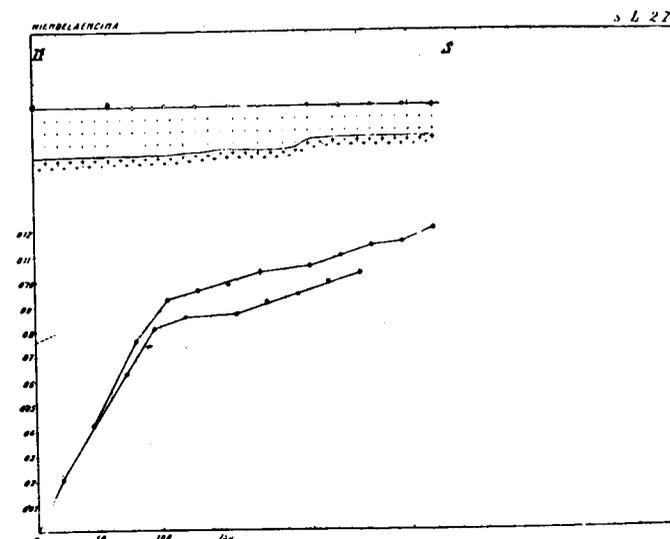


Fig. 130 S.

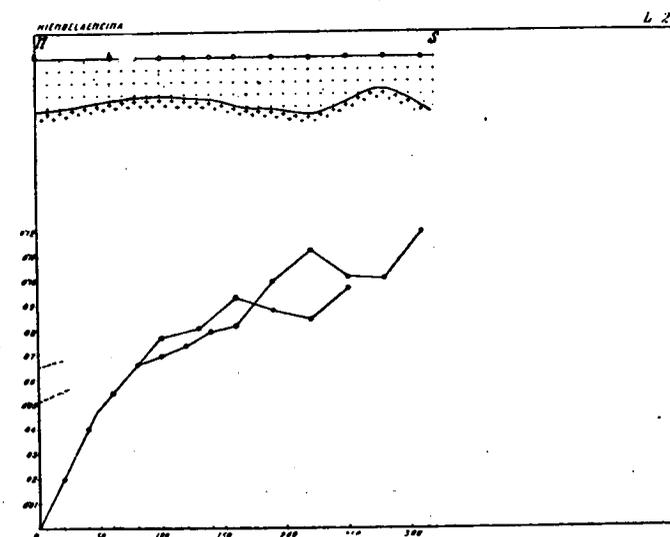


Fig. 131.

La irregularidad de las dromocrónicas obtenidas nos demuestra la de la superficie del neis.

Línea XXIX.—Es paralela a la anterior y está situada al Oeste de ella y a muy pequeña distancia. Los dos emplazamientos de las explosiones están en su extremo Norte. Los cinco sismógrafos se colocaron en las dos posiciones reseñadas en la figura. Las cotas del subsuelo fueron

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Línea dromocrónica número 29

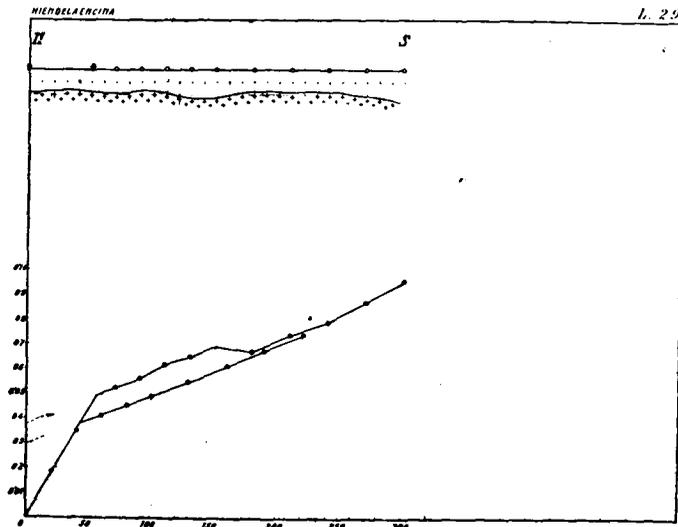


Fig. 132.

menos variables que en los dos perfiles anteriores, según manifiestan las dos curvas dromocrónicas dibujadas en la figura 132.

Línea XXX.—La línea XXX vuelve a situarse en la zona de la falla para aclarar los resultados obtenidos en la línea XVI. El lugar de las explosiones es la región Norte de la línea, a lo largo de la que se han colocado las 10 posiciones de los sismógrafos, figura 133. Los lados rectilí-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Líneas dromocrónicas números 30 y 31

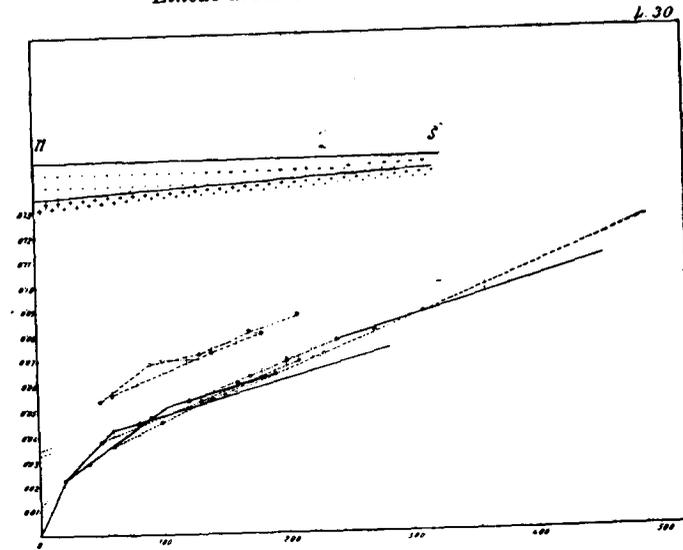


Fig. 133.

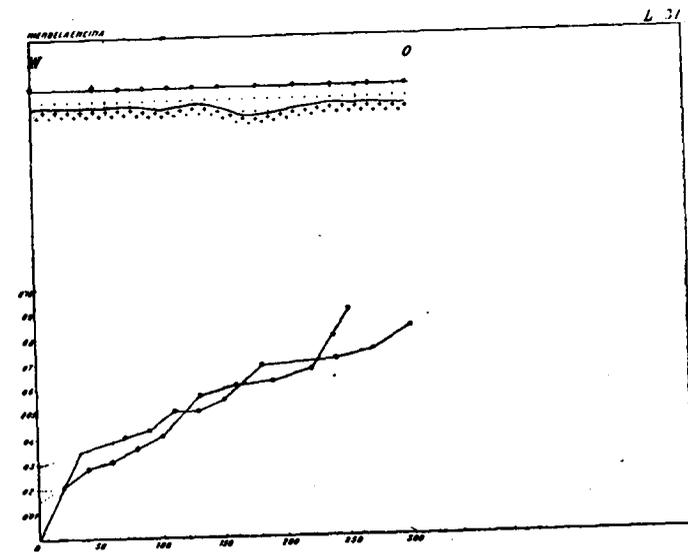


Fig. 134.

neos y paralelos de las diversas dromocrónicas obtenidas nos indican que el subsuelo tiene una pendiente uniforme.

Línea XXXI.—Sirve para comprobar los valores obtenidos en las líneas XVIII, XXIV y XXV, a las que corta perpendicularmente. Los emplazamientos de las explosiones están hacia el Oeste. La figura 134 aclara las combinaciones de barrenos y sismógrafos efectuadas.

Línea XXXII.—Tanto esta línea como la siguiente tienen por objeto dar cotas al subsuelo en algunas regiones

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Línea dromocrónica número 32

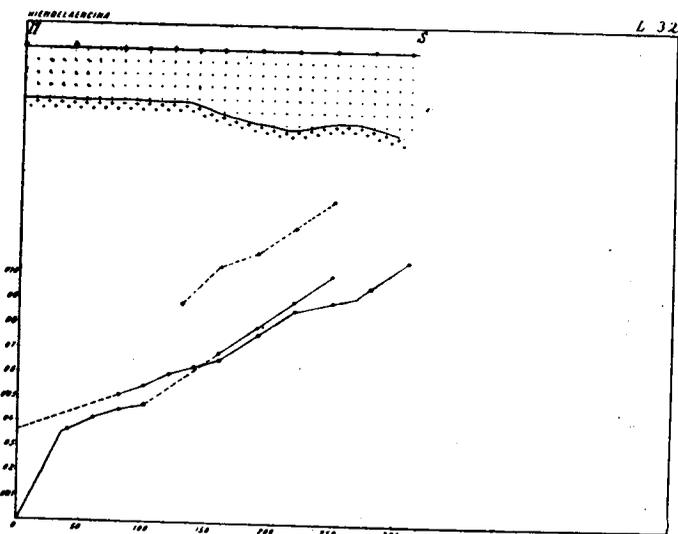


Fig. 135.

de la zona donde el número de las obtenidas es insuficiente para trazar las curvas de nivel, con seguridad. La disposición de los sismógrafos y barrenos es la representada en la figura 135.

Línea XXXIII.—Su estudio difiere algo de las anteriores por haber colocado los barrenos en seis posiciones

distintas, al Sur de la línea, como indica la figura 136. En las dromocrónicas se indican las distancias epicentrales correspondientes a cada sismógrafo.

También indican un subsuelo de pendiente uniforme hacia el Sur.

Línea XXXIV.—Sirve para aclarar algunas dudas que se han presentado en la interpretación de los valores ob-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Línea dromocrónica número 33

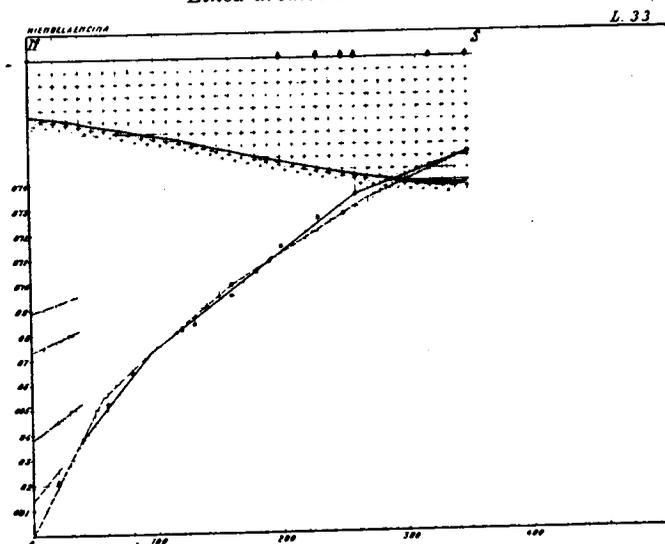


Fig. 136.

tenidos en la XXVI. Su estudio se ha efectuado con arreglo al sistema general seguido en las líneas anteriores. Las distancias mutuas entre los barrenos y las estaciones sísmicas, constan en la figura 137.

§ 47. La interpretación geológica de los resultados.

La aplicación del procedimiento de cálculo explicado en el § 45, a cada uno de los perfiles sísmicos efectuados,

nos ha permitido construir los cortes geológicos dibujados en las figuras anteriores. Las cotas obtenidas para el subsuelo de cada estación, son los números rojos que figuran al lado de ellas, en la lámina XXVIII.

Las curvas de nivel obtenidas por una interpolación

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA
Línea dromocrónica número 33

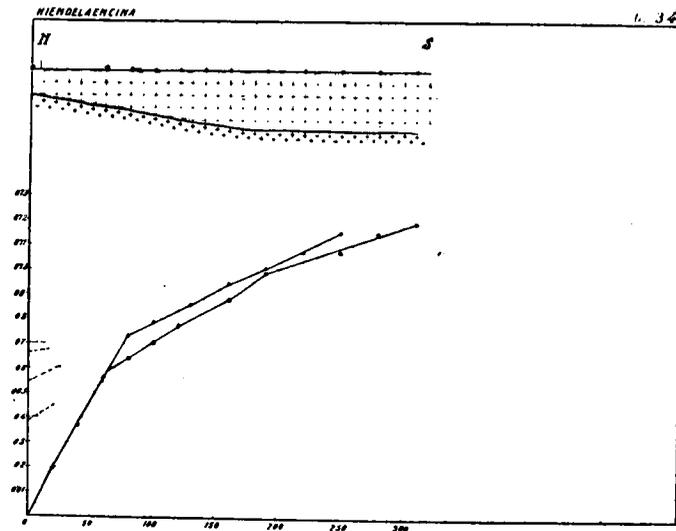
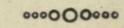


Fig. 137.

uniforme, se presentan en la lámina XXIX, que representa el relieve topográfico del neis, cubierto por los terrenos de acarreo superficiales.

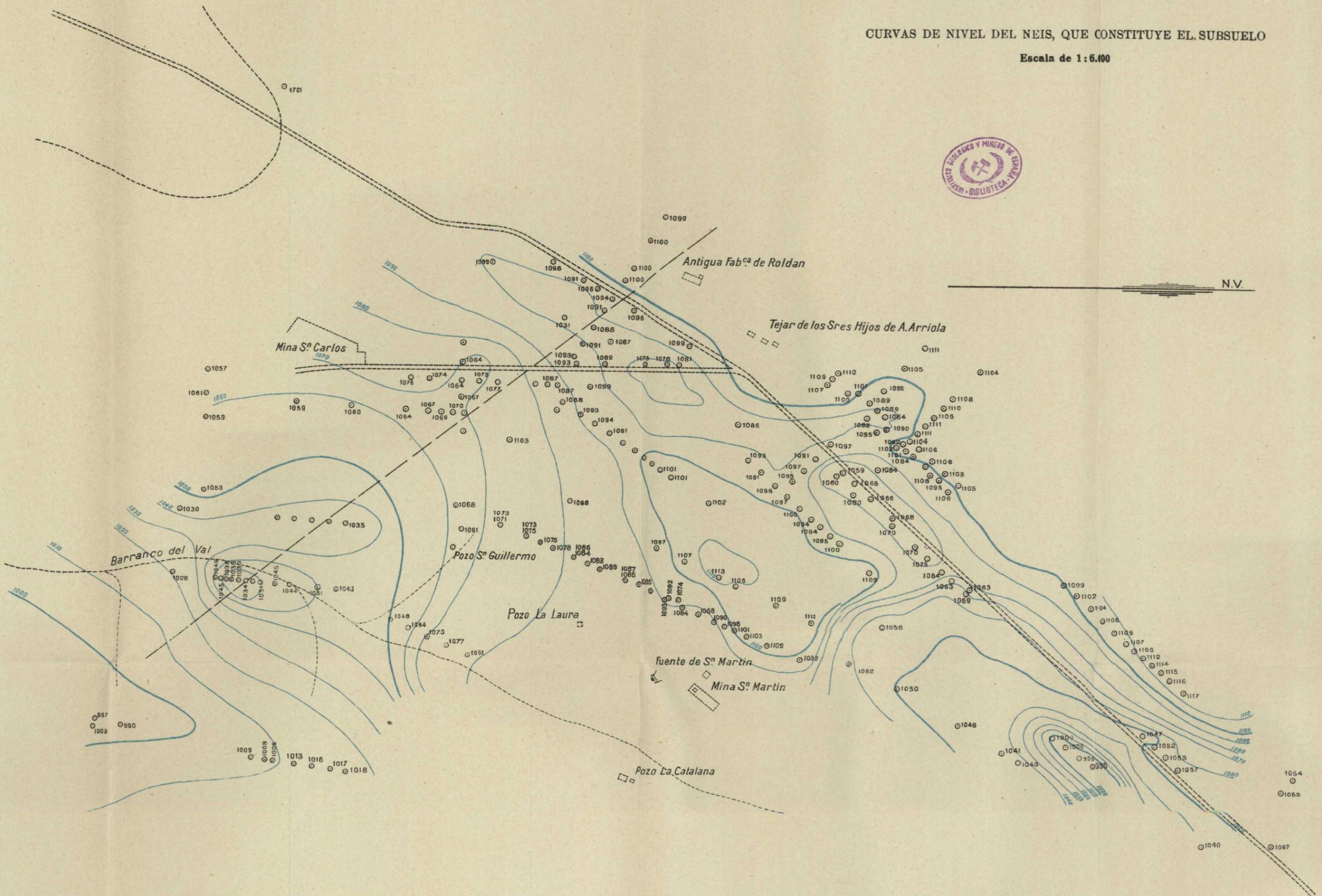
La parte más elevada corresponde a la zona occidental de la carretera de Atienza, bajo la cual corre la curva de nivel de 1.100 metros. Desde allí, la superficie del neis desciende hacia el Este, a excepción del montículo situado debajo de los llanos de San Martín, hasta la curva correspondiente a la altitud de 1.000 metros sobre el nivel del mar. El descenso es rápido en la zona Norte, donde



INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA

CURVAS DE NIVEL DEL NEIS, QUE CONSTITUYE EL SUBSUELO

Escala de 1:6.400



se señala un valle estrecho, y gradual en la Sur. Las curvas de nivel de esta zona parecen indicar el origen de un valle, cuyo thalweg coincide con la dirección de la falla «La Vascongada».

No es posible deducir consecuencia alguna sobre la situación del filón «Rico», a causa de la fuerte erosión sufrida por el neis durante la casi totalidad de los períodos geológicos. No existen crestones subterráneos que nos permitan emitir hipótesis sobre su situación, ni valles de erosión que nos orienten con el mismo objeto.

SEGUNDA PARTE

LAS MEDICIONES GRAVIMÉTRICAS

CAPÍTULO XI

FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE LAS MAGNITUDES GRAVIMÉTRICAS

§ 48. Fórmulas para el cálculo de los gradientes.— Como en nuestra obra «Los Métodos Geofísicos de Prospección» (*), hemos expuesto con todo detalle la teoría de la balanza de torsión, sus distintos modelos, la manera de efectuar las observaciones y cálculos, y la teoría general de la interpretación de las mediciones, no creemos necesario insistir más sobre estos extremos.

Únicamente creemos útil mencionar las constantes y fórmulas de aplicación de las balanzas «Askania», que poseemos en el Instituto Geológico y Minero de España.

a) *Balanza «Askania», modelo grande, n.º 89.*

D = Distancia focal de la lente = 760 mm. = 1520 (unidades).

$2D$ = 3040 unidades de medio milímetro.

l = 20 centímetros.

(*) «Los Métodos Geofísicos de Prospección», por José G. Siñeriz. Bol. del Inst. Geol. y Min. de España. 498 páginas. Madrid.

BALANZA I

$m = 30,90$ gr.

$h = 60,725$ cm.

$K = 26416,5 =$ momento de inercia.

Hilo *J. 438* $\left\{ \begin{array}{l} \alpha = + 0,14 \text{ mm.} = \text{coeficiente de temperatura, o sea el desplazamiento del punto luminoso para la variación de } 1^\circ \text{ C.} \\ \tau = 0,516 [1 - 0,0023 (t - 20^\circ \text{ C.})] = \text{coeficiente de torsión.} \end{array} \right.$

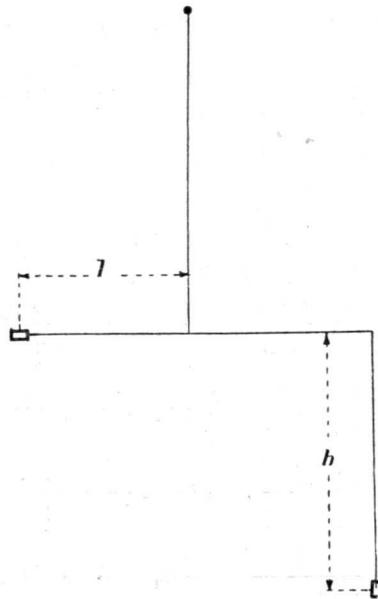


Fig. 139

BALANZA II

$m' = 30,80$ gr.

$h' = 60,80$ cm.

$K' = 26316 =$ momento de inercia.

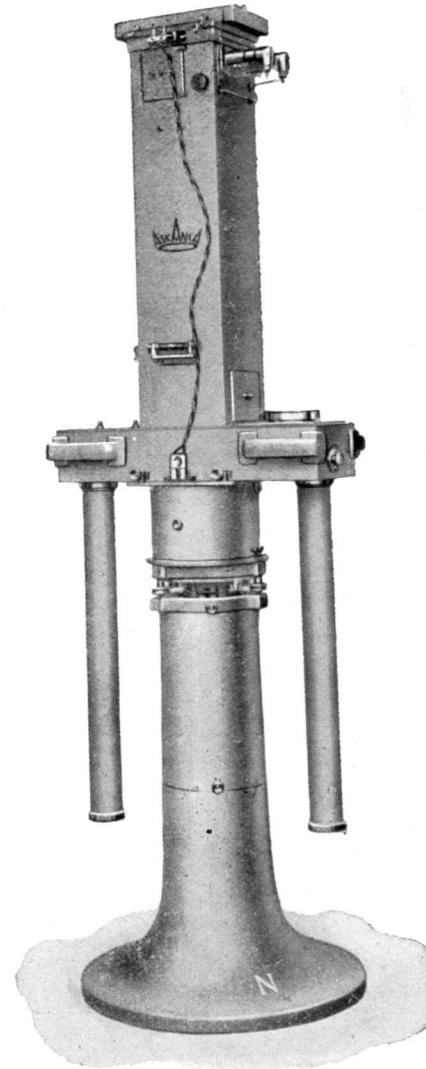


FIG. 138.

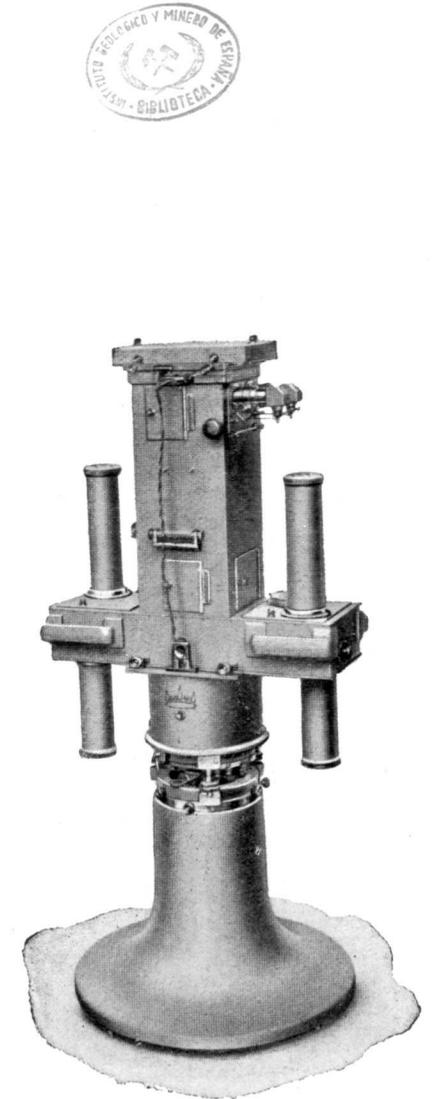


FIG. 140.



$$\text{Hilo } J. 444 \left\{ \begin{array}{l} \alpha' = +0,14 \text{ mm.} = \text{coeficiente de temperatura.} \\ \tau' = 0,517 [1 - 0,0024 (t^\circ - 20^\circ \text{ C.})] = \text{coefi-} \\ \text{ciente de torsión.} \end{array} \right.$$

$$b = \frac{2 D. l. m. h}{\tau} \left\{ \begin{array}{l} b = 0,22110. 10^9 \\ b' = 0,22022. 10^9 \end{array} \right.$$

$$2 a = \frac{2 D. K}{\tau} \left\{ \begin{array}{l} 2 a = 0,15563. 10^9 \\ 2 a' = 0,15474. 10^9 \end{array} \right.$$

La unidad de medida para las ordenadas n_1, n_2, n_3 , en la placa fotográfica, es el medio milímetro.

FÓRMULAS PARA TRES ACIMUTES

$$W_{xx} = + \frac{0,577. 2 a'}{2 a b' + 2 a' b} \left[\Delta_2 - \Delta_3 - (\Delta'_2 - \Delta'_3) - \left(\frac{2 a}{2 a'} - 1 \right) (\Delta'_2 - \Delta'_3) \right]$$

$$W_{yy} = + \frac{2 a'}{2 a b' + 2 a' b} \left[\Delta_2 + \Delta_3 - (\Delta'_2 + \Delta'_3) - \left(\frac{2 a}{2 a'} - 1 \right) (\Delta'_2 + \Delta'_3) \right]$$

$$W_{\Delta} = - \frac{2 \times 0,577 \times b'}{2 a b' + 2 a' b} \left[\Delta_2 - \Delta_3 + (\Delta'_2 - \Delta'_3) + \left(\frac{b}{b'} - 1 \right) (\Delta'_2 - \Delta'_3) \right]$$

$$2 W_{xy} = - \frac{2 b'}{2 a b' + 2 a' b} \left[\Delta_2 - \Delta_3 + (\Delta'_2 - \Delta'_3) + \left(\frac{b}{b'} - 1 \right) (\Delta'_2 + \Delta'_3) \right]$$

Si

$$\frac{2 a}{2 a'} \text{ o } \frac{b}{b'}$$

son negativos, se invierten sus signos.

Efectuando las operaciones indicadas en las fórmulas, resulta:

$$\begin{aligned} W_{xz} &= + 1,3037 [\Delta_2 - \Delta_3 - (\Delta'_2 - \Delta'_3) - 0,0057 (\Delta'_2 - \Delta'_3)] \\ W_{yz} &= + 2,2594 [\Delta_2 + \Delta_3 - (\Delta'_2 + \Delta'_3) - 0,0057 (\Delta'_2 + \Delta'_3)] \\ W_{\Delta} &= - 3,7108 [\Delta_2 - \Delta_3 + (\Delta'_2 - \Delta'_3) + 0,0040 (\Delta'_2 - \Delta'_3)] \\ 2 W_{xy} &= - 6,4311 [\Delta_2 + \Delta_3 + (\Delta'_2 + \Delta'_3) + 0,0040 (\Delta'_2 + \Delta'_3)] \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= n_1 - n_0 \\ \Delta_2 &= n_2 - n_0 \\ \Delta_3 &= n_3 - n_0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} 3 n_0 &= n_1 + n_2 + n_3 \\ \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 &= 0 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta'_1 &= n'_1 - n'_0 \\ \Delta'_2 &= n'_2 - n'_0 \\ \Delta'_3 &= n'_3 - n'_0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} 3 n'_0 &= n'_1 + n'_2 + n'_3 \\ \Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 &= 0 \end{aligned}$$

FÓRMULAS PARA CINCO ACIMUTES

$$W_{xz} = - \frac{0,23512}{b} (\Delta_4 - \Delta_3) - \frac{0,38041}{b} (\Delta_5 - \Delta_4)$$

$$W_{yz} = + \frac{0,72361}{b} (\Delta_4 + \Delta_3) + \frac{0,27638}{b} (\Delta_5 + \Delta_2)$$

$$W_{\Delta} = + \frac{0,76082}{2 a} (\Delta_4 - \Delta_3) - \frac{0,47024}{2 a} (\Delta_5 - \Delta_2)$$

$$2 W_{xy} = - \frac{0,55276}{2 a} (\Delta_4 + \Delta_3) - \frac{1,44724}{2 a} (\Delta_5 + \Delta_2)$$

Los signos de las cuatro ecuaciones anteriores son los que corresponden a la balanza I. Para la balanza II hay que invertir los signos de los coeficientes de las dos primeras.

Al efectuar las operaciones indicadas, resulta:

BALANZA I

$$W_{xz} = - 1,0634 (\Delta_4 - \Delta_3) - 1,7206 (\Delta_5 - \Delta_2)$$

$$W_{yz} = + 3,2729 (\Delta_4 + \Delta_3) + 1,2501 (\Delta_5 + \Delta_2)$$

$$W_{\Delta} = + 4,8887 (\Delta_4 - \Delta_3) - 3,0216 (\Delta_5 - \Delta_2)$$

$$2 W_{xy} = - 3,5518 (\Delta_4 + \Delta_3) - 9,2993 (\Delta_5 + \Delta_2)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= n_1 - n_0 \\ \Delta_2 &= n_2 - n_0 \\ \Delta_3 &= n_3 - n_0 \\ \Delta_4 &= n_4 - n_0 \\ \Delta_5 &= n_5 - n_0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} 5 n_0 &= n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 \\ \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 &= 0 \end{aligned}$$

BALANZA II

$$W_{xz} = + 1,0677 (\Delta'_4 - \Delta'_3) + 1,7274 (\Delta'_5 - \Delta'_2)$$

$$W_{yz} = - 3,2858 (\Delta'_4 + \Delta'_3) - 1,2550 (\Delta'_5 + \Delta'_2)$$

$$W_{\Delta} = + 4,9168 (\Delta'_4 - \Delta'_3) - 3,0389 (\Delta'_5 - \Delta'_2)$$

$$2 W_{xy} = - 3,5723 (\Delta'_4 + \Delta'_3) - 9,3528 (\Delta'_5 + \Delta'_2)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta'_1 &= n'_1 - n'_0 \\ \Delta'_2 &= n'_2 - n'_0 \\ \Delta'_3 &= n'_3 - n'_0 \\ \Delta'_4 &= n'_4 - n'_0 \\ \Delta'_5 &= n'_5 - n'_0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} 5 n'_0 &= n'_1 + n'_2 + n'_3 + n'_4 + n'_5 \\ \Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 + \Delta'_4 + \Delta'_5 &= 0 \end{aligned}$$

b) *Balanza «Askania», modelo Z, número 603.*

D = distancia focal de la lente = 460 milímetros = 920 unidades.

4 D = 3.680 unidades de medio milímetro.

BALANZA I

$$T = 33,805 \text{ seg.}$$

$$m_s = 22,80 \text{ gr.}$$

$$h_s = 21,40 \text{ cm.}$$

$$\text{Hilo N. 571} \left\{ \begin{array}{l} \alpha = -0,27 \text{ mm.} \\ \tau = 0,469 [1 - 0,0016 (t - 20^\circ \text{ C.})] \end{array} \right.$$

$$m_i = 22,70 \text{ gr.}$$

$$h_i = 17,50 \text{ cm.}$$

$$K = 19,372.$$

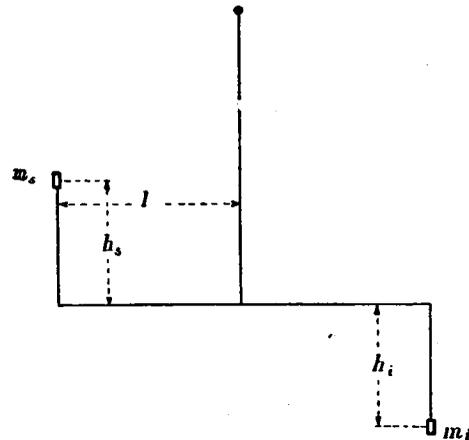


Fig. 141.

BALANZA II

$$T' = 33,790 \text{ seg.}$$

$$m'_s = 22,60$$

$$h'_s = 21,40$$

$$\text{Hilo N. 573} \left\{ \begin{array}{l} \alpha = -0,23 \text{ mm.} \\ \tau' = 0,479 [1 - 0,0021 (t - 20^\circ \text{ C.})] \end{array} \right.$$

$$m'_i = 22,70.$$

$$h'_i = 17,50.$$

$$K' = 19,354.$$

$$b = \frac{4 D. l. m_i h}{\tau} \left\{ \begin{array}{l} b = 0,13888. 10^9 \\ b' = 0,13538. 10^9 \end{array} \right.$$

$$2 a = \frac{4 D. K}{\tau} \left\{ \begin{array}{l} 2 a = 0,15201. 10^9 \\ 2 a' = 0,14869. 10^9 \end{array} \right.$$

Al sustituir estos valores en las fórmulas resultarán las siguientes:

FÓRMULAS PARA TRES ACIMUTES

$$W_{xx} = + 2,0810 [\Delta_2 - \Delta_3 - (\Delta'_2 - \Delta'_3) - 0,0223 (\Delta'_2 - \Delta'_3)]$$

$$W_{yy} = + 3,6065 [\Delta_2 + \Delta_3 - (\Delta'_2 + \Delta'_3) - 0,0223 (\Delta'_2 + \Delta'_3)]$$

$$W_{\Delta} = - 3,7894 [\Delta_2 - \Delta_3 + (\Delta'_2 - \Delta'_3) + 0,0258 (\Delta'_2 - \Delta'_3)]$$

$$2 W_{xy} = - 6,5673 [\Delta_2 + \Delta_3 + (\Delta'_2 + \Delta'_3) + 0,0258 (\Delta'_2 + \Delta'_3)]$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_1 = n_1 - n_0 \\ \Delta_2 = n_2 - n_0 \\ \Delta_3 = n_3 - n_0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 3 n_0 = n_1 + n_2 + n_3 \\ \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = 0 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta'_1 = n'_1 - n'_0 \\ \Delta'_2 = n'_2 - n'_0 \\ \Delta'_3 = n'_3 - n'_0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 3 n'_0 = n'_1 + n'_2 + n'_3 \\ \Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 = 0 \end{array}$$

FÓRMULAS PARA CINCO ACIMUTES

BALANZA I

$$W_{xx} = - 1,6930 (\Delta_4 - \Delta_5) - 2,7391 (\Delta_5 - \Delta_2)$$

$$W_{yy} = + 5,2104 (\Delta_4 + \Delta_5) + 1,9901 (\Delta_5 - \Delta_2)$$

$$W_{\Delta} = + 5,0052 (\Delta_4 - \Delta_5) - 3,0936 (\Delta_5 - \Delta_2)$$

$$2 W_{xy} = - 3,6365 (\Delta_4 + \Delta_5) - 9,5210 (\Delta_5 + \Delta_2)$$

BALANZA II

$$W_{xx} = + 1,7367 (\Delta'_4 - \Delta'_5) + 2,8099 (\Delta'_5 - \Delta'_2)$$

$$W_{yy} = - 5,3450 (\Delta'_4 + \Delta'_5) - 2,0415 (\Delta'_5 + \Delta'_2)$$

$$W_{\Delta} = + 5,1167 (\Delta'_4 - \Delta'_5) - 3,1625 (\Delta'_5 - \Delta'_2)$$

$$2 W_{xy} = - 3,7175 (\Delta'_4 + \Delta'_5) - 9,7370 (\Delta'_5 + \Delta'_2)$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_1 = n_1 - n_0 \\ \Delta_2 = n_2 - n_0 \\ \Delta_3 = n_3 - n_0 \\ \Delta_4 = n_4 - n_0 \\ \Delta_5 = n_5 - n_0 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \Delta'_1 = n'_1 - n'_0 \\ \Delta'_2 = n'_2 - n'_0 \\ \Delta'_3 = n'_3 - n'_0 \\ \Delta'_4 = n'_4 - n'_0 \\ \Delta'_5 = n'_5 - n'_0 \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned}\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 &= 0 \\ \Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 + \Delta'_4 + \Delta'_5 &= 0 \\ n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 &= 5 n_0 \\ n'_1 + n'_2 + n'_3 + n'_4 + n'_5 &= 5 n'_0\end{aligned}$$

c) *Balanza modelo Z, número 522.*

$D = 920$ unidades (medios milímetros).

BALANZA I

$T = 33,522$ seg. = Período.

$m_s = 20,90$ gr.

$h_s = 22,25$ cm.

$K = 19,121$.

$m_i = 21,00$ gr.

$h_i = 18,20$ cm.

$$\text{Hilo } D. 162 \left\{ \begin{array}{l} \alpha = -0,30 \text{ mm.} \\ \tau = 0,441 [1 - 0,0022 (t - 20^\circ \text{ C.})] \end{array} \right.$$

BALANZA II

$T' = 33,556$ seg.

$m'_s = 21,00$ gr.

$h'_s = 22,25$ cm.

$$\text{Hilo } D. 163 \left\{ \begin{array}{l} \alpha = -0,29 \text{ mm.} \\ \tau' = 0,445 [1 - 0,0021 (t - 20^\circ \text{ C.})] \end{array} \right.$$

$K' = 19,160$

$m'_i = 21,00$ gr.

$h'_i = 18,20$ cm.

$$\begin{aligned}b &= 0,14143 \cdot 10^9 & b' &= 0,14049 \cdot 10^9 \\ 2a &= 0,15956 \cdot 10^9 & 2a' &= 0,15845 \cdot 10^9\end{aligned}$$

Introduciendo en las fórmulas los valores numéricos anteriores resultan las siguientes:

FÓRMULAS PARA TRES ACIMUTES

$$\begin{aligned}W_{xz} &= + 2,0395 [\Delta_2 - \Delta_3 - (\Delta'_2 - \Delta'_3) - 0,0070 (\Delta'_2 - \Delta'_3)] \\ W_{yz} &= + 3,5346 [\Delta_2 + \Delta_3 - (\Delta'_2 + \Delta'_3) - 0,0070 (\Delta'_2 + \Delta'_3)] \\ W_{\Delta} &= - 3,6168 [\Delta_2 - \Delta_3 + (\Delta'_2 - \Delta'_3) + 0,0067 (\Delta'_2 - \Delta'_3)] \\ 2W_{xy} &= - 6,2681 [\Delta_2 + \Delta_3 + (\Delta'_2 + \Delta'_3) + 0,0067 (\Delta'_2 + \Delta'_3)]\end{aligned}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_1 = n_1 - n_0 \\ \Delta_2 = n_2 - n_0 \\ \Delta_3 = n_3 - n_0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 3 n_0 = n_1 + n_2 + n_3 \\ \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = 0 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta'_1 = n'_1 - n'_0 \\ \Delta'_2 = n'_2 - n'_0 \\ \Delta'_3 = n'_3 - n'_0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 3 n'_0 = n'_1 + n'_2 + n'_3 \\ \Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 = 0 \end{array}$$

FÓRMULAS PARA CINCO ACIMUTES

BALANZA I

$$\begin{aligned}W_{xz} &= - 1,6624 (\Delta_4 - \Delta_3) - 2,6897 (\Delta_5 - \Delta_2) \\ W_{yz} &= + 5,1163 (\Delta_3 + \Delta_4) + 1,9542 (\Delta_5 + \Delta_2) \\ W_{\Delta} &= + 4,7681 (\Delta_4 - \Delta_3) - 2,9471 (\Delta_5 - \Delta_2) \\ 2W_{xy} &= - 3,4643 (\Delta_3 + \Delta_4) - 9,0700 (\Delta_2 + \Delta_5)\end{aligned}$$

BALANZA II

$$\begin{aligned}W_{xz} &= + 1,6735 (\Delta'_4 - \Delta'_3) + 2,7076 (\Delta'_5 - \Delta'_2) \\ W_{yz} &= - 5,1505 (\Delta'_4 + \Delta'_3) - 1,9672 (\Delta'_5 + \Delta'_2) \\ W_{\Delta} &= + 4,8017 (\Delta'_4 - \Delta'_3) - 2,9678 (\Delta'_5 - \Delta'_2) \\ 2W_{xy} &= - 3,4886 (\Delta'_4 + \Delta'_3) - 9,1338 (\Delta'_5 + \Delta'_2)\end{aligned}$$

BALANZA I

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_1 = n_1 - n_0 \\ \Delta_2 = n_2 - n_0 \\ \Delta_3 = n_3 - n_0 \\ \Delta_4 = n_4 - n_0 \\ \Delta_5 = n_5 - n_0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 5 n_0 = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 \\ \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 = 0 \end{array}$$

BALANZA II

$$\left. \begin{aligned} \Delta'_1 &= n'_1 - n'_0 \\ \Delta'_2 &= n'_2 - n'_0 \\ \Delta'_3 &= n'_3 - n'_0 \\ \Delta'_4 &= n'_4 - n'_0 \\ \Delta'_5 &= n'_5 - n'_0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} 5 n'_0 &= n'_1 + n'_2 + n'_3 + n'_4 + n'_5 \\ \Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 + \Delta'_4 + \Delta'_5 &= 0 \end{aligned}$$

§ 49. Fórmulas para el cálculo de la acción del terreno.

$$\begin{aligned} W'_{xx} &= a [0,707 (h_6 - h_2) + (h_4 - h_8) + (h_5 - h_1)] \\ W'_{yz} &= a [0,707 (h_6 - h_2) - (h_4 - h_8) + (h_7 - h_3)] \\ W'_\Delta &= -b [(h_3 - h_1) + (h_7 - h_5)] \\ 2W'_{xy} &= b [(h_4 - h_2) + (h_8 - h_6)] \end{aligned}$$

Estos valores hay que *restarlos* de los correspondientes al cálculo de los valores observados. En algunos trabajos hemos *sumado* la acción del terreno, en cuyo caso las fórmulas empleadas son las siguientes:

$$\begin{aligned} W'_{xx} &= a [0,707 (h_2 - h_6) + (h_8 - h_4) + (h_1 - h_5)] \\ W'_{yz} &= a [0,707 (h_2 - h_6) - (h_8 - h_4) + (h_3 - h_7)] \\ W'_\Delta &= -b [(h_1 - h_3) + (h_5 - h_7)] \\ 2W'_{xy} &= b [(h_2 - h_4) + (h_6 - h_8)] \end{aligned}$$

Los valores de *h* son los desniveles en ocho acimutes radiales, a partir del N., hacia el E., distanciados 45 grados.

Las distancias al origen, en cada radio nivelado, son de 0,60, 1,00, 1,50, 2,00, 3,00, 5,00, 10,00, 20,00, 30,00, 40,00, 50,00 y 100,00 metros.

Si el terreno no es muy llano, en un radio de tres metros alrededor de la estación, se interpolan otros ocho acimutes, de 22,5° en 22,5°, y se miden los valores de *h'*, para las distancias 0,60, 1,00, 1,50, 2,00 y 3,00 metros.

Se vuelven a calcular las fórmulas para los valores de *h'* y se halla la resultante de las correcciones calculadas según el Norte y según el acimut de 22,5°, por el procedimiento gráfico explicado en mi obra «Los Métodos Geofísicos de Prospección». En los capítulos siguientes expon-dremos un ejemplo de cálculo, al reseñar las investigacio-nes gravimétricas que hemos efectuado.

El coeficiente *a* es igual a

$$\frac{\sigma}{2} \cdot K$$

y el *b*, a

$$\frac{\sigma}{2} \cdot K'$$

siendo σ la densidad del terreno, y *K* y *K'* unos coeficien-tes numéricos que dependen de la distancia al centro de estación, del punto conside-rado de la nivelación radial, con arreglo al siguiente cua-dro (*).

| Distancia al centro — Metros | K | K' |
|------------------------------|---------|-------|
| 0,60 | 0,25 | 0,50 |
| 1,00 | | |
| 1,50 | | |
| 2,00 | 0,13 | 0,50 |
| 3,00 | 0,10 | 0,40 |
| 5,00 | 0,075 | 0,30 |
| 10,00 | 0,027 | 0,20 |
| 20,00 | 0,006 | 0,08 |
| 30,00 | 0,0016 | 0,035 |
| 40,00 | 0,0007 | 0,020 |
| 50,00 | 0,0004 | 0,015 |
| 70,00 | 0,0003 | 0,015 |
| 100,00 | 0,00017 | 0,015 |

En el cálculo de *W'Δ* y *W'yz*, no es indispensable considerar todos los térmi-nos desde el correspondien-te a 0,60 hasta el relativo a 3,00 metros. Se puede pres-cindir de los dos primeros.

En el Congreso de Minas ce-lebrado en Lieja, el año 1930,

C. Alexanian ha presentado unas nuevas fórmulas para el

(*) Estos valores numéricos han sido deducidos de las experien-cias efectuadas por el autor de esta obra.

cálculo de la corrección topográfica, cuyo fundamento es asimilar cada porción de la superficie topográfica del suelo, a una cierta parte de una superficie mínima de segundo grado (*). La superficie mínima que adopta es la de un paraboloides hiperbólico.

Establece la ecuación del paraboloides que coincide con un elemento superficial, que es de la forma

$$z = (A \cos \alpha + B \operatorname{sen} \alpha) \rho + C \operatorname{tang} \alpha + D$$

de la que se deduce la obtenida empíricamente por Eötvös, con solo suponer que α es muy pequeño, puesto que entonces se puede suponer que $\cos \alpha$ es igual a la unidad, y $\operatorname{sen} \alpha$ y $\operatorname{tang} \alpha$ iguales a α .

La ecuación resulta entonces,

$$z = A \rho + B \alpha \rho + C \alpha + D$$

deducida por Eötvös, de sus numerosos levantamientos topográficos.

Después de integrar las fórmulas generales de la corrección y efectuar diversas transformaciones de cálculo, obtiene los valores siguientes:

Para $\alpha_0 = 22^\circ 30'$

$$W_{xz} = -3 G \sigma \left\{ [0,36401. A^2 + 0,01868. B^2]. (I_4) \frac{\rho^2}{\rho_1} + \right. \\ \left. + 2 [0,37320. A (D - h) + 0,01965. C]. (I_3) \frac{\rho^2}{\rho_1} + \right. \\ \left. + [0,02053. C^2 + 0,38268. D (D - 2h)]. (I_2) \frac{\rho^2}{\rho_1} \right\}$$

$$W_{yz} = -3 G \sigma \left\{ 0,03736. A. B. (I_4) \frac{\rho^2}{\rho_1} + 0,03930 [A C + \right. \\ \left. + B (D - h)]. (I_3) \frac{\rho^2}{\rho_1} + 0,04106. C (D - h) (I_2) \frac{\rho^2}{\rho_1} \right\}$$

(*) Las superficies mínimas son las que presentan un área mínima, en el interior de un contorno alabeado dado.

$$W_{\Delta} = -3 G \sigma \left\{ 0,69068. A. (I_4) \frac{\rho^2}{\rho_1} + 0,70710. D (I_3) \frac{\rho^2}{\rho_1} \right\}$$

$$W_{xy} = +3 G \sigma \left\{ 0,03736. B (I_4) \frac{\rho^2}{\rho_1} + 0,03930. C (I_3) \frac{\rho^2}{\rho_1} \right\}$$

Para $\alpha_0 = 11^\circ 15'$

$$W_{xz} = -3 G \sigma \left\{ [0,12962. A^2 + 0,00247. B^2] (I_4) \frac{\rho^2}{\rho_1} + \right. \\ \left. + 2 [0,19390. A. (D - h) + 0,00252. B. C]. (I_3) \frac{\rho^2}{\rho_1} + \right. \\ \left. + [0,00254. C^2 + 0,19509. D. (D - 2h)]. (I_2) \frac{\rho^2}{\rho_1} \right\}$$

$$W_{yz} = -3 G \sigma \left\{ 0,00494. A. B. (I_4) \frac{\rho^2}{\rho_1} + 0,00504 [A. C + \right. \\ \left. + B (D - h)]. (I_3) \frac{\rho^2}{\rho_1} \right\}$$

$$W_{\Delta} = -3 G \sigma \left\{ 0,38030. A. (I_4) \frac{\rho^2}{\rho_1} + 0,38280. D. (I_3) \frac{\rho^2}{\rho_1} \right\}$$

$$W_{xy} = 3 G \sigma \left\{ 0,00494. B. (I_4) \frac{\rho^2}{\rho_1} + 0,00506. C. (I_3) \frac{\rho^2}{\rho_1} \right\}$$

A partir de $\rho = 100$ metros, las dos primeras fórmulas, en las que aparece (I_2) se simplifican, puesto que entonces, $(I_2) \frac{\rho^2}{\rho_1} - (I_1) \frac{\rho^2}{\rho_1} = 0$.

Los valores precedentes se refieren a dos ejes móviles, unidos a la parcela considerada. Para referirlos al Norte y Este geográficos, se emplean las fórmulas siguientes:

$$W_{XZ} = W_{xz} \cdot \cos \varphi - W_{yz} \cdot \operatorname{sen} \varphi$$

$$W_{YZ} = W_{xz} \cdot \operatorname{sen} \varphi + W_{yz} \cdot \cos \varphi$$

$$W_{XY} = -W_{\Delta} \frac{\operatorname{sen} 2 \varphi}{2} + W_{xy} \cdot \cos 2 \varphi$$

$$W_{\Delta} = W_{\Delta} \cos \varphi + 2 W_{xy} \cdot \operatorname{sen} 2 \varphi$$

siendo $\varphi = (2\rho + 1) \alpha_0$; $\rho = 0, 1, 2, \dots, 7$, para $\alpha_0 = 22^\circ 30'$.

La evaluación de la resultante total de cada corrección se efectúa analíticamente o por medio de la adición de vectores.

Nosotros no hemos tenido aún ocasión de experimentar este método de cálculo de la corrección topográfica. Desde luego, es más complicado que el que nosotros empleamos y sólo se ha hecho posible por haber calculado el autor los valores de los coeficientes de las fórmulas, que presentamos en los cuadros adjuntos.

El cuadro I sirve para calcular los valores de A, B, C y D

$$A = -a [(z_1 - z'_1) + (z_2 - z'_2)]$$

$$B = -b [(z_1 - z'_1) + (z_2 - z'_2)]$$

$$C = c [(z_1 - z_2) \rho_2 - (z'_1 - z'_2) \rho_1]$$

$$D = d [(z_1 + z_2) \rho_2 - (z'_1 + z'_2) \rho_1]$$

En estas fórmulas z_1, z_2, z'_1 y z'_2 , son las ordenadas de los cuatro vértices del elemento superficial, limitado por dos planos radiales que forman, entre sí, el ángulo $2\alpha_0$ y dos superficies cilíndricas verticales de radios ρ_1 y ρ_2 .

CUADRO I

| ρ | $\rho_2 - \rho_1$ | $\alpha_0 = 22^\circ 30'$ | | | d | $\alpha_0 = 11^\circ 15'$ | | |
|--------|-------------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------------------------|---------|---------|
| | | a | b | c | | a | b | c |
| 1,5 | 1,5 | 0,36080 | 0,87107 | 0,80473 | 0,33333 | 0,33987 | 1,70860 | 1,67580 |
| 3 | 2 | 0,27060 | 0,65330 | 0,60355 | 0,25000 | 0,25490 | 1,28145 | 1,25685 |
| 5 | 5 | 0,10824 | 0,26132 | 0,24142 | 0,10000 | 0,10196 | 0,51258 | 0,50274 |
| 10 | 10 | 0,05412 | 0,13066 | 0,12071 | 0,05000 | 0,05098 | 0,25629 | 0,25137 |
| 20 | 10 | 0,05412 | 0,13066 | 0,12071 | 0,05000 | 0,05098 | 0,25629 | 0,25137 |
| 30 | 10 | 0,05412 | 0,13066 | 0,12071 | 0,05000 | 0,05098 | 0,25629 | 0,25137 |
| 40 | 10 | 0,05412 | 0,13066 | 0,12071 | 0,05000 | 0,05098 | 0,25629 | 0,25137 |
| 50 | 10 | 0,05412 | 0,13066 | 0,12071 | 0,05000 | 0,05098 | 0,25629 | 0,25137 |
| 70 | 20 | 0,02706 | 0,06533 | 0,06036 | 0,02500 | 0,02549 | 0,12815 | 0,12569 |
| 100 | 30 | 0,01804 | 0,04355 | 0,04024 | 0,01667 | 0,01699 | 0,08543 | 0,08379 |

CUADRO II.—Balanza «Askania»: $h = 0,90$ m.

| ρ | $(I_2) \cdot \rho$ | $(I_2) \rho_2 - (I_1) \rho_1$ | $(I_3) \cdot \rho$ | $(I_3) \rho_2 - (I_3) \rho_1$ | $(I_4) \cdot \rho$ | $(I_4) \rho_2 - (I_4) \rho_1$ |
|--------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| 0 | + 0,25947 | + 0,25947 | - 0,75186 | + 0,23063 | + 0,11075 | + 0,11612 |
| 1,5 | + 0,36161 | + 0,10214 | - 0,52123 | 0,21075 | 0,56283 | 0,45208 |
| 3 | + 0,39229 | + 0,03068 | - 0,31048 | 0,11570 | 1,00867 | 0,44584 |
| 5 | + 0,40657 | + 0,0142 | - 0,19478 | 0,09545 | 1,67245 | 0,66378 |
| 10 | + 0,41027 | + 0,00370 | - 0,09933 | 0,04941 | 2,35811 | 0,68566 |
| 20 | + 0,41092 | + 0,00065 | - 0,04992 | 0,01659 | 2,76217 | 0,40406 |
| 30 | + 0,41121 | + 0,00029 | - 0,03333 | 0,00833 | 3,04932 | 0,28715 |
| 40 | + 0,41132 | + 0,00011 | - 0,02500 | 0,00500 | 3,27227 | 0,22295 |
| 50 | + 0,41142 | + 0,00010 | - 0,02000 | 0,00571 | 3,60841 | 0,33614 |
| 70 | + 0,41147 | + 0,00005 | - 0,01429 | 0,00429 | 3,96502 | 0,35661 |
| 100 | | | - 0,01000 | | 4,37049 | 0,40547 |

§ 50. Fórmulas para el cálculo de la acción cartográfica.—Las fórmulas empleadas por Eötvös, para el cálculo de la acción cartográfica, son las siguientes:

$$W''_{xz} = -\frac{3}{2} g \sigma \xi \frac{d \rho \cdot \cos \alpha \cdot d \alpha}{\rho^2}$$

$$W''_{yz} = -\frac{3}{2} g \sigma \xi \frac{d \rho \cdot \sen \alpha \cdot d \alpha}{\rho^2}$$

$$W''_{\Delta} = -3 g \sigma \xi \frac{d \rho \cdot \cos 2 \alpha \cdot d \alpha}{\rho^2}$$

$$W''_{xy} = +\frac{3}{2} g \sigma \xi \frac{d \rho \cdot \sen 2 \alpha \cdot d \alpha}{\rho^2}$$

En estas fórmulas representan:

- g la constante de la gravitación, cuyo valor es de $66,10^{-9}$.
- α el ángulo que forma con el eje de las X , dirigido hacia el Norte, el radio vector que pasa por el centro de figura del segmento considerado.
- $d \alpha$... la amplitud angular de un segmento de $10'' = 0,1745$.
- ρ la distancia de la estación al centro de figura del segmento.

$d\rho$... la longitud del mismo (semisuma de los lados rectilíneos).

ξ diferencia entre la altura de la estación y la media del segmento.

La práctica adquirida en los varios trabajos de prospección que hemos efectuado, nos ratifica la opinión que hemos expuesto en nuestra obra «Los Métodos Geofísicos de Prospección», respecto a las dificultades que ofrece el cálculo de esta corrección con cierta exactitud.

A más de contar con planos altimétricos detallados, de que no siempre se dispone, sólo cabe medir la densidad superficial del terreno, que puede ser muy distinta de la que corresponda en promedio, al considerar un segmento completo.

Por estas razones creemos que esta corrección no debe efectuarse, es decir, que la balanza de torsión no da resultados precisos cuando el relieve del terreno la hace necesaria.

§ 51. Fórmulas para el cálculo de R y λ .

$$\text{Tang } 2\lambda = -\frac{2 W_{xy}}{W_{\Delta}}$$

$$R = -\frac{W_{\Delta}}{\cos 2\lambda}$$

R es siempre positivo, de modo que el signo de $\cos 2\lambda$ está siempre determinado por el de W_{Δ} . El de la tangente depende de los de W_{xy} y W_{Δ} . Como todas estas magnitudes están ya calculadas y se conoce, no sólo su valor numérico, sino también su signo, queda determinado el

cuadrante que corresponde al ángulo 2λ y por consiguiente el de λ .

Los ángulos λ se toman, a partir del Norte magnético o verdadero, según el que se haya empleado para los gradientes, hacia el Este, de 0° a 180° .

En el ejemplo de cálculo que presentamos en una de las investigaciones gravimétricas que describiremos más adelante, pueden aclararse las explicaciones anteriores.

§ 52. Ejemplo de cálculo de una estación gravimétrica completa.

a) *Cálculo del gradiente y de las magnitudes de curvatura.*—El ejemplo elegido se refiere a la estación 1 de la investigación efectuada en Tafalla, para estudiar el anticlinal que cruza la región.

La medición de la placa fotográfica con la escala de Fuess y el cálculo de los valores observados para las diversas magnitudes gravimétricas constan en el siguiente cuadro:

INVESTIGACION GRAVIMETRICA EN TAFALLA
ESTACION N.º 1

| ¿Estaba la burbuja en el índice al terminar la medición? Sí.—Placa colocada a las 20 en la posición I, revclada a las 10 en la posición I.—Orientación N. M.—Declinación magnética 12° . | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-------|----------|---------------------------|--------|----------|--------------|--------|
| Posición | Balanza I: Hilo núm. 571 | | | Balanza II: Hilo núm. 573 | | | Temperaturas | |
| | n | n_0 | Δ | n' | n'_0 | Δ | Lectura | Grados |
| I | 93,2 | 101,9 | -8,7 | 44,5 | 36,5 | +8,0 | — | — |
| II | 110,0 | 101,9 | +8,1 | 37,1 | 36,5 | +0,6 | — | — |
| III | 102,6 | 102,5 | +0,1 | 28,0 | 36,7 | -8,7 | — | — |
| I | 95,0 | 102,8 | -7,8 | 45,1 | 37,1 | +8,0 | — | — |
| II | 111,0 | 103,2 | +8,8 | 38,3 | 37,7 | +0,6 | — | — |
| III | 103,6 | 103,5 | +0,1 | 29,7 | 38,1 | -8,4 | — | — |
| I | 96,0 | | | 46,4 | | | | |

Balanza n.º 603. $\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = + 0,2$
 Fecha: 19-5-1932. $\Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 = 0$
 $\Delta_1 = - 8,3$ $\Delta'_1 = + 8,0$ $\Delta_2 - \Delta_3 = + 8,3$
 $\Delta_2 = + 8,4$ $\Delta'_2 = + 0,6$ $\Delta_2 + \Delta_3 = + 8,5$
 $\Delta_3 = + 0,1$ $\Delta'_3 = - 8,6$ $\Delta'_2 - \Delta'_3 = + 9,2$
 $\Delta'_2 + \Delta'_3 = - 8,0$

$A = W_{xz} = + 2,08. [(\Delta_2 - \Delta_3) - (\Delta'_2 - \Delta'_3)] = + 2,08 (8,3 - 9,2) = + 2,08 (-0,9) = - 1,9$

$B = W_{yz} = + 3,61. [(\Delta_2 + \Delta_3) - (\Delta'_2 + \Delta'_3)] = + 3,61 (8,5 + 8,0) = + 3,61 (16,5) = + 57,8$

$C = W_{\Delta} = - 3,80. [(\Delta_2 - \Delta_3) + (\Delta'_2 - \Delta'_3)] = - 3,80 (8,3 + 9,2) = - 3,80 (17,5) = - 64,5$

$D = 2W_{xy} = - 6,57. [(\Delta_2 + \Delta_3) + (\Delta'_2 + \Delta'_3)] = - 6,56 (8,5 + 8,0) = - 6,57 (16,5) = - 108,4$

No se ha efectuado la corrección de temperatura por no ser necesaria, a causa de su estabilidad durante las horas de la observación.

b) *Cálculo de la acción del terreno.*— Antes de colocar la barraca de la balanza, se alisó y horizontó el terreno en un círculo de tres metros de radio. Como a pesar de ello aun existían algunas pequeñas irregularidades en la superficie se efectuó la nivelación en 16 direcciones radiales, hasta la distancia de tres metros, y en ocho hasta la de 70. No se tuvo en cuenta la correspondiente a los 100 metros por ser muy llano el terreno.

En el cuadro adjunto constan los valores, medidos directamente en la nivelación por medio del reglón y con el nivel. Estos valores no son los desniveles h_1, h_2, h_3, \dots , que figuran en la primera columna del cuadro, pero hemos preferido esta disposición para ahorrar un estado de cálculo. Así, por ejemplo, el valor de $(h_2 - h_6)$ para 0,60 metros, sería:

$(24,5 - 23,5) - (24,5 - 27,5) = + 4$

y con el estado de campo representado en el cuadro, basta restar los valores de h_2 y h_6 y cambiar el signo a la diferencia.

| NIVELACIÓN DE LA SUPERFICIE. | | | | | | | DENSIDAD = 1,8 | | | | | | |
|--|--------|--------------|------|-----------|--------|--------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nivelación con reglón. Altura de la placa = 24,5 | | | | | | | Nivelación con nivel. Altura del nivel = 125 | | | | | | |
| | Acimut | 0,60 metros. | 1 m. | 1,50 mts. | 2 mts. | 3 mts. | 5 mts. | 10 mts. | 20 mts. | 30 mts. | 40 mts. | 50 mts. | 70 mts. |
| h_1 | N. | 24,5 | 25,0 | 24,0 | 24,5 | 24,5 | 125 | 129 | 122 | 101 | 114 | 131 | 173 |
| h_2 | NE. | 23,5 | 21,5 | 20,0 | 19,0 | 11,0 | 102 | 97 | 64 | 22 | 10 | -2 | -3 |
| h_3 | E. | 23,0 | 22,0 | 16,5 | 18,0 | 7,0 | 92 | 65 | 12 | 0 | 0 | -2 | -2 |
| h_4 | SE. | 23,0 | 23,0 | 23,0 | 18,0 | 18,0 | 94 | 66 | 19 | 0 | 0 | -2 | -3 |
| h_5 | S. | 25,5 | 26,0 | 24,5 | 25,5 | 29,0 | 120 | 116 | 114 | 120 | 111 | 91 | 112 |
| h_6 | SO. | 27,5 | 28,5 | 30,5 | 31,0 | 33,0 | 147 | 161 | 191 | 262 | 140 | 405 | 402 |
| h_7 | O. | 28,0 | 29,5 | 33,0 | 32,5 | 36,0 | 152 | 173 | 180 | 295 | 350 | 381 | 402 |
| h_8 | NO. | 27,0 | 27,0 | 29,0 | 32,0 | 38,0 | 141 | 154 | 145 | 247 | 238 | 241 | 322 |
| h'_1 | N.-NE. | 24,5 | 23,0 | 22,5 | 21,0 | 19,5 | | | | | | | |
| h'_2 | E.-NE. | 23,0 | 21,0 | 19,0 | 17,0 | 14,0 | | | | | | | |
| h'_3 | E.-SE. | 22,5 | 21,5 | 19,0 | 18,5 | 11,0 | | | | | | | |
| h'_4 | S.-SE. | 25,0 | 20,5 | 21,0 | 24,0 | 19,5 | | | | | | | |
| h'_5 | S.-SO. | 26,5 | 26,5 | 29,0 | 27,5 | 31,0 | | | | | | | |
| h'_6 | O.-SO. | 28,0 | 30,0 | 32,0 | 33,0 | 37,0 | | | | | | | |
| h'_7 | O.-NO. | 28,0 | 27,0 | 30,0 | 31,0 | 37,5 | | | | | | | |
| h'_8 | N.-NO. | 26,0 | 26,0 | 27,0 | 26,5 | 26,0 | | | | | | | |

El cálculo de W'_{xz} y W'_{yz} se ha efectuado en los estados siguientes:

| | 60 cm. | 1 m. | 1,50 m. | 2 m. | 3 m. | 5 m. | 10 m. | 20 m. | 30 m. | 40 m. | 50 m. | 70 m. | 100 m. |
|-------------|--------|------|---------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| $h_2 - h_6$ | 4 | 7 | 10 | 12 | 22 | 45 | 64 | 127 | 240 | 330 | 407 | 405 | |
| $h_4 - h_8$ | 4 | 4 | 6 | 14 | 20 | 47 | 88 | 126 | 247 | 238 | 243 | 325 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------|----------------|-------------|----------|------|-------|--------|-----------------|------|-------|--------|--------|------|--------|-------|--------|-------|
| 0,60 m. | + 4, | + 2,8 | + 2,0 | + 4,8 | 0,25 | + 2,3 | + 27,0 | Sumas | + 6 | + 4,2 | + 5,5 | + 9,7 | 0,25 | + 22,6 | + 4,7 | + 20,3 | Sumas |
| 1,00 m. | + 4, | + 2,8 | + 3,5 | + 6,3 | 0,25 | + 2,1 | + 29 | $(h_2 - h_6) +$ | + 14 | + 10 | + 5,5 | + 15,5 | 0,25 | + 22,6 | + 3,3 | | |
| 1,50 m. | + 7, | + 5,0 | + 6,5 | + 11,5 | 0,25 | + 2,1 | + 18 | $(h_1 - h_8) -$ | + 19 | + 13 | + 11,0 | + 24,0 | 0,25 | + 22,6 | | | |
| 2,00 m. | + 14, | + 10 | + 6,5 | + 16,5 | 0,13 | + 2,3 | + 13 | $(h_2 - h_6) +$ | + 18 | + 13 | + 12,5 | + 25,5 | 0,13 | + 3,3 | | | |
| 3,00 m. | + 17, | + 12 | + 11,5 | + 23,5 | 0,10 | + 2,3 | + 20 | $(h_1 - h_8) -$ | + 19 | + 20 | + 26,5 | + 46,5 | 0,10 | + 4,7 | | | |
| | | $\times 0,707$ | $h_1 - h_3$ | Σ | | | | | | | | | | | | | |

La resultante de las acciones topográficas hasta los tres metros se ha calculado por el procedimiento gráfico indicado en la figura 142, que nos suministra los valores de + 25,7 para W'_{xz} y + 9,2 para W'_{yz} .

Estos valores, combinados con los restantes calculados, dan los resultados siguientes:

$$W'_{xz} = (+ 9,2 - 0,85) \times 0,9 = + 0,75$$

$$W'_{yz} = (+ 25,7 + 20,5) \times 0,9 = + 41,6$$

En la figura 142 se ha tomado, según el eje de las X, el valor + 2,3 que resulta del primer cuadro y sobre el de

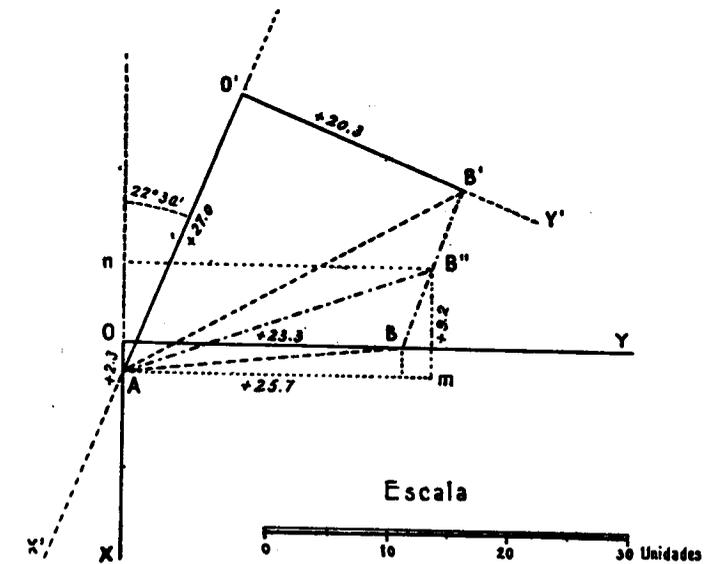


Fig. 142.

las Y, el de + 23,3, del correspondiente a esta corrección. La resultante es AB .

En el punto A , se ha trazado un nuevo sistema de coor-

denadas, cuyo eje de las X' , forma con el anterior el ángulo de $22,30^\circ$ y cuyo centro O' se encuentra a la distancia de A igual a $+27,0$, obtenida por el cálculo. En el eje $O' Y'$ se ha tomado la correspondiente distancia de $+20,3$. La resultante es AB' y la total AB'' , cuyas coordenadas son los valores buscados.

El cálculo de la acción del terreno correspondiente a los valores de W'_Δ y W'_{xy} , se reúne en los cuadros siguientes:

Cálculo de W'_Δ y W'_{xy}

| Metros | $h_1 - h_3$ | | Σ | + | - | $h_2 - h_4$ | | Σ | + | - |
|--------|-------------|-------|------------|------|-----|-------------|-------|------------|-----|------|
| | h_1 | h_3 | | | | h_2 | h_4 | | | |
| 0,60 | -1 | +3 | +2,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | | |
| 1,00 | -2 | +3 | 0,0 | 0 | 0 | +2 | -1 | +1,0 | | |
| 1,50 | -3 | +9 | +1,0,5 | +0,5 | | +3 | -1 | +2,0,5 | 1 | |
| 2,00 | -6 | +7 | +1,0,5 | 0,5 | | -1 | +1 | 0,0,5 | 0 | |
| 3,00 | -17 | +7 | -10,0,4 | | 4 | +7 | +5 | +12,0,4 | 4,8 | |
| 5,00 | -33 | +32 | -1,0,3 | | 0,3 | -8 | -6 | -14,0,3 | | 4,2 |
| 10 | -64 | +57 | -7,0,2 | | 1,4 | -31 | -7 | -38,0,2 | | 7,6 |
| 20 | -110 | +66 | -44,0,08 | | 3,5 | -45 | -46 | -91,0,08 | | 7,2 |
| 30 | -101 | +175 | +74,0,03 | 2,2 | | -22 | -15 | -37,0,03 | | 1,1 |
| 40 | -114 | +239 | +125,0,02 | 2,5 | | -10 | -102 | -112,0,02 | | 2,2 |
| 50 | -133 | +290 | +157,0,015 | 2,2 | | 0 | -164 | -164,0,015 | | 2,4 |
| 70 | -175 | +290 | +115,0,015 | 1,6 | | 0 | -80 | -80,0,015 | | 1,2 |
| | | | | 9,5 | 9,2 | | | | 5,8 | 25,9 |
| | | | Sumas..... | 0,3 | | | | Sumas..... | | 20,1 |

$W'_\Delta = 0,9 \times 0,3 = +0,27$ $W'_{xy} = 0,45 (-20,1) = -9,04$

c) *Cálculo de R y λ.*—El procedimiento más sencillo para calcular las fórmulas correspondientes es el empleo de los logaritmos.

Es muy útil comprobar los resultados por medio de la fórmula:

$$R = \sqrt{W'^2_\Delta + (2 W'_{xy})^2}$$

CÁLCULO DE R Y λ

$\text{Log } 2 W'_{xy} = 0,2553.$

$\text{Log } W'_\Delta = 1,8451.$

$\text{Log } \text{tang } 2\lambda = \bar{2},4102.$

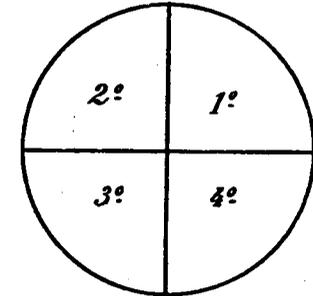
Signos $\left\{ \begin{array}{l} \text{tang: } -2\lambda = 358^\circ 32' \\ \text{cos: } +\lambda = 179^\circ 16' \end{array} \right.$

$\text{Log } W'_\Delta = 1,8451.$

$\text{Log } \text{cos } 2\lambda = \bar{1},9998.$

$\text{Log } R = 1,8453.$

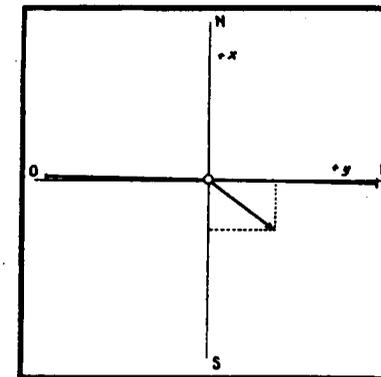
$R = 70.$



- 1.º cuadrante : tang + cos +
- 2.º id. : tang - cos -
- 3.º id. : tang + cos -
- 4.º id. : tang - cos +

d) *Resumen.*—El cuadro adjunto reúne ordenadamente todos los valores obtenidos y los normales, correspondientes a la latitud del lugar.

La representación gráfica del gradiente y término de curvatura se representa en la figura 143.



Escala de los gradientes..... 1 m.m. = $1 \cdot 10^{-9}$ C.G.S.
Id. de las curvaturas..... 1 m.m. = $1 \cdot 10^{-9}$ C.G.S.

Fig. 143.

| | Valores observados | Valores normales | Valores corregidos | Acción del terreno | Valores topográficos | R | λ |
|--------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----|-----------|
| W_{xx} | -1,9 | +8,1 | -10,0 | +0,75 | -10,7 | 70 | 179° 16' |
| W_{yz} | +57,8 | +1,8 | +56,0 | +41,6 | +14,4 | | |
| W_{Δ} | -64,5 | +5,6 | -70,1 | +0,3 | -70,4 | | |
| W_{xy} | -3,3 | -1,2 | -2,1 | -9,0 | +6,9 | | |

e) *Valores normales de las magnitudes gravificas, para las latitudes españolas.*— Los valores normales de las magnitudes gravificas calculados en función de la latitud, por medio de las fórmulas de Eötvös, son los siguientes:

| Latitud φ | U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} |
|-------------------|----------|----------|--------------|----------|
| 37° | + 7,7 | + 1,7 | + 6,7 | - 1,4 |
| 38° | + 7,8 | + 1,7 | + 6,5 | - 1,4 |
| 39° | + 7,8 | + 1,7 | + 6,3 | - 1,3 |
| 40° | + 7,9 | + 1,7 | + 6,1 | - 1,2 |
| 41° | + 8,0 | + 1,8 | + 5,9 | - 1,2 |
| 42° | + 8,0 | + 1,8 | + 5,7 | - 1,2 |
| 43° | + 8,1 | + 1,8 | + 5,5 | - 1,2 |
| 44° | + 8,1 | + 1,8 | + 5,3 | - 1,1 |

CAPÍTULO XII

LA INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA ZONA DE EL BURGO DE OSMA Y BERLANGA DE DUERO

§ 53. *Prólogo.*—En el Norte de España se han observado indicios petrolíferos en las provincias de Soria, Burgos y Santander. En la mayoría de los casos, estos indicios son impregnaciones bituminosas de las areniscas urgo-aptienses y desprendimiento de gases combustibles en algunas calizas, especialmente de las que pertenecen al wealdense.

En la zona de El Burgo de Osma, las areniscas mencionadas están cubiertas por las calizas cenomanenses, que forman una serie de anticlinales paralelos, parcialmente visibles en algunos lugares de la superficie del terreno.

El Instituto Geológico y Minero de España deseaba efectuar un sondeo de exploración de aquellas areniscas, para lo que era necesario elegir el emplazamiento que reuniese condiciones más favorables, desde el punto de vista geológico-tectónico. Era, por consiguiente, necesario estudiar la continuidad de los anticlinales en la parte no visible desde la superficie, para juzgar de su importancia y de la posibilidad de encontrar algún lugar de su recorrido, con estructura abovedada.

El método gravimétrico de prospección podía ayudar a la resolución del problema, toda vez que la magnitud y

dirección de los gradientes y términos de curvatura son datos concluyentes para la determinación de tales estructuras, por cuya razón, el Director de aquel Centro, Sr. de la Peña, dispuso la ejecución de un estudio de unas 100 estaciones, con la balanza de torsión, y me honró con el encargo de dirigirla personalmente. Como entonces no disponíamos de los elementos de material y personal necesarios para efectuarla se utilizaron los de la importante sociedad alemana Exploration, y de su filial en España La Geofísica, S. A.

Para seguir con más facilidad el curso de las explicaciones, empezaremos por dar una ligera reseña geográfica y geológica de la zona de estudio.

§ 54. Reseña geográfica y geológica.

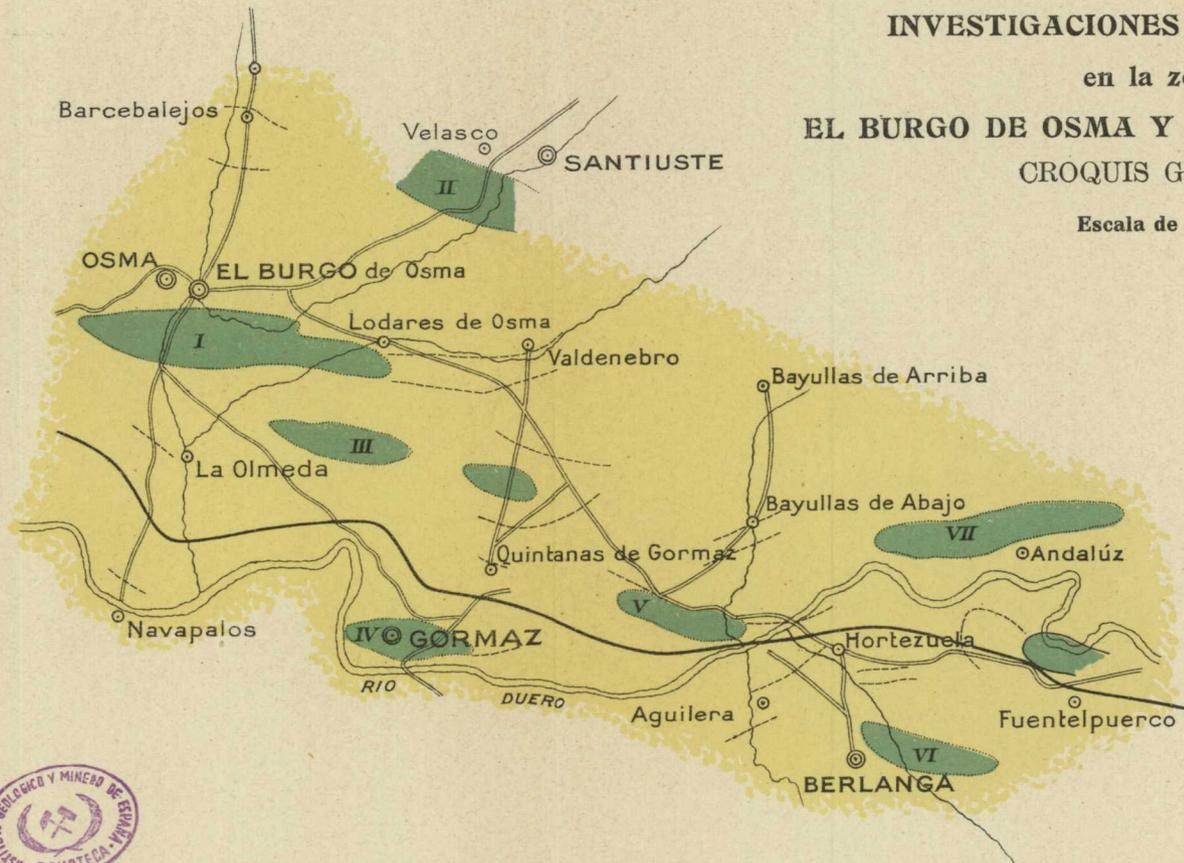
a) *Reseña geográfica.*—El pueblo más importante de nuestra zona es el de El Burgo de Osma, cabeza de partido de su nombre, perteneciente a la provincia de Soria, de la que dista 112 kilómetros.

Desde el punto de vista hidrográfico, constituye una parte de la cuenca septentrional del Duero, surcada por varios de sus afluentes. En las cercanías de la población se encuentra la confluencia de los ríos Avión y Ucero, y un poco más lejos, aguas abajo, este último recibe las del río Sequillo, antes de desembocar en el Duero. En su límite oriental hay otro río de menor importancia, llamado río Andaluz por unirse al Duero en el pueblo de este nombre.

La localidad de Berlanga de Duero se encuentra ya en la vertiente meridional del Duero, cerca de la desembocadura del río Escalote, pero como casi todo el trabajo se ha efectuado en la vertiente opuesta, no creemos necesario dar más detalles.

INVESTIGACIONES GRAVIMÉTRICAS
en la zona de
EL BURGO DE OSMA Y BERLANGA DE DUERO
CROQUIS GEOLOGICO

Escala de 1:200.000



- Calizas cubiertas
- Terrenos terciarios
- Calizas cenomanenses

La orografía de la región es muy variada. En las cercanías de El Burgo de Osma el terreno es muy quebrado; los ríos corren por barrancos profundos de laderas escarpadas, que delimitan altiplanicies de diversas extensiones. Afortunadamente, al Norte y al Este de la localidad mencionada, o sea en la zona que nos interesa para la investigación, desaparecen estos accidentes orográficos y el terreno queda reducido a una llanura ondulada en la que es posible intentar un trabajo de prospección gravimétrica, con probabilidades de éxito.

Las vías de comunicación son muy buenas y abundantes. El ferrocarril de Valladolid a Ariza cruza la zona de Oeste a Este, así como la carretera de Soria a la primera de las poblaciones citadas. Tiene también carretera directa a Burgos, por San Leonardo y otras menos importantes, que la enlazan con todos los núcleos urbanos de sus cercanías.

b) *Reseña geológica.*—La lámina XXXI representa el croquis geológico de la región. En él se aprecian los diversos afloramientos de los anticlinales, formados por las calizas cenomanenses, cuyos flancos están ocultos por los sedimentos terciarios. Sobre éstos, se ha depositado un ligero manto aluvial, que no hemos representado en el croquis para mayor claridad.

Las calizas citadas son muy duras y compactas, de color gris azulado y textura uniforme. En el Terciario tenemos que distinguir dos horizontes: el inferior, clasificado como Terciario antiguo, por no poder precisar más a causa de la falta de fósiles, constituido por areniscas duras, cuyo grano aumenta progresivamente, hasta transformarse en verdaderos conglomerados, aflora en las cercanías de El Burgo de Osma y Velasco, y el superior, formado por las areniscas blandas del Mioceno, con interca-

laciones de bancos de conglomerados duros y de arcillas rojas, que se extiende por la mayor parte de la zona.

Poco podemos decir respecto de la tectónica de la región, por ser muy pequeña la superficie estudiada. Sin embargo, resalta a primera vista, el paralelismo de los ejes de los diversos anticlinales, cuyo plegamiento simultáneo ha obedecido a un empuje que actuó en la dirección Noreste-Suroeste.

En algunos lugares, los estratos no han podido resistir sin romperse los efectos del fuerte plegamiento, y se han originado fallas de importancia. Una de ellas puede observarse en el acantilado Oeste del barranco del río Uce-ro, en las puertas de la población de El Burgo de Osma, sin necesidad de salir de la carretera.

§ 55. Las mediciones gravimétricas.—La distancia mutua entre las estaciones efectuadas con la balanza de torsión debe permitir un trazado aproximado de las líneas isógamas. Para hacer compatible esta condición con la considerable extensión de la zona, se hizo previamente un tanteo aproximado para repartir las 100 estaciones proyectadas, en los lugares más adecuados de aquélla. Así se obtuvo la cifra de 650 metros para el valor medio de la separación entre las estaciones.

Se trata, por consiguiente, de un estudio general que pueda suministrar nos indicaciones de los lugares más convenientes para efectuar estudios de detalle, que precisen los resultados obtenidos.

En los párrafos siguientes indicaremos la situación y número de estaciones de cada uno de los perfiles gravimétricos, representados gráficamente en el plano adjunto, lámina XXXII.

Perfil A.—Se ha efectuado este perfil por la carretera

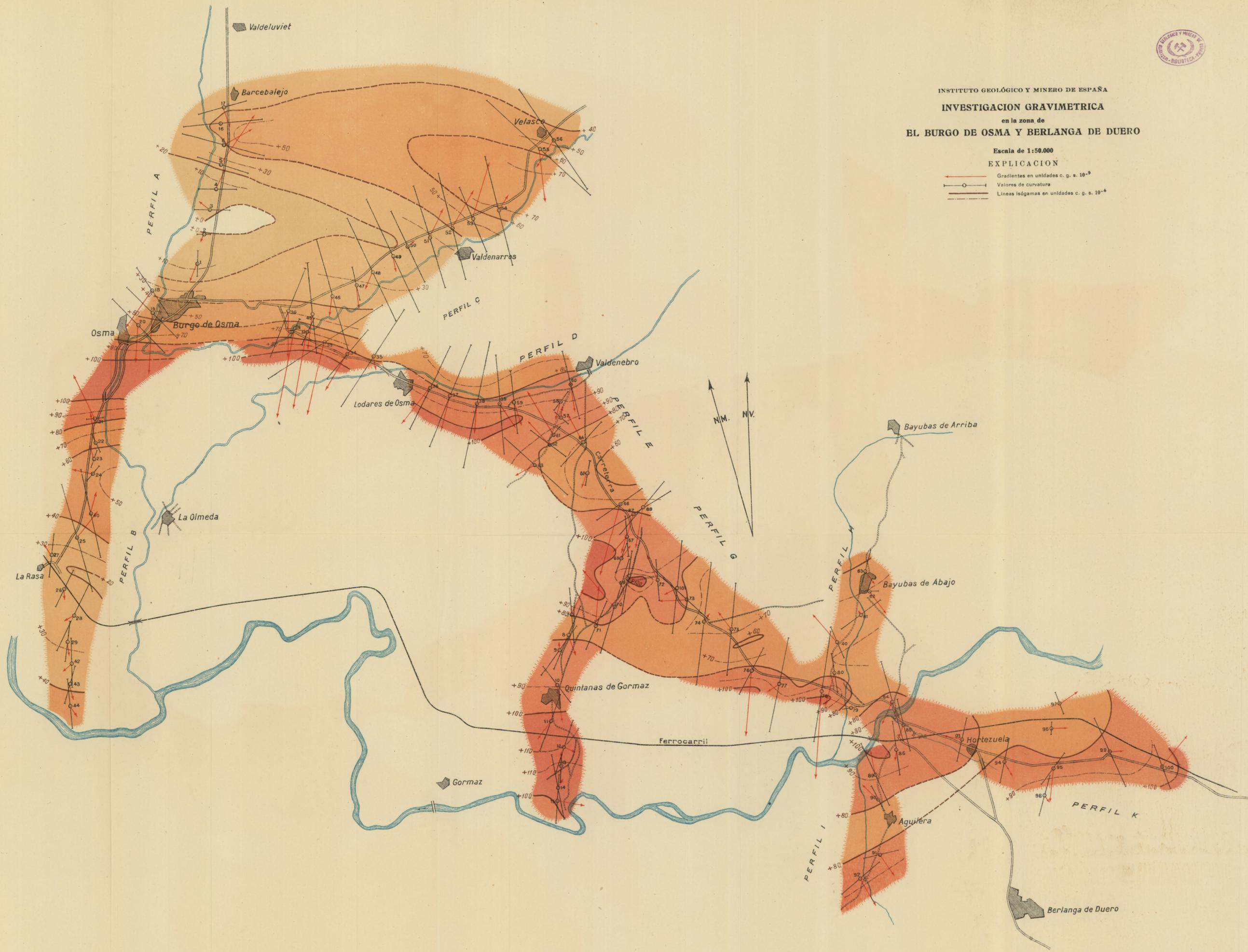


INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACION GRAVIMETRICA
en la zona de
EL BURGO DE OSMA Y BERLANGA DE DUERO

Escala de 1:50.000

EXPLICACION

- Gradientes en unidades c. g. s. 10^{-9}
- Valores de curvatura
- Lineas isógamas en unidades c. g. s. 10^{-4}



de El Burgo de Osma a San Leonardo, hasta el pueblo de Barcebalejo. Tiene una longitud total de 5,5 kilómetros y consta de 11 estaciones, numeradas del 1 al 6 y del 16 al 20.

Perfil B.—Está situado a lo largo de la carretera de El Burgo de Osma a la estación ferroviaria de Casa de Osma, hasta llegar al río Duero. Consta de 13 estaciones, repartidas en una longitud de 8,8 kilómetros. Corresponden a los números 21 al 29 y 41 al 44.

Perfil C.—Coincide con la carretera de El Burgo de Osma a Soria, hasta la villa de Santiuste. Su longitud es de 9,9 kilómetros y se han observado en él las 13 estaciones, números 30 y desde el 45, al 56.

Perfil D.—Este perfil se bifurca del anterior, por la carretera de Lodaes de Osma, hasta una distancia del pueblo de poco más de un kilómetro. Comprende las ocho estaciones, números 31 al 38, repartidas en una longitud de 4,6 kilómetros.

Perfil E.—Las 14 estaciones de este perfil están situadas cerca de Valdenebro, hasta el kilómetro 10 de la carretera a Berlanga de Duero y en los caminos cercanos. Tiene una longitud de 14 kilómetros y consta de las estaciones números 39, 57 al 59, 60 al 67, 87 y 88.

Perfil F.—Se le ha situado en el camino que se dirige a Quintana de Gormaz, desde la carretera de El Burgo de Osma a Berlanga de Duero. Comprende las estaciones números 68 al 71 y 7 al 15, con una longitud total de siete kilómetros.

Perfil G.—Continúa asimismo por la carretera de El Burgo de Osma a Berlanga de Duero, entre el kilómetro 11 y el puente sobre el Duero, situado cerca de Hortezuela. Su longitud es de ocho kilómetros, y las 11 estaciones que comprende tienen los núms. 72, 73, 101 y 80 a 84.

Perfil H.—Se le situó en el camino a Bayubas de Abajo.

Su longitud es de dos kilómetros y medio, comprendidos entre las estaciones 40, 81, 82 y 83.

Perfil I.—Está situado entre el puente de Hortezueta y el pueblo de Aguilera. Tiene una longitud de cuatro kilómetros y consta de las estaciones núms. 85, 86, 89, 90, 91 y 92.

Perfil K.—Comprende las estaciones 96 a 100, situadas en la carretera de Hortezueta a Fuenteelpuerco, distribuidas en una longitud de ocho kilómetros.

El número total de estaciones asciende a 101 y la suma de las longitudes de los perfiles a 65 kms. por lo que resulta una distancia media entre aquéllas de 640 metros.

§ 56. **Condiciones de la observación.**—En todas las estaciones se efectuó la explanación del terreno en un radio de tres metros. Se hicieron ocho nivelaciones radiales a las distancias de 0,60, 1,00, 1,50, 2,00 y 3,00 metros, que se repitieron otra vez para tomar los promedios de ambas como valores más exactos.

En las estaciones 76, 77, 78 y 83 se tuvieron en cuenta 16 nivelaciones radiales, por estar algo inclinada la superficie del terreno.

Los datos para la corrección topográfica se tomaron a las distancias de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 70 y 100 metros.

No se tuvo en cuenta la corrección cartográfica por no creerla necesaria, ni conveniente.

El valor de la densidad del terreno, que se ha de introducir en las fórmulas, se tomó igual a 1,8 en los terrenos de labor y a 2,0 en los de acarreo.

§ 57. **Resumen de los valores obtenidos.**—Los cálculos y correcciones se efectuaron con arreglo a las fórmulas explicadas, hasta obtener los valores que figuran en el adjunto cuadro:

Cuadro de los valores numéricos calculados para las magnitudes gravílicas en la investigación de la zona de El Burgo de Osma y Berlanga de Duero

| Estación 1. $\lambda = 49^\circ$ $R = 20,0$ | | | | | | Estación 2. $\lambda = 114^\circ$ $R = 8,8$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -11,6 | +7,9 | -19,5 | -0,1 | -13,4 | U_{xx} | +4,5 | +7,9 | -3,4 | +0,0 | -3,4 |
| U_{yy} | +2,7 | +1,8 | +0,9 | +9,4 | -8,5 | U_{yy} | +5,2 | +1,8 | +3,4 | +5,9 | -2,5 |
| U_{Δ} | -9,3 | +5,2 | -14,5 | +0,4 | -14,9 | U_{Δ} | +8,8 | +5,2 | +3,6 | -2,2 | +5,8 |
| U_{xy} | +5,5 | -1,3 | +6,8 | +0,1 | +6,7 | U_{xy} | -4,0 | -1,3 | -2,7 | +0,6 | -3,3 |
| Estación 3. $\lambda = 106^\circ 30'$ $R = 29,7$ | | | | | | Estación 4. $\lambda = 104^\circ$ $R = 33,9$ | | | | | |
| U_{xx} | +19,2 | +7,9 | +11,3 | +1,1 | +10,2 | U_{xx} | +26,7 | +7,9 | +18,8 | +3,0 | +15,8 |
| U_{yy} | -6,8 | +1,8 | -8,6 | +1,5 | +10,1 | U_{yy} | +15,0 | +1,8 | +13,2 | +1,0 | +12,2 |
| U_{Δ} | +20,9 | +5,2 | +15,7 | -0,4 | +16,1 | U_{Δ} | +37,0 | +5,2 | +31,8 | +2,0 | +29,8 |
| U_{xy} | -11,5 | -1,3 | -10,2 | +2,3 | -12,5 | U_{xy} | -10,1 | -1,3 | -8,8 | -0,7 | -8,1 |
| Estación 5. $\lambda = 123^\circ 30'$ $R = 37,1$ | | | | | | Estación 6. $\lambda = 120,5^\circ$ $R = 75,4$ | | | | | |
| U_{xx} | +37,4 | +7,9 | +29,5 | -5,7 | +35,2 | U_{xx} | +10,0 | +7,9 | +2,1 | -2,7 | +4,8 |
| U_{yy} | +43,8 | +1,8 | +42,0 | +3,3 | +38,7 | U_{yy} | +30,0 | +1,8 | +28,2 | +1,5 | +26,7 |
| U_{Δ} | +37,9 | +5,2 | +32,7 | -1,4 | +34,1 | U_{Δ} | +73,7 | +5,2 | +68,5 | +2,6 | +65,9 |
| U_{xy} | -11,8 | -1,3 | -10,5 | -3,2 | -7,3 | U_{xy} | -19,7 | -1,3 | -18,4 | -0,1 | -18,3 |
| Estación 7. $\lambda = 12^\circ 50'$ $R = 45,3$ | | | | | | Estación 8. $\lambda = 39^\circ 45'$ $R = 52,4$ | | | | | |
| U_{xx} | +22,1 | +7,9 | +14,2 | -4,5 | +18,7 | U_{xx} | -5,9 | +7,9 | -13,8 | +3,1 | -16,9 |
| U_{yy} | +18,0 | +1,8 | +16,2 | -0,2 | +16,4 | U_{yy} | -0,6 | +1,8 | -2,4 | -4,5 | +2,1 |
| U_{Δ} | -30,2 | +5,2 | -35,4 | +5,4 | -40,8 | U_{Δ} | -1,0 | +5,2 | -6,2 | +3,3 | -9,5 |
| U_{xy} | +9,3 | -1,3 | +10,6 | +0,8 | +9,8 | U_{xy} | +24,4 | -1,3 | +25,7 | -0,1 | +25,8 |

| Estación 9. $\lambda = 49^{\circ} 45'$ $R = 49,5$ | | | | | | Estación 10. $\lambda = 158^{\circ}$ $R = 33,0$ | | | | | |
|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +28,6 | +7,9 | +20,7 | +16,4 | +4,3 | U_{xz} | -13,5 | +7,9 | -21,4 | +9,7 | -31,1 |
| U_{yz} | +12,3 | +1,8 | +10,5 | +9,3 | +1,2 | U_{yz} | -4,2 | +1,8 | -6,0 | +3,1 | -2,9 |
| U_{Δ} | +2,4 | +5,2 | -2,8 | -11,1 | +8,3 | U_{Δ} | -54,5 | +5,2 | -59,7 | -35,9 | -23,8 |
| U_{xy} | +25,7 | -1,3 | +27,0 | +2,6 | +24,4 | U_{xy} | -20,3 | -1,3 | -19,0 | -7,6 | -11,4 |

| Estación 11. $\lambda = 34^{\circ} 45'$ $R = 49,6$ | | | | | | Estación 12. $\lambda = 35^{\circ} 30'$ $R = 49,5$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +12,9 | +7,9 | +5,0 | +15,0 | -10,0 | U_{xz} | +13,6 | +7,9 | +5,7 | +11,5 | -5,8 |
| U_{yz} | -9,7 | +1,8 | -11,5 | +0,3 | -11,8 | U_{yz} | +15,3 | +1,8 | +13,5 | +6,9 | +6,6 |
| U_{Δ} | -12,6 | +5,2 | -17,8 | -0,3 | -17,5 | U_{Δ} | -13,2 | +5,2 | -18,4 | -2,2 | -16,2 |
| U_{xy} | +20,2 | -1,3 | +21,5 | -1,7 | +23,2 | U_{xy} | +22,4 | -1,3 | +23,3 | +0,3 | +23,4 |

| Estación 13. $\lambda = 17^{\circ} 45'$ $R = 23,6$ | | | | | | Estación 14. $\lambda = 6^{\circ}$ $R = 53$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +26,8 | +7,9 | +18,9 | +11,6 | +7,3 | U_{xz} | +9,4 | +7,9 | +1,5 | -1,6 | +3,1 |
| U_{yz} | -14,1 | +1,8 | -15,9 | -18,9 | +2,1 | U_{yz} | +3,6 | +1,8 | +1,8 | +0,7 | +1,1 |
| U_{Δ} | -16,1 | +5,2 | -21,3 | -2,1 | -19,2 | U_{Δ} | -44,8 | +5,2 | -50,0 | +1,9 | -51,9 |
| U_{xy} | +3,8 | -1,3 | +5,1 | -1,8 | +6,9 | U_{xy} | +4,2 | -1,3 | +5,5 | +0,0 | +5,5 |

| Estación 15. $\lambda = 17^{\circ} 20'$ $R = 42,7$ | | | | | | Estación 16. $\lambda = 99^{\circ}$ $R = 64,8$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | -7,3 | +7,9 | -15,2 | -5,9 | -9,3 | U_{xz} | +14,0 | +7,9 | +6,1 | +5,3 | +0,8 |
| U_{yz} | +21,7 | +1,8 | +19,9 | -0,3 | +20,2 | U_{yz} | +2,7 | +1,8 | +0,9 | +0,1 | +0,8 |
| U_{Δ} | -32,1 | +5,2 | -37,3 | -2,6 | -34,7 | U_{Δ} | +22,9 | +5,2 | +17,7 | -1,5 | +19,2 |
| U_{xy} | +10,1 | -1,3 | +11,4 | -1,0 | +12,4 | U_{xy} | -30,8 | -1,3 | -29,5 | +1,3 | -30,8 |

| Estación 17. $\lambda = 91^{\circ}$ $R = 38,6$ | | | | | | Estación 18. $\lambda = 161^{\circ}$ $R = 49,6$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | -7,1 | +7,9 | -15,0 | +1,4 | -16,4 | U_{xz} | -14,6 | +7,9 | -22,5 | +1,6 | -24,1 |
| U_{yz} | +12,3 | +1,8 | +10,5 | +9,4 | +1,1 | U_{yz} | -30,8 | +1,8 | -32,6 | -3,8 | -28,8 |
| U_{Δ} | +9,3 | +5,2 | +4,1 | +2,4 | +1,3 | U_{Δ} | -34,6 | +5,2 | -39,8 | -0,6 | -39,2 |
| U_{xy} | -19,8 | -1,3 | -18,5 | +0,8 | -19,3 | U_{xy} | -16,8 | -1,3 | -15,5 | -0,4 | -15,1 |

| Estación 19. $\lambda = 150^{\circ} 15'$ $R = 58,3$ | | | | | | Estación 20. $\lambda = 152^{\circ} 55'$ $R = 61,0$ | | | | | |
|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | -39,5 | -41,2 | +7,9 | -49,1 | +1,4 | U_{xz} | -16,1 | +7,9 | -24,0 | +1,4 | -25,4 |
| U_{yz} | -16,6 | -12,1 | +1,8 | -13,9 | +0,4 | U_{yz} | -9,9 | +1,8 | -11,7 | -3,0 | -8,7 |
| U_{Δ} | -36,4 | -26,5 | +5,2 | -31,7 | -2,0 | U_{Δ} | -24,6 | +5,2 | -39,8 | -3,9 | -35,9 |
| U_{xy} | -19,8 | -23,4 | -1,3 | -24,7 | -0,4 | U_{xy} | -18,2 | -1,3 | -16,9 | +7,7 | -24,6 |

| Estación 21. $\lambda = 106^{\circ} 45'$ $R = 9,0$ | | | | | | Estación 22. $\lambda = 178^{\circ}$ $R = 13,8$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +85,0 | +7,9 | +77,1 | +15,5 | +61,6 | U_{xz} | +46,8 | +7,9 | +38,9 | +6,6 | +32,3 |
| U_{yz} | -17,2 | +1,8 | -19,0 | -11,2 | -7,8 | U_{yz} | +4,8 | +1,8 | +3,0 | +0,4 | +2,6 |
| U_{Δ} | +15,2 | +5,2 | +10,0 | +4,9 | +5,1 | U_{Δ} | -6,8 | +5,2 | -12,0 | +1,2 | -13,2 |
| U_{xy} | -5,6 | -1,3 | -4,3 | -0,6 | -3,7 | U_{xy} | -5,1 | -1,3 | -3,8 | -1,8 | -2,0 |

| Estación 23. $\lambda = 31,5^{\circ}$ $R = 14,1$ | | | | | | Estación 24. $\lambda = 53^{\circ}$ $R = 20,8$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +20,3 | +7,9 | +12,4 | +1,7 | +10,7 | U_{xz} | +6,1 | +7,9 | -1,8 | -7,3 | +5,5 |
| U_{yz} | -1,2 | +1,8 | -3,0 | -4,0 | +1,0 | U_{yz} | -16,5 | +1,8 | -18,3 | -4,8 | -13,5 |
| U_{Δ} | +1,1 | +5,2 | -4,1 | +2,3 | -6,4 | U_{Δ} | +10,2 | +5,2 | +5,0 | -0,7 | +5,7 |
| U_{xy} | +4,3 | -1,3 | +5,6 | -0,7 | +6,3 | U_{xy} | +13,1 | -1,3 | +14,4 | +4,4 | +10,0 |

| Estación 25. $\lambda = 0,5^\circ$ $R = 81,5$ | | | | | | Estación 26. $\lambda = 38,8^\circ$ $R = 32,8$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +28,6 | +7,9 | +20,7 | +6,9 | +13,8 | U_{xx} | +5,8 | +7,9 | -2,1 | -2,8 | -4,9 |
| U_{yz} | +25,8 | +1,8 | +24,0 | +3,7 | +20,3 | U_{yz} | +9,2 | +1,8 | +7,4 | +8,7 | +1,3 |
| U_{Δ} | -70,0 | +5,2 | -75,2 | +6,3 | -81,5 | U_{Δ} | -4,2 | +5,2 | -9,4 | -2,3 | -7,1 |
| U_{xy} | +15,2 | -1,3 | +16,5 | +15,8 | +0,7 | U_{xy} | +9,5 | -1,3 | +10,8 | +5,2 | +16,0 |

| Estación 27. $\lambda = 21^\circ$ $R = 35,1$ | | | | | | Estación 28. $\lambda = 39^\circ$ $R = 65,2$ | | | | | |
|--|----------|--------------|----------|-------|-------|--|----------|--------------|----------|-------|-------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| +21,3 | +11,7 | -19,0 | +8,9 | +7,9 | +13,4 | +6,9 | +4,8 | -7,8 | +32,1 | +7,9 | -1,0 |
| +1,8 | +5,2 | -1,3 | +10,2 | +9,9 | +5,1 | +1,8 | +5,2 | -1,3 | +33,4 | +3,0 | -0,2 |
| +24,2 | +1,8 | +1,6 | +11,8 | +11,4 | +8,3 | +3,0 | +13,0 | +1,5 | +31,9 | +11,4 | -0,8 |
| +1,8 | +1,8 | +1,8 | +1,8 | +1,8 | +1,5 | +13,6 | +1,5 | +13,6 | +1,5 | +8,4 | -8,4 |
| +26,0 | +11,8 | +11,8 | +11,8 | +26,0 | +11,8 | +13,6 | +13,6 | +13,6 | +13,6 | +13,6 | +13,6 |

| Estación 29. $\lambda = 21,5^\circ$ $R = 34$ | | | | | | Estación 30. $\lambda = 36^\circ$ $R = 78,9$ | | | | | |
|--|----------|--------------|----------|-------|-------|--|----------|--------------|----------|-------|-------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| -1,2 | -34,6 | +6,9 | +7,9 | -9,1 | +3,9 | -37,8 | -33,6 | -7,6 | +37,9 | +7,9 | -45,7 |
| +1,8 | +5,2 | -1,3 | +8,2 | +3,4 | +11,6 | +1,8 | +5,2 | -1,3 | +39,2 | -6,2 | -39,5 |
| -3,4 | -39,8 | +8,2 | +3,4 | -3,4 | +11,6 | -35,4 | -12,8 | +9,7 | +37,8 | -23,9 | -11,5 |
| +3,4 | -15,0 | +3,4 | +3,4 | +3,4 | +11,6 | +9,7 | +9,7 | +9,7 | +9,7 | +9,7 | +9,7 |
| +11,6 | -24,8 | +11,6 | +11,6 | +11,6 | +11,6 | +22,5 | +22,5 | +22,5 | +22,5 | +22,5 | +22,5 |

| Estación 31. $\lambda = 25^\circ$ $R = 15,7$ | | | | | | Estación 32. $\lambda = 24^\circ$ $R = 34,6$ | | | | | |
|--|----------|--------------|----------|-------|------|--|----------|--------------|----------|-------|-------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| -62,1 | -11,8 | +0,3 | +7,9 | -70,0 | -0,7 | -52,8 | -23,7 | -21,9 | +10,5 | +7,9 | -60,7 |
| +1,8 | +5,2 | -1,3 | +1,6 | +4,5 | +6,1 | +1,8 | +5,2 | +5,2 | +11,8 | -1,8 | -58,9 |
| -28,3 | -17,0 | +1,6 | +4,5 | +6,1 | +6,1 | -25,5 | -27,1 | +11,8 | +11,8 | +3,4 | -28,9 |
| +6,6 | +7,1 | +4,5 | +6,1 | +6,1 | +6,1 | +4,0 | +4,0 | +4,0 | +4,0 | +4,0 | +4,0 |
| +34,9 | +9,9 | +6,1 | +6,1 | +6,1 | +6,1 | +23,1 | +23,1 | +23,1 | +23,1 | +23,1 | +23,1 |

| Estación 33. $\lambda = 73^\circ$ $R = 113,1$ | | | | | | Estación 34. $\lambda = 55^\circ$ $R = 46,3$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -76,0 | +7,9 | -83,9 | -27,9 | -56,0 | U_{xx} | -16,5 | +7,9 | -24,4 | +0,7 | -25,1 |
| U_{yz} | -38,3 | +1,8 | -40,1 | -9,7 | -30,4 | U_{yz} | -30,9 | +1,8 | -32,7 | +5,0 | -27,7 |
| U_{Δ} | +121,2 | +5,4 | +116,0 | +21,8 | +94,2 | U_{Δ} | +19,0 | +5,2 | +13,8 | -1,9 | +15,7 |
| U_{xy} | +47,1 | -1,3 | +48,4 | +17,0 | +31,4 | U_{xy} | +18,2 | -1,3 | +19,5 | -2,3 | +21,8 |

| Estación 35. $\lambda = 41^\circ 15'$ $R = 96,5$ | | | | | | Estación 36. $\lambda = 41^\circ 45'$ $R = 75,3$ | | | | | |
|--|----------|--------------|----------|-------|-------|--|----------|--------------|----------|-------|-------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| +19,2 | +20,1 | +44,3 | +33,3 | +7,9 | +11,3 | -37,1 | -23,5 | -7,2 | +40,1 | +7,9 | -45,0 |
| +18,3 | +5,2 | +5,2 | -1,3 | +18,3 | +18,1 | +1,8 | +1,8 | +5,2 | +1,3 | +25,3 | |
| +20,8 | +39,1 | +24,9 | +34,6 | +20,8 | +24,9 | -21,6 | -12,4 | +41,4 | +14,0 | -23,4 | |
| -9,5 | +14,2 | +14,2 | +14,2 | -9,5 | +14,2 | -23,4 | -8,5 | +14,0 | +37,4 | -23,4 | |
| +9,5 | +47,7 | +47,7 | +47,7 | +9,5 | +47,7 | -26,6 | -8,5 | +37,4 | +37,4 | -26,6 | |

| Estación 37. $\lambda = 38^\circ$ $R = 92,0$ | | | | | | Estación 38. $\lambda = 27^\circ 30'$ $R = 107,8$ | | | | | |
|--|----------|--------------|----------|-------|-------|---|----------|--------------|----------|-------|-------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| -27,0 | -12,0 | -13,6 | +45,5 | +7,9 | -34,9 | -15,8 | -4,5 | -57,0 | +43,3 | +7,9 | -23,7 |
| +1,8 | +1,8 | +1,8 | -1,3 | +1,8 | -11,6 | +1,8 | +1,8 | +5,2 | +1,3 | -23,7 | |
| -11,6 | -0,8 | -18,8 | +46,8 | -11,6 | -23,3 | -6,3 | -6,3 | -62,2 | +44,6 | -1,6 | |
| -23,3 | -13,0 | +5,1 | +2,4 | -23,3 | -23,3 | +2,3 | +2,3 | -0,5 | +0,4 | -22,1 | |
| -23,3 | -13,0 | +5,1 | +44,4 | -23,3 | -23,3 | -8,6 | -8,6 | -61,7 | +44,2 | -22,1 | |

| Estación 39. $\lambda = 11^\circ 30'$ $R = 76,4$ | | | | | | Estación 40. $\lambda = 173^\circ 30'$ $R = 30,4$ | | | | | |
|--|----------|--------------|----------|-------|-------|---|----------|--------------|----------|-------|-------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| -38,5 | +5,4 | -90,8 | +14,4 | +7,9 | -46,4 | +50,3 | -24,5 | -25,8 | -4,6 | +7,9 | +42,4 |
| +1,8 | +1,8 | +5,2 | -1,3 | +1,8 | -21,9 | +1,8 | +1,8 | +5,2 | -1,3 | +42,4 | |
| -21,9 | -3,6 | -96,0 | +15,7 | -21,9 | -24,5 | -26,3 | -26,3 | -31,0 | +3,3 | +15,3 | |
| -24,5 | +7,2 | -70,3 | +0,8 | -24,5 | -24,5 | -11,4 | -11,4 | -0,6 | -2,5 | +27,1 | |
| -24,5 | +7,2 | -70,3 | +14,9 | -24,5 | -24,5 | -14,9 | -14,9 | -30,4 | -0,8 | +27,1 | |

| Estación 41. $\lambda = 3^\circ$ $R = 78,7$ | | | | | | Estación 42. $\lambda = 14,5^\circ$ $R = 38,7$ | | | | | |
|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +27,6 | +7,9 | +19,7 | +8,0 | +11,7 | U_{xz} | +7,8 | +7,9 | -0,1 | +5,3 | -5,4 |
| U_{yz} | -21,8 | +1,8 | -23,6 | -33,3 | +9,7 | U_{yz} | -4,0 | +1,8 | -5,8 | +1,3 | -7,1 |
| U_{Δ} | -68,0 | +5,2 | -73,2 | +5,0 | -78,2 | U_{Δ} | -28,5 | +5,2 | -33,7 | +0,1 | -33,8 |
| U_{xy} | +4,3 | -1,3 | +5,6 | +0,4 | +5,2 | U_{xy} | +6,3 | -1,3 | +7,6 | -1,8 | +9,4 |

| Estación 43. $\lambda = 23^\circ 15'$ $R = 34,2$ | | | | | | Estación 44. $\lambda = 10^\circ$ $R = 41,8$ | | | | | |
|--|----------|--------------|----------|-------|--|--|----------|--------------|----------|-------|--|
| U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| -7,6 | +7,9 | -15,5 | -3,1 | -12,4 | | -0,3 | +7,9 | -8,2 | +1,6 | -9,8 | |
| +0,6 | +1,8 | -1,2 | +0,2 | -1,4 | | +4,0 | +1,8 | +2,2 | +1,0 | +1,2 | |
| -24,4 | +5,2 | -29,6 | -6,1 | -23,5 | | -42,5 | +5,2 | -47,7 | -8,3 | -39,4 | |
| +8,4 | -1,3 | +9,7 | -2,7 | +12,4 | | +2,3 | -1,3 | +3,6 | -3,4 | +7,0 | |

| Estación 45. $\lambda = 10^\circ$ $R = 79,0$ | | | | | | Estación 46. $\lambda = 0^\circ$ $R = 101,7$ | | | | | |
|--|----------|--------------|----------|-------|--|--|----------|--------------|----------|--------|--|
| U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| -23,3 | +7,9 | -31,2 | +2,4 | -33,6 | | -10,9 | +7,9 | -18,8 | +0,0 | -18,8 | |
| -17,7 | +1,8 | -19,5 | -6,7 | -12,8 | | +0,5 | +1,8 | -1,3 | +5,6 | -6,9 | |
| -67,7 | +5,2 | -72,9 | +0,7 | -73,6 | | -105,0 | +5,2 | -110,2 | -8,6 | -101,6 | |
| +10,6 | -1,3 | +11,9 | -2,4 | +14,3 | | -0,7 | -1,3 | +0,6 | +0,0 | +0,6 | |

| Estación 47. $\lambda = 180^\circ$ $R = 100,9$ | | | | | | Estación 48. $\lambda = 171^\circ$ $R = 99,6$ | | | | | |
|--|----------|--------------|----------|--------|--|---|----------|--------------|----------|-------|--|
| U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| -13,5 | +7,9 | -21,4 | -2,1 | -19,3 | | -3,1 | +7,9 | -11,0 | +1,3 | -12,3 | |
| +2,4 | +1,8 | +0,6 | +1,7 | -1,1 | | -6,1 | +1,8 | -7,9 | +0,9 | -8,8 | |
| -94,4 | +5,2 | -99,6 | +0,9 | -100,5 | | -86,1 | +5,2 | -91,3 | +3,6 | -94,9 | |
| -5,1 | -1,3 | -3,8 | +0,6 | -4,4 | | -17,8 | -1,3 | -16,5 | -1,2 | -15,3 | |

| Estación 49. $\lambda = 170^\circ$ $R = 104,9$ | | | | | | Estación 50. $\lambda = 170^\circ$ $R = 65,7$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +3,6 | +7,9 | -4,3 | +6,9 | -11,2 | U_{xz} | +8,5 | +7,9 | +0,6 | -1,6 | +2,2 |
| U_{yz} | +5,1 | +1,8 | +3,3 | +2,7 | +0,6 | U_{yz} | +7,5 | +1,8 | +5,7 | +0,8 | +4,9 |
| U_{Δ} | -94,9 | +5,2 | -100,1 | -0,9 | -99,2 | U_{Δ} | -59,0 | +5,2 | -64,2 | -3,0 | -61,2 |
| U_{xy} | -18,1 | -1,3 | -16,8 | +0,2 | -17,0 | U_{xy} | -13,9 | -1,3 | -12,6 | -0,6 | -12,0 |

| Estación 51. $\lambda = 178^\circ$ $R = 90,2$ | | | | | | Estación 52. $\lambda = 1^\circ$ $R = 91,1$ | | | | | |
|---|----------|--------------|----------|-------|--|---|----------|--------------|----------|-------|--|
| U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| +28,6 | +7,9 | +20,7 | +2,2 | +18,5 | | +37,4 | +7,9 | +29,5 | +4,9 | +24,6 | |
| +22,5 | +1,8 | +20,7 | +3,4 | +17,3 | | +31,8 | +1,8 | +30,0 | +2,7 | +27,3 | |
| -87,0 | +5,2 | -92,2 | -2,4 | -89,8 | | -88,5 | +5,2 | -93,7 | -2,7 | -91,0 | |
| -3,8 | -1,3 | -2,5 | +1,4 | -3,9 | | +1,7 | -1,3 | +3,0 | +1,1 | +1,9 | |

| Estación 53. $\lambda = 170^\circ$ $R = 58,4$ | | | | | | Estación 54. $\lambda = 1^\circ$ $R = 94,3$ | | | | | |
|---|----------|--------------|----------|-------|--|---|----------|--------------|----------|-------|--|
| U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| +51,4 | +7,9 | +43,5 | +2,0 | +41,5 | | +17,8 | +7,9 | +9,9 | +1,4 | +8,5 | |
| +29,7 | +1,8 | +27,9 | +0,8 | +27,1 | | +13,6 | +1,8 | +11,8 | +0,5 | +11,3 | |
| -55,0 | +5,2 | -60,2 | -5,3 | -54,9 | | -99,0 | +5,2 | -104,2 | -10,0 | -94,2 | |
| -11,4 | -1,3 | -10,1 | -0,2 | -9,9 | | 0 | -1,3 | +1,3 | -0,3 | +1,6 | |

| Estación 55. $\lambda = 148^\circ$ $R = 121,5$ | | | | | | Estación 56. $\lambda = 161^\circ 5'$ $R = 103,5$ | | | | | |
|--|----------|--------------|----------|-------|--|---|----------|--------------|----------|-------|--|
| U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | | U_{xz} | U_{yz} | U_{Δ} | U_{xy} | | |
| -30,8 | +7,9 | -38,7 | +4,5 | -43,2 | | -0,3 | +7,9 | -8,2 | +11,0 | -19,2 | |
| -6,6 | +1,8 | -8,4 | -2,3 | -6,1 | | -17,4 | +1,8 | -19,2 | +0,1 | -19,3 | |
| -46,6 | +5,2 | -51,8 | +3,5 | -55,3 | | -85,9 | +5,2 | -91,1 | -8,3 | -82,8 | |
| -57,4 | -1,3 | -56,1 | -2,0 | -54,1 | | -33,7 | -1,3 | -32,4 | -1,4 | -31,0 | |

| Estación 57. $\lambda = 147^{\circ}15'$ $R = 10,3$ | | | | | | Estación 58. $\lambda = 44^{\circ}15'$ $R = 21,8$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -7,0 | +7,9 | -14,9 | -22,1 | +7,2 | U_{xx} | -22,9 | +7,9 | -30,8 | -17,2 | -13,6 |
| U_{yz} | -6,6 | +1,8 | -8,4 | -12,5 | +4,1 | U_{yz} | -27,0 | +1,8 | -28,8 | -18,5 | -10,3 |
| U_{Δ} | +3,9 | +5,2 | -1,3 | +3,0 | -4,3 | U_{Δ} | -1,9 | +5,2 | -7,1 | -10,3 | +3,2 |
| U_{xy} | -27,8 | -1,3 | -26,5 | -21,8 | -4,7 | U_{xy} | +16,0 | -1,3 | +17,3 | +6,5 | +10,8 |

| Estación 59. $\lambda = 9^{\circ}15'$ $R = 57,9$ | | | | | | Estación 60. $\lambda = 179^{\circ}30'$ $R = 66,3$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -20,6 | +7,9 | -28,5 | -6,7 | -21,8 | U_{xx} | -28,9 | +7,9 | -26,8 | -7,6 | -19,2 |
| U_{yz} | +9,3 | +1,8 | +7,5 | +6,5 | +1,0 | U_{yz} | -1,8 | +7,8 | -3,6 | -3,0 | -0,6 |
| U_{Δ} | -57,0 | +5,2 | -62,2 | -7,3 | -54,9 | U_{Δ} | -59,3 | +5,2 | -64,5 | +1,8 | -66,3 |
| U_{xy} | +3,8 | -1,3 | +5,1 | -4,2 | +9,3 | U_{xy} | -2,5 | -1,3 | -1,2 | -0,6 | -0,6 |

| Estación 61. $\lambda = 52^{\circ}$ $R = 16,3$ | | | | | | Estación 62. $\lambda = 145^{\circ}30'$ $R = 34,6$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +33,2 | +7,9 | +25,3 | -15,1 | +40,4 | U_{xx} | +26,1 | +7,9 | +18,2 | -8,6 | +26,8 |
| U_{yz} | -16,8 | +1,8 | -18,6 | -7,3 | -11,3 | U_{yz} | -37,5 | +1,8 | -39,3 | -26,8 | -12,5 |
| U_{Δ} | +39,0 | +5,2 | +33,8 | +29,8 | +4,0 | U_{Δ} | +5,4 | +5,2 | +0,2 | +12,5 | -12,3 |
| U_{xy} | +0 | -1,3 | +1,3 | -6,6 | +7,9 | U_{xy} | -29,1 | -1,3 | -27,8 | -11,6 | -16,2 |

| Estación 63. $\lambda = 147^{\circ}45'$ $R = 70,5$ | | | | | | Estación 64. $\lambda = 58^{\circ}45'$ $R = 50,4$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -6,2 | +7,9 | -14,1 | -9,7 | -4,4 | U_{xx} | -1,9 | +7,9 | -9,8 | -37,8 | +26,0 |
| U_{yz} | -29,2 | +1,8 | -30,8 | -14,0 | -16,8 | U_{yz} | -3,9 | +1,8 | -5,7 | +0,4 | -6,1 |
| U_{Δ} | -58,3 | +5,2 | -63,5 | -33,0 | -30,5 | U_{Δ} | +25,8 | +5,2 | +20,6 | -2,8 | +23,4 |
| U_{xy} | -33,7 | -1,3 | -32,4 | -0,6 | -31,8 | U_{xy} | +26,6 | -1,3 | +27,9 | +5,6 | +22,3 |

| Estación 65. $\lambda = 42^{\circ}15'$ $R = 13,1$ | | | | | | Estación 66. $\lambda = 70^{\circ}$ $R = 44,2$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +5,2 | +7,9 | -2,7 | +3,5 | -6,2 | U_{xx} | -53,3 | +7,9 | -61,2 | -6,8 | -54,4 |
| U_{yz} | -7,2 | +1,8 | -9,0 | -1,6 | -7,4 | U_{yz} | -33,0 | +1,8 | -34,8 | -2,8 | -32,0 |
| U_{Δ} | -14,6 | +5,2 | -19,8 | -18,6 | -1,2 | U_{Δ} | +7,8 | +5,2 | +2,6 | -30,6 | +33,2 |
| U_{xy} | +3,4 | -1,3 | +4,7 | -1,8 | +6,5 | U_{xy} | -2,5 | -1,3 | -1,2 | -15,8 | +14,6 |

| Estación 67. $\lambda = 12^{\circ}45'$ $R = 33,2$ | | | | | | Estación 68. $\lambda = 36^{\circ}$ $R = 23,9$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +0,9 | +7,9 | -7,0 | +1,7 | -8,7 | U_{xx} | +33,5 | +7,9 | +25,6 | +18,0 | +7,6 |
| U_{yz} | -17,2 | +1,8 | -19,0 | -6,1 | -12,9 | U_{yz} | +21,0 | +1,8 | +19,2 | +10,6 | +8,6 |
| U_{Δ} | -32,6 | +5,2 | -37,8 | -7,9 | -29,9 | U_{Δ} | +24,3 | +5,2 | +19,1 | +26,4 | +7,3 |
| U_{xy} | +16,4 | -1,3 | +17,7 | +5,5 | +12,2 | U_{xy} | +11,0 | -1,3 | +12,3 | +0,9 | +11,4 |

| Estación 69. $\lambda = 26^{\circ}$ $R = 54,7$ | | | | | | Estación 70. $\lambda = 33^{\circ}$ $R = 79,0$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +2,6 | +7,9 | -5,3 | -3,6 | -1,7 | U_{xx} | +49,5 | +7,9 | +41,6 | +3,8 | +37,8 |
| U_{yz} | +20,8 | +1,8 | +19,0 | +12,5 | +6,5 | U_{yz} | -18,0 | +1,8 | -19,8 | -1,9 | -17,9 |
| U_{Δ} | -24,8 | +5,2 | -30,0 | +3,5 | -33,5 | U_{Δ} | -23,4 | +5,2 | -28,6 | +3,1 | -31,7 |
| U_{xy} | +26,5 | -1,3 | +27,8 | +6,2 | +21,6 | U_{xy} | +38,0 | -1,3 | +39,3 | +3,1 | +36,2 |

| Estación 71. $\lambda = 40^{\circ}$ $R = 43,4$ | | | | | | Estación 72. $\lambda = 11^{\circ}15'$ $R = 35,3$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +45,0 | +7,9 | +37,1 | +6,6 | +30,5 | U_{xx} | +42,4 | +7,9 | +34,5 | +10,6 | +23,9 |
| U_{yz} | +16,3 | +1,8 | +14,5 | +3,4 | +11,1 | U_{yz} | +1,5 | +1,8 | -0,3 | +3,9 | -4,2 |
| U_{Δ} | +1,9 | +5,2 | +3,3 | +4,2 | -7,5 | U_{Δ} | -46,3 | +5,2 | -51,5 | -18,9 | -32,6 |
| U_{xy} | +25,3 | -1,3 | +26,6 | +5,2 | +21,4 | U_{xy} | +5,5 | -1,3 | +6,8 | +0 | +6,8 |

| Estación 73. $\lambda = 179^{\circ}45'$ $R = 58,9$ | | | | | | Estación 74. $\lambda = 22^{\circ}30'$ $R = 106,6$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +11,9 | +7,9 | +3,1 | -0,1 | +3,2 | U_{xx} | +10,4 | +7,9 | +2,5 | -1,5 | +4,0 |
| U_{yy} | -28,8 | +1,8 | -30,6 | -6,0 | -24,6 | U_{yy} | -22,9 | +1,8 | -24,7 | -29,4 | +4,7 |
| U_{Δ} | -24,9 | +5,2 | -29,4 | -0,2 | -29,2 | U_{Δ} | -40,8 | +5,2 | -46,0 | +29,6 | -75,6 |
| U_{xy} | -25,3 | -1,3 | -24,0 | +1,6 | -25,6 | U_{xy} | +35,4 | -1,3 | +36,7 | -0,8 | +37,5 |

| Estación 75. $\lambda = 21^{\circ}$ $R = 78,4$ | | | | | | Estación 76. $\lambda = 43,7^{\circ}$ $R = 44,0$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +25,0 | +7,9 | +17,1 | +0,1 | +17,0 | U_{xx} | -23,6 | +7,9 | -31,5 | +19,2 | -50,7 |
| U_{yy} | -10,8 | +1,8 | -12,6 | -6,9 | -5,7 | U_{yy} | -12,1 | +1,8 | -13,9 | +5,5 | -19,4 |
| U_{Δ} | -95,2 | +5,2 | -100,4 | +41,9 | -58,5 | U_{Δ} | +2,9 | +5,2 | -2,3 | -0,3 | -2,0 |
| U_{xy} | +53,0 | -1,3 | +54,3 | +28,2 | +26,1 | U_{xy} | +22,7 | -1,3 | +24,0 | +2,0 | +22,0 |

| Estación 77. $\lambda = 28,2^{\circ}$ $R = 82,4$ | | | | | | Estación 78. $\lambda = 23,6^{\circ}$ $R = 96,2$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +22,5 | +7,9 | +14,6 | +18,6 | -4,0 | U_{xx} | -91,5 | +7,9 | -99,4 | -24,2 | -75,2 |
| U_{yy} | +7,5 | +1,8 | +5,7 | +18,8 | -13,1 | U_{yy} | -43,4 | +1,8 | -45,2 | -19,4 | -25,8 |
| U_{Δ} | -43,3 | +5,2 | -48,5 | -2,7 | -45,8 | U_{Δ} | -72,0 | +5,2 | -77,2 | -11,7 | -65,5 |
| U_{xy} | +42,6 | -1,3 | +41,3 | +9,6 | +34,3 | U_{xy} | +41,2 | -1,3 | +42,5 | +7,3 | +35,2 |

| Estación 79. $\lambda = 97,6^{\circ}$ $R = 13,8$ | | | | | | Estación 80. $\lambda = 9^{\circ}45'$ $R = 25,8$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +30,1 | +7,9 | +22,2 | +6,3 | +15,9 | U_{xx} | -14,9 | +7,9 | -22,8 | +3,7 | -26,5 |
| U_{yy} | -12,6 | +1,8 | -14,4 | +5,7 | -20,1 | U_{yy} | -28,2 | +1,8 | -30,0 | -15,2 | -14,8 |
| U_{Δ} | +25,3 | +5,2 | +20,1 | +6,8 | +13,3 | U_{Δ} | -15,6 | +5,2 | -20,8 | +3,5 | -24,3 |
| U_{xy} | -1,7 | -1,3 | -0,4 | +1,4 | -1,8 | U_{xy} | +0, | -1,3 | +1,3 | -3,0 | +4,3 |

| Estación 81. $\lambda = 70^{\circ}45'$ $R = 42,2$ | | | | | | Estación 82. $\lambda = 105^{\circ}45'$ $R = 41,1$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +18,5 | +7,9 | +10,6 | +10,3 | +0,3 | U_{xx} | +12,4 | +7,9 | +4,5 | +25,9 | -21,4 |
| U_{yy} | +5,1 | +1,8 | +3,3 | +4,1 | -0,8 | U_{yy} | +17,8 | +1,8 | +16,0 | +6,1 | +9,9 |
| U_{Δ} | +32,6 | +5,2 | +27,4 | +5,7 | +33,1 | U_{Δ} | -11,2 | +5,2 | -16,4 | +9,0 | -7,4 |
| U_{xy} | +8,9 | -1,3 | +10,3 | -2,8 | +13,1 | U_{xy} | -8,0 | -1,3 | -6,7 | -0,7 | -6,0 |

| Estación 83. $\lambda = 28,8$ $R = 42,2$ | | | | | | Estación 84. $\lambda = 1^{\circ}$ $R = 71,1$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -3,5 | +7,9 | -11,4 | -2,2 | -9,2 | U_{xx} | -3,5 | +7,9 | -11,4 | +6,3 | -17,7 |
| U_{yy} | -34,8 | +1,8 | -36,6 | -41,8 | +5,2 | U_{yy} | -4,8 | +1,8 | -6,6 | +7,5 | -14,1 |
| U_{Δ} | -19,5 | +5,2 | -24,7 | -2,0 | -22,7 | U_{Δ} | -63,1 | +5,2 | -68,3 | +2,8 | -71,1 |
| U_{xy} | +25,3 | -1,3 | +26,6 | +8,8 | +17,8 | U_{xy} | +0,8 | -1,3 | +2,1 | +1,0 | +1,1 |

| Estación 85. $\lambda = 179,4^{\circ}$ $R = 41,2$ | | | | | | Estación 86. $\lambda = 8,6^{\circ}$ $R = 46,5$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -0,3 | +7,9 | -8,2 | +5,2 | -13,4 | U_{xx} | +2,9 | +7,9 | -5,0 | +0,1 | -5,1 |
| U_{yy} | -3,0 | +1,8 | -4,8 | +1,3 | -6,1 | U_{yy} | +1,5 | +1,8 | -0,3 | +1,3 | -1,6 |
| U_{Δ} | -26,2 | +5,2 | -31,4 | +9,8 | -41,2 | U_{Δ} | -37,5 | +5,2 | -42,7 | +1,7 | -44,4 |
| U_{xy} | -0,8 | -1,3 | +0,5 | +0,9 | -0,4 | U_{xy} | +4,6 | -1,3 | +5,9 | -1,0 | +6,9 |

| Estación 87. $\lambda = 73^{\circ}$ $R = 74,7$ | | | | | | Estación 88. $\lambda = 56^{\circ}5'$ $R = 57,6$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravílicas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -13,8 | +7,9 | -21,7 | +7,3 | -29,0 | U_{xx} | -25,9 | +7,9 | -33,8 | -4,2 | -29,6 |
| U_{yy} | -16,4 | +1,8 | -18,2 | -0,8 | -17,4 | U_{yy} | -12,4 | +1,8 | -14,2 | +0,4 | -14,6 |
| U_{Δ} | +74,4 | +5,2 | +69,2 | +7,5 | +61,7 | U_{Δ} | +25,8 | +5,2 | +20,6 | -1,6 | +22,2 |
| U_{xy} | +12,2 | -1,3 | +13,5 | -7,6 | +21,1 | U_{xy} | +24,0 | -1,3 | +25,3 | -1,3 | +26,6 |

| Estación 89. $\lambda = 172,4^\circ$ $R = 56,6$ | | | | | | Estación 90. $\lambda = 169,8^\circ$ $R = 22,4$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +24,5 | +7,9 | +16,6 | -1,7 | +18,3 | U_{xx} | +30,5 | +7,9 | +22,6 | +3,6 | +19,0 |
| U_{yz} | -1,5 | +1,8 | -3,3 | +4,8 | +1,5 | U_{yz} | -16,2 | +1,8 | -18,0 | -5,8 | -12,2 |
| U_{Δ} | -50,1 | +5,2 | -55,3 | -0,7 | -54,6 | U_{Δ} | -8,8 | +5,2 | -14,0 | +7,0 | -21,0 |
| U_{xy} | -8,8 | -1,3 | -7,5 | +0,1 | -7,4 | U_{xy} | +3,4 | -1,3 | +4,7 | +8,6 | -3,9 |
| Estación 91. $\lambda = 89^\circ 30'$ $R = 27,8$ | | | | | | Estación 92. $\lambda = 65,9^\circ$ $R = 43,2$ | | | | | |
| U_{xx} | -27,8 | +7,9 | -35,7 | -14,9 | -20,8 | U_{xx} | -22,8 | +7,9 | -30,7 | -9,3 | -21,4 |
| U_{yz} | +7,9 | +1,8 | +6,1 | +1,3 | +7,4 | U_{yz} | -8,8 | +1,8 | -10,6 | -16,0 | +5,4 |
| U_{Δ} | +31,1 | +5,2 | +25,9 | +1,9 | +27,8 | U_{Δ} | +36,5 | +5,2 | +31,3 | +2,5 | +28,8 |
| U_{xy} | +0 | -1,3 | +1,3 | +1,1 | +0,2 | U_{xy} | +15,6 | -1,3 | +16,9 | +0,8 | +16,1 |
| Estación 93. $\lambda = 27,4^\circ$ $R = 37,7$ | | | | | | Estación 94. $\lambda = 26,6^\circ$ $R = 42,6$ | | | | | |
| U_{xx} | +11,1 | +7,9 | +3,2 | -1,2 | +4,4 | U_{xx} | -5,0 | +7,9 | -12,9 | -1,9 | -11,0 |
| U_{yz} | -12,0 | +1,8 | -13,8 | -2,8 | -11,0 | U_{yz} | +5,1 | +1,8 | +3,3 | +0,3 | +3,0 |
| U_{Δ} | -14,6 | +5,2 | -19,8 | +1,9 | -21,7 | U_{Δ} | -19,0 | +5,2 | -24,2 | +1,4 | -25,6 |
| U_{xy} | +19,4 | -1,3 | +20,7 | +5,3 | +15,4 | U_{xy} | +14,8 | -1,3 | +16,1 | -0,9 | +17,0 |
| Estación 95. $\lambda = 51^\circ$ $R = 28,4$ | | | | | | Estación 96. $\lambda = 18,4^\circ$ $R = 97$ | | | | | |
| U_{xx} | -22,0 | +7,9 | -29,9 | -2,6 | -27,3 | U_{xx} | -3,3 | +7,9 | -11,2 | -5,6 | -5,6 |
| U_{yz} | -0,9 | +1,8 | -2,7 | +7,9 | -10,6 | U_{yz} | +19,6 | +1,8 | +17,8 | +5,1 | +12,7 |
| U_{Δ} | +18,0 | +5,2 | +12,8 | +6,9 | +5,9 | U_{Δ} | +0,5 | +5,2 | -4,7 | +3,1 | -7,8 |
| U_{xy} | +10,6 | -1,3 | +11,9 | -2,0 | +13,9 | U_{xy} | +7,2 | -1,3 | +8,5 | +5,6 | +2,9 |

| Estación 97. $\lambda = 176^\circ$ $R = 18,3$ | | | | | | Estación 98. $\lambda = 29,0^\circ$ $R = 36,6$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +3,6 | +7,9 | -4,3 | -9,2 | +4,9 | U_{xx} | +1,4 | +7,9 | -6,5 | -1,5 | +5,0 |
| U_{yz} | +17,2 | +1,8 | +15,4 | +1,1 | +16,5 | U_{yz} | -4,8 | +1,8 | -6,6 | -7,6 | +1,0 |
| U_{Δ} | -18,0 | +5,2 | -23,2 | +5,1 | -18,1 | U_{Δ} | -9,7 | +5,2 | -14,9 | +4,5 | -19,4 |
| U_{xy} | -8,8 | -1,3 | -7,5 | -6,2 | -1,3 | U_{xy} | +15,2 | -1,3 | +16,5 | +1,0 | +15,5 |
| Estación 99. $\lambda = 171,4^\circ$ $R = 61,9$ | | | | | | Estación 100. $\lambda = 173^\circ 45'$ $R = 38,0$ | | | | | |
| U_{xx} | -14,0 | +7,9 | -21,9 | -19,8 | -2,1 | U_{xx} | +2,9 | +7,9 | -5,0 | -22,7 | +17,7 |
| U_{yz} | -3,3 | +1,8 | -5,1 | -14,2 | +9,1 | U_{yz} | +8,2 | +1,8 | +6,4 | -17,5 | +23,9 |
| U_{Δ} | -54,0 | +5,2 | -59,2 | -0,1 | -59,1 | U_{Δ} | -34,5 | +5,2 | -39,7 | -1,7 | -38,0 |
| U_{xy} | -20,7 | -1,3 | -19,4 | -10,2 | -9,2 | U_{xy} | -2,1 | -1,3 | -0,8 | +0,0 | -0,8 |
| Estación 101. $\lambda = 22,6^\circ$ $R = 79,2$ | | | | | | | | | | | |
| U_{xx} | +6,8 | +7,9 | -1,1 | +0,3 | -1,4 | | | | | | |
| U_{yz} | -17,2 | +1,8 | -19,0 | -8,0 | -11,0 | | | | | | |
| U_{Δ} | -55,9 | +5,2 | -61,1 | -5,3 | -55,8 | | | | | | |
| U_{xy} | +22,3 | -1,3 | +23,6 | -4,5 | +28,1 | | | | | | |

Los valores obtenidos para los gradientes pueden estar afectados de un error de dos a tres unidades Eötvös, a causa de la variación de temperatura, extremadamente brusca, que en el transcurso de una medición ascendió a 22°C .

§ 58. **La interpretación de las mediciones gravimétricas.**—La mayor influencia perturbadora de las magnitudes gravimétricas estará ocasionada por el relieve de la superficie pre-miocena, surcada, como la actual, por cumbres y cañadas.

También se apreciará claramente la influencia perturbadora de la zona de contacto de las calizas con las rocas del terciario antiguo y de las de este último con el Mioceno. En cambio, dentro de esta última formación, serán insignificantes las diferencias que puedan provenir de la distinta densidad de sus estratos, por estar en posición horizontal.

Los anticlinales calizos indicados en el plano ejercerán una gran influencia sobre los valores de los gradientes y términos de curvatura.

Esta influencia se dejará sentir en sus prolongaciones, ocultas debajo de los sedimentos más modernos, y nos servirá para fijar su posición y formar juicio de la importancia del pliegue.

Primero nos ocuparemos de la interpretación gravimétrica de los resultados de las mediciones y después de la geológica.

a) *La interpretación gravimétrica de los resultados de las mediciones.*—Vamos a efectuar el estudio de interpretación de los gradientes y términos de curvatura, desde el punto de vista gravimétrico, siguiendo el orden correlativo de los perfiles.

Perfil A.—Los gradientes de las estaciones 17, 16, 6, 5 y 4, indican la existencia de una masa de mayor densidad cuyo centro debe hallarse, próximamente, en la estación 16. La designamos con el nombre de *masa de mayor densidad de Barcebalejo*. La convergencia de los gradientes de las estaciones 17, 6 y 5 hacia el Este, permite concluir

que el eje de esta masa desciende en dirección Oeste. Entre las estaciones 5 y 6 se puede suponer un ascenso, relativamente acentuado, del flanco Sur de la misma.

Al Sur de la estación 3 los gradientes tienen una tendencia hacia el Sur, aumentando, al propio tiempo, en magnitud por lo que indican una masa de mayor densidad situada al Sur de El Burgo de Osma, que confirman también los valores de curvatura de las estaciones 1 y 18 a 20 orientados hacia el Sur y Noroeste, respectivamente.

Perfil B.—La masa de mayor densidad mencionada en último lugar se refleja también en los gradientes y valores de curvatura de las estaciones 21, 22 y 23. Los gradientes se dirigen hacia el Norte, aumentando en magnitud.

Los valores de curvatura tienen la dirección Norte Sur en las estaciones 22 y 23 y Este-Oeste en la estación 21. La masa de mayor densidad abarcada por los perfiles A y B se la designará por el título *masa de mayor densidad de El Burgo de Osma*.

La disminución relativamente rápida que experimentan en su magnitud los gradientes de las estaciones 21 a 23, en la dirección Sur, el cambio de dirección de los gradientes en la estación 24 y la tendencia hacia el Norte de los gradientes de las estaciones 40, 25 y 27, parece indicarnos que existe una masa más densa a mayor profundidad, o que está ligeramente abovedada entre las estaciones 24 y 25.

Esta masa se la designará por el nombre de *masa de mayor densidad de La Olmeda*. Sin embargo, su existencia no debe admitirse sin reserva, puesto que además hay la posibilidad de que entre las estaciones 25 y 27, en dirección NO. a SO., pase una *falla* y algunas capas de mayor densidad hayan resbalado hacia el Suroeste. De este modo se puede interpretar el cambio de magnitud de

los gradientes y el de dirección de los valores de curvatura de las estaciones 27, 25 y 40, así como la dirección NO. de los valores de curvatura de las estaciones 26 y 28.

Al Sur de la estación 27 los gradientes se desvían hacia el Sur, siguiendo así hasta el río Duero, sin experimentar tampoco cambio sensible en su magnitud. La dirección de los valores de curvatura de las estaciones efectuadas al Sur coincide con la de los gradientes, no variando mucho en su magnitud. La tendencia uniforme de los gradientes y valores de curvatura de las estaciones 29 y 42 a 44, indica que éstas se encuentran dentro de la zona de influencia de una masa que va elevándose gradualmente desde el Norte hacia el Sur, que se la designará por el nombre de *masa de mayor densidad de Navapalos*.

Perfil C.—Permite reconocer, como en el perfil *A*, dos masas de mayor densidad; la del Norte está determinada claramente por los gradientes de las estaciones 56 y 55 que se dirigen hacia el Sur, y por los de las 50 a 54, con dirección Norte. Se la denominará *masa de mayor densidad de Velasco-Santiuste*.

La masa del Sur está indicada por los gradientes de las estaciones 49, 48, 47, 46, 45 y 30, que tienen dirección Sur.

Los valores de curvatura se hallan, en general, bajo la influencia de las laderas del valle; únicamente giran algo en él, tomando la dirección de los gradientes.

Perfil D.—La tendencia marcadamente Sur de los gradientes en el tramo Sur del perfil *C*, continúa en los de las estaciones 31 a 34. Combinando ambos perfiles se ve que los gradientes aumentan muy sensiblemente en su magnitud de Norte a Sur. La zona de mayor gravedad que aquí se percibe debe, pues, interpretarse como la prolongación Este de la *masa de mayor densidad de El Bur-*

go de Osma, concordando con esto los valores de curvatura correspondientes. Hacia el Este, los gradientes disminuyen en magnitud (estaciones 34 y 35) y vuelven a tener mayores valores en las estaciones 36-38. La masa reflejada por estos gradientes se la denominará *masa de mayor densidad de Lodares de Osma-Valdenebro*. Los valores de curvatura, que tienen todos la dirección de los gradientes, no están en contra de tal interpretación.

Perfil E.—En este perfil la masa de mayor densidad de Lodares de Osma continúa cambiando su dirección Oeste-Noroeste a la Este-Noreste en la estación 38. El flanco Norte de esta masa se caracteriza por la tendencia Sur de los gradientes en las estaciones 39, 59, 60 y 58, y el flanco Sur por su tendencia Norte en las estaciones 57, 61, 62 y 64. El flanco Sur presenta una pendiente más acentuada que el Norte.

Al Sur de esta masa, los gradientes de las estaciones 63 y 65 acusan, por su dirección SO., la presencia de otra zona de mayor gravedad, cuyo flanco Norte lleva próximamente la dirección Noroeste-Sureste. Este flanco puede observarse hacia el Este, hasta las estaciones 66, 87 y 88, donde debe experimentar un ascenso rápido.

Los valores de curvatura de las estaciones 57 y 61 a 65 están afectados por los acantilados del terreno, especialmente en las estaciones 62, 63, 64 y 65. Los de las estaciones 66, 87, 88 y 67 reflejan, por su dirección Suroeste y Sur respectivamente, el flanco Norte de la masa de mayor densidad.

Perfil F.—Los gradientes de las estaciones 68, 70, 71 y 7 indican, por su dirección desde el Norte hasta el NO., el flanco Sur de la masa mencionada en el perfil *E*. Se la denominará *masa de mayor densidad de la Fuente del Cubo*.

Con ello está de acuerdo la dirección de los valores de

curvatura de las estaciones 68, 70, 71 y 7, que se dirigen de Norte a Sur. Los pequeños valores de curvatura de las estaciones 67 y 68 se pueden explicar por la poca profundidad de la masa en esta región, mientras que los grandes de las estaciones 69 y 70 permiten deducir que las partes más elevadas de la masa deben hallarse al Norte.

En las estaciones 8, 10, 11, y 12 vuelve a aumentar la gravedad en dirección Sur, acusando la presencia de una masa de mayor densidad cerca de Quintanas de Gormaz. El ascenso más acentuado debe suponerse en la estación 10. Las estaciones 13 y 14, cuyos gradientes se dirigen hacia el Norte, se hallan en el flanco Sur de esta zona de gravedad, cuya cumbre está situada próximamente en la estación 12. Esta masa se denominará por el nombre de *masa de mayor densidad de Quintanas de Gormaz*.

Los valores de curvatura de las estaciones 11 a 15 se hallan bajo la influencia del descenso del terreno hacia el Sur cerca de Quintanas de Gormaz. La reducida magnitud del valor de curvatura de la estación 13 podría ser debida a la poca profundidad de la masa en esta zona. La dirección Norte del gradiente de la estación 9 no concuerda con el cuadro de conjunto de los demás valores y debe estar producida por perturbaciones locales.

Perfil G.—Los gradientes de las estaciones 69, 72, 101, 73, 74 y 75 se hallan aún bajo la influencia de la masa de mayor densidad de la Fuente del Cubo, que debe de ser muy irregular, según resulta del cambio de dirección de estos gradientes, así como de los de las estaciones 68 y 70 del perfil *F*. Los gradientes de las estaciones 68 y 72 permiten deducir que la parte Norte de esta masa tiene la profundidad mínima. Hacia el Este, después de pasar la carretera, el descenso de esta masa es brusco, según indi-

ca la tendencia Oeste de los gradientes de las estaciones 101 y 73. La dirección Norte de los gradientes de las estaciones 74 y 75 induce a suponer que la masa de mayor densidad de la Fuente del Cubo continúa hacia el Este, a mayor profundidad relativa.

Los valores de curvatura también se dirigen de Norte a Sur (excepto el de la 73) aumentando extraordinariamente en magnitud. Tiene este hecho su explicación por hallarse situadas estas estaciones (también la 101) en el flanco Sur de la masa.

Separada por una depresión gravimétrica muy marcada se encuentra, más al Sur, una nueva zona de mayor gravedad, cuyo flanco Norte está determinado por la tendencia Sur de los gradientes de las estaciones 76, 77, 78, 80 y 84. Su dirección longitudinal aproximada es de Este a Oeste. El gradiente de la estación 79, que se dirige de Este a Oeste, lo creemos producido por un declive de esta zona. Esta masa se denominará *masa de mayor densidad de Hortezueta*.

Lo mismo que en el perfil *D*, los valores de curvatura, en concordancia con los gradientes, nos indican el flanco Norte de una masa de mayor densidad. Debemos hacer notar la dirección concordante del valor de curvatura de la estación 79.

Perfil H.—Combinando el gradiente de la estación 40, que tiene dirección Norte-Oeste, y los de las estaciones 82 y 83 con dirección Suroeste, se puede deducir la existencia de una masa densa, de poca anchura, al Sur de Bayubas de Abajo, con dirección longitudinal SO.-NE. Esta zona se denominará *masa de mayor densidad de Bayubas de Abajo*.

También confirman su existencia los valores de curvatura, que en las estaciones 40 y 83 se dirigen hacia aqué-

lla, mientras que en la estación 81 siguen su dirección longitudinal.

Perfil I.—Este perfil comprende los gradientes, con dirección Sur, de las estaciones 84, 85 y 86; continúa aun en el flanco Norte de la *masa de mayor densidad de Hortezueta*, cuyo flanco Sur está determinado por los gradientes de las estaciones 90 y 89 con dirección Norte.

Al Sur del pueblo de Aguilera se observa un aumento de la gravedad en dirección Sur, en los gradientes de las estaciones 91 y 92. Esta masa se llamará *masa de mayor densidad de Berlanga de Duero* que, determinada solamente en un flanco, tiene la dirección longitudinal Sur-oeste-Noreste.

Los valores de curvatura en esta zona están afectados, en sumo grado, por la acción topográfica.

Perfil K.—El gradiente de la estación 93 parece estar aún bajo la influencia de la *masa de mayor densidad de Hortezueta*. Su dirección Oeste permite deducir un descenso de la masa, en dirección Este.

En las estaciones situadas más al Este se observa, en general, un aumento de la gravedad en la misma dirección (estaciones 96, 97, 99 y 100), y sólo en las estaciones 94, 98 y 95 se nota una tendencia a la dirección Sureste y Sur, respectivamente. Sobre la base del conjunto anterior de direcciones, parece indicado atribuir la parte Sur de esta zona de gravedad a la masa de mayor densidad de Berlanga de Duero, que se ha determinado al Sur del perfil *I*. De los gradientes de las estaciones situadas al Norte de la carretera de Hortezueta a Fuentelpuerco, se puede deducir que la masa de mayor intensidad de Hortezueta se levanta nuevamente en dirección Este. Sin embargo, se han hecho en esta región un número tan reducido de mediciones que no es posible efectuar una inter-

pretación clara y precisa. Esta zona se llamará *masa de mayor densidad de Fuentelpuerco*.

En resumen, los valores de las mediciones permiten deducir la existencia de las 12 siguientes masas de mayor densidad:

- 1) de Barcebalejo.
- 2) de El Burgo de Osma.
- 3) de La Olmeda.
- 4) de Navapalos.
- 5) de Velasco-Santiuste.
- 6) de Lodaes de Osma-Valdenebro.
- 7) de Fuente del Cubo.
- 8) de Quintanas de Gormaz.
- 9) de Hortezueta.
- 10) de Bayubas de Abajo.
- 11) de Berlanga de Duero.
- 12) de Fuentelpuerco.

Las isógamas de la perturbación subterránea (véase el plano) deducidas de los gradientes se calcularon para diferencias gravimétricas de $10 \cdot 10^{-4}$ unidades del sistema C. G. S. y se escalonaron en distintos colores, cada uno de los cuales corresponde a $20 \cdot 10^{-4}$ unidades C. G. S. El valor CERO se ha situado entre el Burgo de Osma y Barcebalejo. La diferencia máxima de los valores de toda la zona de investigación es, aproximadamente, $120 \cdot 10^{-4}$ unidades C. G. S., o sean unas 12 unidades de péndulo. La dirección general longitudinal de las isógamas es Este-Oeste.

Al analizar el mapa de las isógamas se observa la concordancia de la situación de las masas de mayor densidad con las zonas de valores máximos de la gravedad, excepto en la de La Olmeda, que por el trazado de las isógamas presenta el carácter de una meseta.

La marcha general de las isógamas induce a unir entre sí las masas próximas de mayor densidad, especialmente entre las zonas de Barcebalejo, Velasco Santiuste, el Burgo de Osma, Lodares, Valdenebro, Quintanas de Gormaz y Hortezueta. Esta serie de masas podría relacionarse también hacia el Oeste, aunque a bastante distancia, con la de Navapalos y hacia el Este con la de Fuentelpuerco.

También la *masa de mayor densidad de la Fuente del Cubo* puede combinarse con la de La Olmeda. Las masas de mayor densidad de Bayubas de Abajo y Berlanga de Duero tienen una posición aparentemente independiente.

b) *La interpretación geológica de las mediciones gravimétricas.*—El carácter de las perturbaciones gravimétricas determinadas está confirmado directamente por los afloramientos geológicos. Las elevaciones, al descubierto de los anticlinales de caliza cenomanense de Velasco-Santiuste, al Sur de El Burgo de Osma, Suroeste de Lodares de Osma, Oeste de Hortezueta, cercanías de Andaluz, de Berlanga de Duero y de Fuentelpuerco, han originado las zonas de mayor gravedad que existen en estas regiones. Está justificado, por consiguiente, extender esta causa de perturbación a las series de masas densas, que constituyen la continuidad de estos anticlinales. Por lo tanto, las mediciones gravimétricas permiten emitir las siguientes conclusiones geológicas:

La zona de los valores máximos de la gravedad de Barcebalejo es una prolongación del conocido anticlinal de Velasco-Santiuste y tiene la dirección longitudinal Este-Oeste.

La serie de masas densas de El Burgo de Osma-Lodares-Valdenebro están unidas por un pliegue anticlinal calizo, que tiene la dirección Este-Oeste, entre El Burgo de Osma y Lodares de Osma; Este-Sureste, entre Lodares de

Osma y la estación 38, y desde allí en adelante Este-Nordeste. Esta serie está fracturada al Oeste de Lodares, en poca extensión, por una falla que pasa por la estación 35 en dirección próximamente Norte-Sur.

La serie de masas de Fuente del Cubo-La Olmeda se hallan en relación con los afloramientos de caliza existentes a un kilómetro al Sur de la estación 63 (perfil E) y con el anticlinal de Lodares de Osma.

No se puede afirmar si la masa de mayor densidad de Bayubas de Abajo debe incluirse o no en la anterior serie, por no haberse hecho mediciones al Oeste de Bayubas. Parece indicado unir esta masa densa con el anticlinal de Andaluz.

La masa de mayor densidad de Quintanas de Gormaz y con ella la serie de masas densas de Navapalos-Quintanas de Gormaz-Hortezueta-Fuentelpuerco pueden ser producidas por cúpulas de la superficie caliza, que afloran en la dirección longitudinal de esta serie, cerca de Gormaz, Hortezueta y Fuentelpuerco.

La masa de mayor densidad de Berlanga de Duero tiene que estar originada por las estribaciones del anticlinal de Berlanga de Duero. En el sector Sur del perfil I se ve la prolongación, hacia el Oeste, de este anticlinal. Los gradientes de las estaciones 94, 95 y 98 al Sur del perfil K, parecen reflejar el borde Norte de esta zona anticlinal, que en este lugar es posible esté formada por el terciario antiguo.

Las series de valores máximos de la gravedad están separadas por *depresiones gravimétricas* que interpretamos como sinclinales de la superficie caliza. Se distinguen muy claramente tales accidentes entre las zonas anticlinales de:

Barcebalejo-Velasco y Burgo de Osma-Lodares.

La Olmeda-Fuente del Cubo y Navapalos-Quintanas de Gormaz-Hortezuela.

Hortezuela y Berlanga de Duero.

La mayor aproximación de las isógamas, en los flancos Norte de las elevaciones calizas, halladas dentro de las zonas de

El Burgo de Osma

Fuente del Cubo

Hortezuela

la podemos interpretar como un declive rápido de dichos flancos.

La anchura de los anticlinales determinada por los estudios gravimétricos aparece, en general, mayor que la conocida por los afloramientos. Así que es muy probable que el conocido anticlinal de Gormaz se extienda hacia el Norte más de lo que se aprecia por los afloramientos conocidos. Por consiguiente, parece justificado combinar este anticlinal con las masas de mayor densidad de Quintanas de Gormaz y Hortezuela.

§ 59. Conclusiones.—Es evidente que el conocimiento de los anticlinales se ha ampliado notablemente por las mediciones y en particular se ha aclarado:

La extensión del anticlinal de Velasco-Santiuste; hasta Barcebalejo.

La prolongación del anticlinal de El Burgo de Osma, en dirección Este; hasta Valdenebro.

La existencia de la prolongación Este del anticlinal de Lodaes por la carretera de El Burgo de Osma, en dirección a Bayubas de Arriba.

La determinación de la extensión del anticlinal de Gormaz hacia el Este y su ensanche hasta Quintanas de Gormaz.

La existencia de la zona de mayor gravedad cerca de Bayubas de Abajo, que pueden interpretarse como una prolongación del anticlinal de Andaluz.

Los límites del anticlinal situado cerca de Hortezuela, que se extiende hacia el Este y Oeste más de lo que se podía suponer hasta ahora.

La existencia del anticlinal calizo, al Sur de Aguilera, que puede relacionarse con el de Berlanga de Duero.

La determinación de la zona trastornada de Navapalos, que se puede combinar con el anticlinal de Gormaz.

No se ha encontrado ninguna estructura tectónica abovedada y como, además, se ha comprobado la existencia de fallas importantes, no creemos deba efectuarse sondeo alguno de reconocimiento petrolífero, por considerar poco probable la conservación del yacimiento primero subyacente.

CAPÍTULO XIII

LA INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA MESETA TERCIARIA DE MADRID-ALCALÁ DE HENARES-TORRELAGUNA

§ 60. **Prólogo.**—Las investigaciones geológicas efectuadas hasta la fecha, por el Instituto Geológico y Minero de España, han puesto de manifiesto que la meseta situada al Norte de Madrid está constituida por capas terciarias, en posición horizontal en su mayor parte, que ocultan las formaciones más antiguas (*).

En los alrededores de la meseta, y con altitudes muy superiores a ella, afloran las calizas cretáceas, que la rodean por completo. Como sus buzamientos están dirigidos hacia el interior de aquélla, excepto en algunos lugares afectados por trastornos tectónicos, se ha supuesto que en la época cretácea estuvo al descubierto una cuenca cerrada total o parcialmente, que se rellenó con los sedimentos posteriores.

Esta hipótesis lleva consigo la de la existencia de una cubeta artésiana de importancia, alimentada por las aguas de la sierra de Guadarrama, Altomira y otras, a más de las que circulan por los ríos que la atraviesan.

(*) Omitimos la reseña geológica y geográfica por estar publicada por el Instituto Geológico y Minero de España en las hojas del Mapa Geológico de Madrid y Alcalá de Henares.

Para comprobar esta teoría se efectuó un estudio general de la región por medio de los métodos geofísicos de prospección, que eran susceptibles de ser aplicados en ella. Se emplearon los métodos gravimétrico, magnético y sísmico. De este último ya nos hemos ocupado en mi obra «Los Métodos Geofísicos de Prospección», por lo que aquí no insistiremos más sobre él (*).

Las mediciones de campo fueron efectuadas por «La Geofísica, S. A.», bajo la dirección de los Sres. Kindelan y Siñeriz, que también hicieron la interpretación de los resultados obtenidos.

Como se ignoraba la posición del centro o del eje de la cuenca, si esta no era de forma circular, fué preciso efectuar un estudio previo de tanteo, para poder elegir la zona donde habían de efectuarse las mediciones gravimétricas. Esta investigación previa, efectuada por medio de 80 estaciones, constituye la primera parte de nuestro trabajo, que vamos a reseñar brevemente.

§ 61. La investigación previa.

a) *Las mediciones gravimétricas.*—Para el estudio previo de la zona se tomó como centro la ciudad de Alcalá de Henares, desde la que debían partir tres grandes perfiles gravimétricos. Uno de ellos hacia el Norte; otro hacia el Este, y el restante hacia el Sur. Los valores que encontrásemos para los gradientes y términos de curvatura nos indicarían la intersección de los perfiles con los bordes de la cuenca, en el caso de encontrarlos, así como el sentido del buzamiento de sus capas. No consideramos necesario estudiar otro perfil dirigido hacia el Oeste, por estar

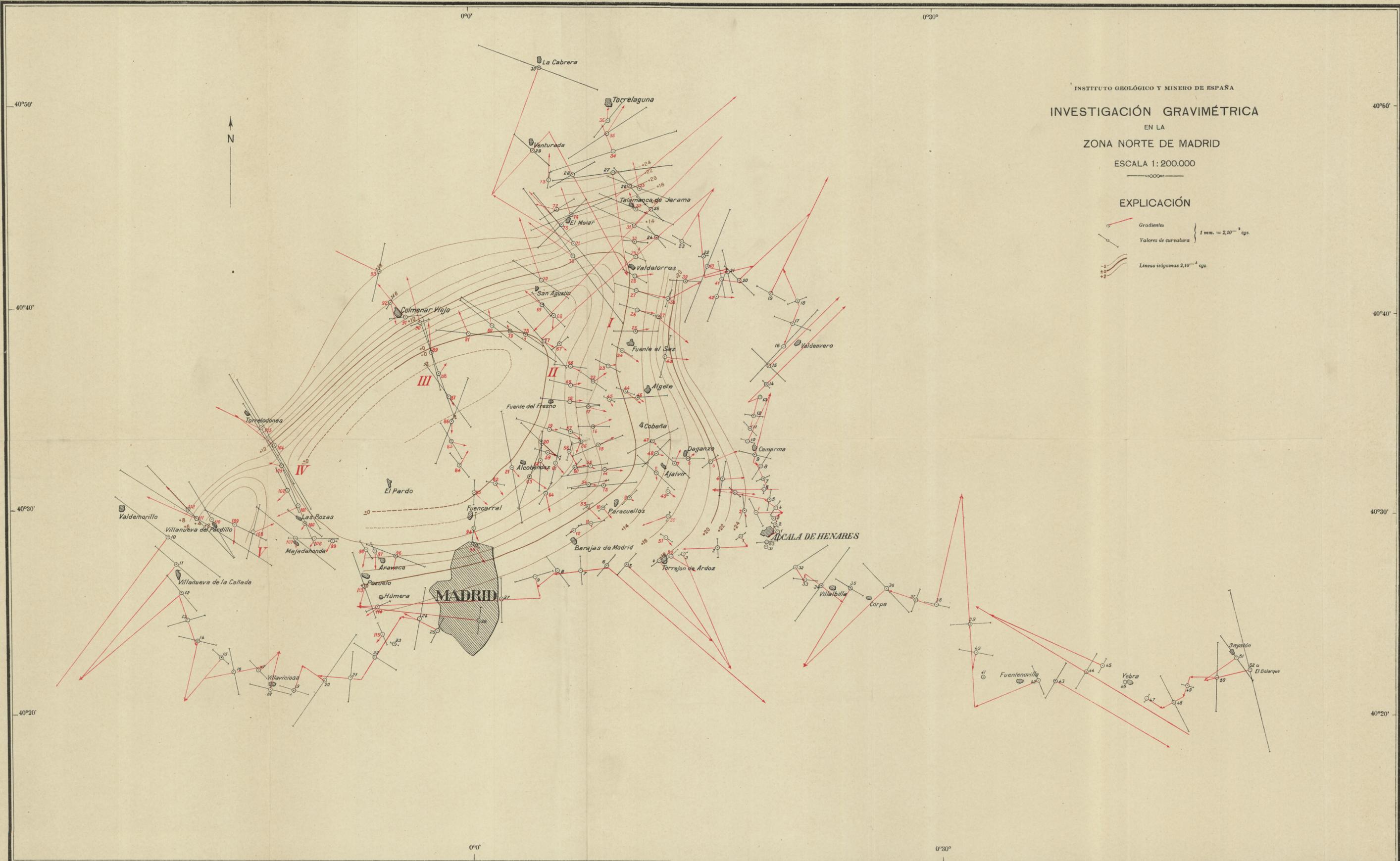
(*) En este capítulo nos ocuparemos de las mediciones efectuadas con la balanza de torsión.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA
 EN LA
ZONA NORTE DE MADRID

ESCALA 1:200.000

EXPLICACIÓN

- Gradientes
- Valores de curvatura } 1 mm. = 2,10⁻³ cgs.
- Líneas isógamas 2,10⁻³ cgs.



fuera de duda que la cuenca buscada se extendía en aquella dirección.

Perfil Norte.—Parte de Alcalá de Henares y pasa por Valdeabero y Torrelaguna, hasta cerca de La Cabrera. Consta de las estaciones gravimétricas números 1 al 30 y su longitud es de 75 kilómetros (véase la lámina XXXII).

Perfil Este.—Desde el mismo origen del anterior, llega hasta el pueblo de Sayatón, después de pasar por Corpa, Fuentenovilla y Yebra. Tiene una longitud de 64 kilómetros, en los que se han observado las estaciones comprendidas desde el número 31 al 53.

Perfil Sur.—Empieza también en Alcalá de Henares y continúa por Torrejón de Ardoz, Madrid y Brunete, hasta tres kilómetros al Norte de Villanueva de la Cañada. Contiene las estaciones números 1 al 27, repartidas en una longitud de 70 kilómetros.

La longitud total de los tres perfiles investigados asciende a 210 kilómetros. Los aparatos, fórmulas y métodos empleados para las observaciones de campo y cálculos de las magnitudes gravílicas, son exactamente los mismos que los explicados en la investigación efectuada en «El Burgo de Osma», por lo que no creemos necesario exponer mas que el resumen de los valores obtenidos, que constan en el siguiente cuadro.

b) *Cuadro de los valores numéricos calculados para las magnitudes gravílicas en la investigación previa de la meseta terciaria Madrid-Alcalá de Henares-Torrelaguna.*

Alcalá de Henares

| Estación 1. $\lambda = 166^{\circ}38'$ $R = 15,6$ | | | | | | Estación 2. $\lambda = 124^{\circ}16'$ $R = 3,0$ | | | | | |
|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -1,8 | +7,9 | -9,7 | -6,1 | -3,6 | U_{xx} | +1,8 | +7,9 | -6,1 | +2,6 | -8,7 |
| U_{yz} | +16,7 | +1,7 | +15,0 | +1,3 | +13,7 | U_{yz} | +14,5 | +1,7 | +12,8 | +2,3 | +10,5 |
| U_{Δ} | -6,5 | +5,4 | -11,9 | -2,4 | -9,5 | U_{Δ} | +13,3 | +5,4 | +7,9 | +8,1 | -0,2 |
| U_{xy} | -22,7 | -1,2 | -21,5 | -1,4 | -20,1 | U_{xy} | -12,2 | -1,2 | -11,0 | +2,9 | -13,9 |

| Estación 3. $\lambda = 157^{\circ}46'$ $R = 7,4$ | | | | | | Estación 4. $\lambda = 43^{\circ}49'$ $R = 17,0$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -3,8 | +7,9 | -11,7 | +0,3 | -12,0 | U_{xx} | +1,0 | +7,9 | -8,9 | +3,9 | -12,8 |
| U_{yz} | +17,9 | +1,7 | +16,2 | +1,8 | +14,4 | U_{yz} | +11,5 | +1,7 | +9,8 | -13,6 | +23,4 |
| U_{Δ} | -9,9 | +5,4 | -15,3 | -0,2 | -15,1 | U_{Δ} | -11,8 | +5,4 | -17,2 | -7,7 | -9,5 |
| U_{xy} | -13,8 | -1,2 | -12,6 | +0,4 | -13,0 | U_{xy} | +0,3 | -1,2 | +1,5 | +2,2 | -0,7 |

| Estación 5. $\lambda = 21^{\circ}40'$ $R = 21,6$ | | | | | | Estación 5 bis $\lambda = 18^{\circ}40'$ $R = 19,1$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +5,8 | +7,9 | -2,1 | +1,1 | -3,2 | U_{xx} | +6 | +7,9 | -1,9 | +1,1 | -2,1 |
| U_{yz} | +14,2 | +1,7 | +12,5 | -0,1 | +12,6 | U_{yz} | +13,3 | +1,7 | +11,6 | -0,1 | +11,7 |
| U_{Δ} | -13,9 | +5,4 | -19,3 | +2,8 | -22,1 | U_{Δ} | -13,4 | +5,4 | -18,8 | +2,8 | -21,6 |
| U_{xy} | -4,8 | -1,2 | -3,6 | -4,4 | +0,8 | U_{xy} | -6,4 | -1,2 | -5,2 | -4,4 | -0,8 |

| Estación 6. $\lambda = 22^{\circ}4'$ $R = 4,6$ | | | | | | Estación 7. $\lambda = 76^{\circ}43'$ $R = 2,1$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +8,4 | +7,9 | +0,5 | +5,6 | -5,1 | U_{xx} | -1,0 | +7,9 | -8,9 | +4,3 | -13,2 |
| U_{yz} | +21,9 | +1,7 | +23,2 | +7,0 | +16,2 | U_{yz} | +32,2 | +1,7 | +30,5 | -2,1 | +32,9 |
| U_{Δ} | -23,6 | +5,4 | -29,0 | -13,8 | -15,2 | U_{Δ} | +1,1 | +5,4 | -4,3 | -3,6 | -0,7 |
| U_{xy} | -4,6 | -1,2 | -3,4 | -1,7 | -1,7 | U_{xy} | +2,3 | -1,2 | +3,5 | +0,5 | +3,0 |

| Estación 8. $\lambda = 44^{\circ}54'$ $R = 28,7$ | | | | | | Estación 9. $\lambda = 114^{\circ}9'$ $R = 29,5$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +6,5 | +7,9 | -1,4 | +10,4 | -11,8 | U_{xx} | +9,5 | +7,9 | +1,6 | +2,0 | -0,4 |
| U_{yz} | +10,8 | +1,7 | +9,1 | +0,6 | +8,5 | U_{yz} | +17,0 | +1,7 | +15,3 | +3,5 | +18,8 |
| U_{Δ} | -6,8 | +5,4 | -12,2 | +4,1 | -16,3 | U_{Δ} | +25,6 | +5,4 | +20,2 | -7,5 | +27,7 |
| U_{xy} | +13,2 | -1,2 | +14,4 | +2,0 | +12,4 | U_{xy} | +17,0 | -1,2 | -15,8 | +2,3 | -18,1 |

| Estación 10. $\lambda = 124^{\circ}20'$ $R = 13,7$ | | | | | | Estación 11. $\lambda = 152^{\circ}6'$ $R = 16,2$ | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +9,5 | +7,9 | +1,6 | +6,0 | -4,4 | U_{xx} | +12,1 | +7,9 | +4,2 | +10,3 | -6,1 |
| U_{yz} | +14,1 | +1,7 | +15,4 | -8,6 | +21,0 | U_{yz} | +14,3 | +1,7 | +12,6 | +3,6 | +16,2 |
| U_{Δ} | +19,0 | +5,4 | +13,6 | -4,4 | +18,0 | U_{Δ} | +17,4 | +5,4 | +12,0 | -0,4 | +12,4 |
| U_{xy} | -18,4 | -1,2 | -17,2 | +0,6 | -17,8 | U_{xy} | +16,6 | -1,2 | -15,4 | +4,6 | -20,0 |

| Estación 12. $\lambda = 111^{\circ}58'$ $R = 12,3$ | | | | | | Estación 13. | | | | | |
|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|------------------------|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +17,3 | +7,9 | +9,4 | +14,9 | -5,5 | U_{xx} | +35,4 | +7,9 | +27,5 | +17,3 | +10,2 |
| U_{yz} | +2,1 | +1,7 | +0,4 | -12,1 | +12,5 | U_{yz} | -36,4 | +1,7 | -38,1 | -15,1 | -23,0 |
| U_{Δ} | +13,3 | +5,4 | +7,9 | -9,7 | +17,6 | | | | | | |
| U_{xy} | -19,4 | -1,2 | -18,2 | -1,2 | -17,0 | | | | | | |

| Estación 14. $\lambda = 145^{\circ}28'$ $R = 7,3$ | | | | | | Estación 15. $\lambda = 148^{\circ}20'$ $R = 42,1$ | | | | | |
|---|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|------------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado. | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +9,2 | +7,9 | +1,3 | +5,2 | -3,9 | U_{xx} | +12,9 | +7,9 | +5,0 | +10,3 | -5,3 |
| U_{yz} | +8,0 | +1,7 | +6,3 | -6,5 | +12,8 | U_{yz} | +8,6 | +1,7 | +6,9 | -4,2 | +11,1 |
| U_{Δ} | +27,4 | +5,4 | +22,0 | +1,7 | +20,3 | U_{Δ} | +7,6 | +5,4 | +2,2 | +0,8 | +1,4 |
| U_{xy} | -16,4 | -1,2 | -15,2 | +4,6 | -19,8 | U_{xy} | -44,7 | -1,2 | -43,5 | -0,1 | -43,4 |

| Estación 9. $\lambda = 86^{\circ}51'$ $R = 36,4$ | | | | | | Estación 10. $\lambda = 140^{\circ}2'$ $R = 118,2$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | -1,4 | +7,9 | -9,3 | -7,1 | -2,2 | U_{xz} | +57,6 | +7,9 | +49,7 | +17,5 | +32,2 |
| U_{yz} | -16,4 | +1,7 | -18,1 | -7,9 | -10,2 | U_{yz} | -55,7 | +1,7 | -51,4 | -10,2 | -47,2 |
| U_{Δ} | +14,4 | +5,4 | +9,0 | +3,8 | +12,8 | U_{Δ} | -19,8 | +5,4 | -25,2 | +5,6 | -30,8 |
| U_{xy} | +5,9 | -1,2 | +7,1 | +9,8 | -2,7 | U_{xy} | -86,9 | -1,2 | -85,7 | -7,5 | -78,2 |

| Estación 11. $\lambda = 142^{\circ}30'$ $R = 49,5$ | | | | | | Estación 12. $\lambda = 152^{\circ}15'$ $R = 42,7$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +8,3 | +7,9 | +0,4 | +3,5 | -3,1 | U_{xz} | -5 | +7,9 | -12,9 | -4,7 | -8,2 |
| U_{yz} | -5,4 | +1,7 | -7,1 | -0,9 | -6,2 | U_{yz} | -6,3 | +1,7 | -8,0 | -3,4 | -4,6 |
| U_{Δ} | -25,5 | +5,4 | -30,9 | -0,6 | -30,3 | U_{Δ} | -39,9 | +5,4 | -45,3 | -5,3 | -40,0 |
| U_{xy} | -20,7 | -1,2 | -19,5 | +6,2 | -25,7 | U_{xy} | -29,9 | -1,2 | -28,7 | -4,8 | -23,9 |

| Estación 13. $\lambda = 86^{\circ}32'$ $R = 33,1$ | | | | | | Estación 14. $\lambda = 126^{\circ}30'$ $R = 35,6$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +3,8 | +7,9 | -4,1 | +6,1 | -10,2 | U_{xz} | +13,4 | +7,9 | +5,5 | +10,1 | -4,6 |
| U_{yz} | -19,5 | +1,7 | -21,2 | -5,1 | -16,1 | U_{yz} | +6,1 | +1,7 | +4,4 | -4,1 | +8,5 |
| U_{Δ} | +21,0 | +5,4 | +15,6 | -2,2 | +17,8 | U_{Δ} | +87,2 | +5,4 | +81,8 | +56,2 | +25,6 |
| U_{xy} | +1,9 | -1,2 | +3,1 | +0,4 | +2,7 | U_{xy} | -13,5 | -1,2 | -12,3 | +3,5 | -18,5 |

| Estación 15. $\lambda = 142^{\circ}20'$ $R = 17,8$ | | | | | | Estación 16. $\lambda = 179^{\circ}52'$ $R = 42,5$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +7,9 | +7,9 | +1,8 | -4,4 | +6,2 | U_{xz} | -8,5 | +7,9 | -16,4 | +3,4 | -19,8 |
| U_{yz} | -22,3 | +1,7 | -24,0 | -21,7 | -2,3 | U_{yz} | +10,0 | +1,7 | -0,7 | -0,4 | -0,3 |
| U_{Δ} | -8,7 | +5,4 | -14,1 | -16,1 | +2,0 | U_{Δ} | +17,4 | +5,4 | +12,0 | +19,3 | -7,3 |
| U_{xy} | +6,3 | -1,2 | +7,5 | +1,8 | -5,7 | U_{xy} | -9,3 | -1,2 | -8,1 | -1,1 | -7,0 |

| Estación 17. $\lambda = 148^{\circ}17'$ $R = 23,0$ | | | | | | Estación 18. $\lambda = 121^{\circ}2'$ $R = 41,4$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +49,0 | +7,9 | +41,1 | +41,5 | -0,4 | U_{xz} | +2,4 | +7,9 | -5,5 | -2,4 | -3,1 |
| U_{yz} | +14,1 | +1,7 | +12,4 | +2,2 | +10,2 | U_{yz} | +9,5 | +1,7 | +8,1 | +1,8 | +9,9 |
| U_{Δ} | +19,8 | +5,4 | +14,4 | +31,5 | -17,1 | U_{Δ} | +49,7 | +5,4 | +44,3 | +7,6 | +36,7 |
| U_{xy} | -18,4 | -1,2 | -17,2 | -2,4 | -15,8 | U_{xy} | +37,7 | -1,2 | -36,5 | -12,8 | -23,7 |

| Estación 19. $\lambda = 118^{\circ}24'$ $R = 28,0$ | | | | | | Estación 20. $\lambda = 48^{\circ}57'$ $R = 101,1$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | +2,0 | +7,9 | -5,9 | +1,1 | -7,0 | U_{xz} | -0,9 | +7,9 | -8,8 | +20,7 | -29,5 |
| U_{yz} | +10,1 | +1,7 | +8,4 | -6,8 | +15,2 | U_{yz} | -4,2 | +1,7 | -5,9 | +0,5 | -6,4 |
| U_{Δ} | +28,5 | +5,4 | +23,1 | +4,8 | +18,3 | U_{Δ} | +2,4 | +5,4 | -3,0 | -17,7 | +14,2 |
| U_{xy} | -20,1 | -1,2 | -18,9 | -5,9 | -13,0 | U_{xy} | +45,5 | -1,2 | +46,7 | -2,1 | +48,8 |

| Estación 21. $\lambda = 17^{\circ}19'$ $R = 47,2$ | | | | | | Estación 22. $\lambda = 133^{\circ}45'$ $R = 45,9$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | -2,7 | +7,9 | -10,6 | +1,5 | -12,1 | U_{xz} | -0,5 | +7,9 | -8,4 | -2,1 | -6,3 |
| U_{yz} | -6,6 | +1,7 | -8,3 | -3,3 | -5,0 | U_{yz} | +5,2 | +1,7 | +3,5 | -0,3 | +3,8 |
| U_{Δ} | +34,2 | +5,4 | +28,8 | +4,5 | +44,1 | U_{Δ} | +6,8 | +5,4 | +1,4 | +7,7 | -6,3 |
| U_{xy} | +8,6 | -1,2 | +9,8 | -4,6 | +14,4 | U_{xy} | -10,5 | -1,2 | -9,3 | -3,6 | -5,7 |

| Estación 23. $\lambda = 122^{\circ}20'$ $R = 4,2$ | | | | | | Estación 24. $\lambda = 157^{\circ}13'$ $R = 57,4$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xz} | -14,5 | +7,9 | -22,4 | -10,3 | -12,1 | U_{xz} | -10,7 | +7,9 | -18,6 | -10,0 | -8,6 |
| U_{yz} | -6,0 | +1,7 | -7,7 | -12,5 | +4,8 | U_{yz} | +28,0 | +1,2 | +26,3 | -15,0 | +41,3 |
| U_{Δ} | +23,7 | +5,4 | +18,3 | +9,9 | +8,4 | U_{Δ} | -9,3 | +5,4 | -14,7 | +10,5 | -25,2 |
| U_{xy} | +5,0 | -1,2 | +6,2 | +2,2 | +4,0 | U_{xy} | -7,0 | -1,2 | -5,8 | +5,0 | -10,8 |

| Estación 25. $\lambda = 40^{\circ}50'$ $R = 26,3$ | | | | | | Estación 26. $\lambda = 19^{\circ}16'$ $R = 24,5$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | - 0,1 | + 7,9 | - 8,0 | + 2,8 | -10,8 | U_{xx} | - 1,4 | + 7,9 | - 9,3 | + 5,2 | -14,5 |
| U_{yy} | + 3,1 | + 1,7 | + 1,4 | - 5,0 | + 6,5 | U_{yy} | + 40,8 | + 1,7 | + 39,1 | + 24,0 | + 15,1 |
| U_{Δ} | + 59,7 | + 5,4 | + 54,3 | + 7,8 | + 44,7 | U_{Δ} | - 9,6 | + 5,4 | - 15,0 | - 10,6 | - 4,4 |
| U_{xy} | + 15,5 | - 1,2 | + 16,7 | - 1,1 | + 17,8 | U_{xy} | + 15,3 | - 1,2 | + 16,5 | + 6,6 | + 9,9 |

| Estación 27. $\lambda = 10^{\circ}29'$ $R = 43,1$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 1,1 | + 7,9 | - 6,8 | + 2,0 | - 8,8 |
| U_{yy} | + 16,0 | + 1,7 | + 14,3 | + 8,6 | + 5,7 |
| U_{Δ} | + 4,0 | + 5,4 | - 1,4 | + 33,2 | - 34,6 |
| U_{xy} | + 13,2 | - 1,2 | + 14,4 | + 4,8 | + 9,6 |

Este cuadro comprende 80 estaciones, numeradas del 1 al 53 (Alcalá) y del 1 al 27 (Madrid).

c) *La interpretación de los resultados obtenidos.*

Perfil Norte.—Desde la estación 1 a la 17 los gradientes presentan la tendencia a seguir la dirección Este. A partir de la últimamente citada, giran hacia el NO., después de pasar por el Norte, hasta la estación número 27.

Los gradientes de las estaciones 12 y 13 están perturbados por pequeñas anomalías locales.

Los términos de curvatura de las estaciones comprendidas entre Alcalá de Henares y Camarma son de pequeña magnitud y de dirección variable. Al N. de Camarma tienen la dirección E.-O., que varía a la NO.-SE. paulatinamente, hasta llegar a la estación 26. Entre esta última y la siguiente, o sea la 27, vuelven a tomar la dirección Este-Oeste.

La tendencia general de los gradientes hacia el Este,

en las 17 estaciones primeras, nos indica que las masas más densas, que en este caso son las calizas del Cretáceo, se encuentran en esa dirección; o sea, que el borde de la cuenca buscada está al E. de las estaciones consideradas.

Desde la estación 19 nos acercamos a la zona de mayor gravedad y al llegar a las estaciones 22, 23, 24 y 25, nos encontramos sobre su borde Noreste.

Las estaciones 26 y 27 han quedado al NO. de aquélla.

La magnitud y dirección de los términos de curvatura corresponde también a la influencia ejercida por el borde de la cuenca de mayor densidad.

Las estaciones números 28 al 30 se situaron fuera de la cuenca, con el objeto de comprobar la influencia que ejercen sobre la balanza de torsión las grandes masas que existen en aquellos contornos de calizas, granito y neis.

La 28 está situada en el neis. Su gradiente se dirige hacia el sinclinal terciario de Torrelaguna. La estación 29 se encuentra en el sinclinal terciario de Venturada, cuya dirección es Noreste. El gradiente obtenido tiene la dirección Norte, en lugar de la NO., que era de esperar. La número 30, situada en el granito, nos suministra un gradiente de dirección Este-Sureste.

Estos resultados nos ponen de manifiesto la gran influencia gravimétrica ejercida por las masas mencionadas, que nos imposibilitan de efectuar interpretación alguna de los valores a que afectan.

Perfil Este.—Los gradientes del perfil Este, desde la estación 32 a la 38, aun conservan la tendencia hacia la dirección Este, es decir, que por lo menos, hasta la última no se ha llegado al borde de la cuenca. Los resultados obtenidos desde la estación 39 a la 52 son interesantes, desde otro punto de vista. La diversidad de valores, en magnitud y dirección, de los gradientes y curvaturas, nos

pone de manifiesto que el subsuelo de esta parte de la cuenca está dislocado de una manera irregular, como no sucedía en su borde N., lo que nos impide fijar la situación de su límite en esta dirección.

Perfil Sur.—En los gradientes de las estaciones 1 y 2 de este perfil se aprecia también la dirección Este. Pero en las siguientes, hasta la 20, gira hasta el Sur, a excepción de las estaciones 17 a 19 y 24 a 27, cuyos gradientes están dirigidos al Sureste.

Los gradientes de las estaciones 11 a 13 se dirigen al Suroeste, y el de la 10, situado en el borde NO. de la meseta de Madrid, tiene precisamente la dirección citada, o sea la perpendicular a la de las capas cretáceas.

Los valores de curvatura no presentan tampoco una marcha uniforme y sólo se destaca, al final del perfil, la elevación del subsuelo en la dirección Sureste Noroeste.

Como consecuencia de las anteriores consideraciones podemos decir que el perfil Sur está situado en una zona menos trastornada que la del Este, pero que, sin embargo, dista mucho de la regularidad encontrada en el Norte.

En resumen, los tres perfiles estudiados nos han hecho adquirir el convencimiento de que la cuenca cretácea buscada se encuentra al Oeste de la línea formada por los perfiles Norte y Sur, en cuya región debemos continuar la investigación propuesta.

§ 61. La investigación definitiva.

a) *Las mediciones gravimétricas.*—El estudio previo efectuado, a más de habernos indicado la situación aproximada de la cuenca cretácea, nos ha demostrado que ésta es de gran amplitud y que, por consiguiente, es indispensable estudiar una zona considerable de terreno. Teniendo en cuenta esta condición, que obliga a separar bastante

las estaciones entre sí, hemos hecho el siguiente plan de investigación.

Primero, se investigarán perfiles de gran longitud, en las direcciones radiales comprendidas entre el Norte y el Oeste, a partir de Madrid, siguiendo las carreteras y caminos importantes. Estos perfiles deben cortar toda la cuenca buscada y darnos indicaciones de la posición de su eje y de sus bordes.

Después, con el objeto de utilizar el material de observación de que disponemos por la investigación previa, se deben estudiar los perfiles transversales necesarios, para establecer el enlace entre los principales.

Perfil I. Torrejón de Ardoz-Torrelaguna.—Se le ha observado a lo largo de la carretera que pasa por los pueblos de Torrejón de Ardoz-Ajalvir-Cobeña-Fuente el Saz-Valdetorres-Talamanca y Torrelaguna. Comprende las estaciones números 52 a 46, esta última situada en Algete, y 25 a 36. Su longitud es de 42 kilómetros.

Perfil II. Madrid-El Molar.—Empieza cerca de Fuenarral y continúa por Alcobendas-Fuente del Fresno y San Agustín, hasta El Molar. Se han observado en él las estaciones números 95, 94, 83, 82, 21 a 18 y 65 a 76, repartidas en una longitud total de 30 kilómetros.

Perfil III. Madrid-Colmenar Viejo.—Tiene su origen en la estación 83 del perfil anterior y se le ha efectuado siguiendo la carretera de Colmenar Viejo. Consta de las estaciones comprendidas entre los números 84 al 93, con una longitud total de 18 kilómetros.

Perfil IV. Madrid-Torrelodones.—Empieza cerca del cementerio de Aravaca y sigue la carretera general de La Coruña, por El Plantío-Las Rozas y Las Matas, hasta Torrelodones. Las estaciones gravimétricas observadas, tienen los números comprendidos entre el 96 y el 105.

Perfil V. Madrid-Valdemorillo.—Parte de la estación 99 del perfil anterior y comprende las estaciones 106 a 112, situadas a lo largo de la carretera de Majadahonda-Villanueva del Pardillo-Valdemorillo. Su longitud es de 20 kilómetros.

Enlace del perfil I con el perfil Este.—Se establece este enlace por medio de dos perfiles. El de Alcalá de Henares a Ajalvir, con las estaciones 1 al 7, y el de Fuente el Saz a El Casar de Talamanca, que consta de las estaciones números 37 a 40.

Enlace del perfil I con el perfil II.—Se han utilizado para establecerle todas las carreteras existentes, que nos han permitido observar los perfiles siguientes: Fuente el Fresno-Algete, con las estaciones 17, 45 y 44; Fuente el Fresno-Fuente el Saz, con las 22 a 24; Fuente el Fresno-Ajalvir, con las 8 a 16 y el grupo de estaciones números 53 a 64, situadas al Este de Alcobendas.

Enlace del perfil II con el perfil III.—Este enlace se efectúa por medio del perfil San Agustín-Colmenar Viejo. Arranca de la estación 67 del perfil II y contiene los números 77 a 81, para terminar en la número 90 del perfil III.

Enlace del perfil V con el perfil Sur.—El perfil V se enlaza con el Sur, de la investigación previa, por las estaciones 113, 114 y 115, situadas en la carretera de Aravaca a Húmera.

Se han calculado los valores de las magnitudes gravíficas de las 115 estaciones observadas por las fórmulas y procedimientos explicados, que reunimos en el cuadro adjunto.

b) *Cuadro de los valores numéricos calculados para las magnitudes gravíficas en la investigación definitiva de la meseta terciaria de Madrid-Alcalá de Henares-Torrelaguna.*

Algete

| Estación 1. $\lambda = 165^\circ$ $R = 25,7$ | | | | | | Estación 2. $\lambda = 4^\circ 30'$ $R = 27,5$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravíficas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravíficas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 5,5 | + 7,9 | - 2,4 | + 0,6 | - 3,0 | U_{xx} | + 5,6 | + 7,9 | - 2,3 | + 2,3 | - 4,6 |
| U_{yy} | + 28,2 | + 1,7 | + 27,1 | + 2,4 | + 24,7 | U_{yy} | + 0,2 | + 1,7 | - 1,5 | - 1,8 | + 0,3 |
| U_{Δ} | - 5,8 | + 5,4 | - 11,2 | + 11,1 | - 22,3 | U_{Δ} | - 19,8 | + 5,4 | - 25,2 | + 1,9 | - 27,1 |
| U_{xy} | - 6,8 | - 1,2 | - 5,6 | + 0,8 | - 6,4 | U_{xy} | + 2,3 | - 1,2 | + 3,5 | + 1,4 | + 2,1 |
| Estación 3. $\lambda = 141^\circ 15'$ $R = 12,5$ | | | | | | Estación 4. $\lambda = 21^\circ 30'$ $R = 31,9$ | | | | | |
| U_{xx} | + 11,8 | + 7,9 | + 3,9 | + 9,5 | - 5,6 | U_{xx} | + 12,1 | + 7,9 | + 4,2 | + 7,7 | - 3,5 |
| U_{yy} | + 16,2 | + 1,7 | + 14,5 | - 4,6 | + 14,1 | U_{yy} | + 17,6 | + 1,7 | + 15,9 | - 3,6 | + 19,5 |
| U_{Δ} | + 3,9 | + 5,4 | - 1,5 | + 1,3 | - 2,8 | U_{Δ} | - 17,9 | + 5,4 | - 23,3 | + 3,1 | - 26,4 |
| U_{xy} | - 5,9 | - 1,2 | - 4,7 | + 1,4 | - 6,1 | U_{xy} | + 7,6 | - 1,2 | + 8,8 | - 0,2 | + 6,0 |
| Estación 5. $\lambda = 66^\circ 30'$ $R = 18,8$ | | | | | | Estación 6. $\lambda = 100^\circ 30'$ $R = 29,2$ | | | | | |
| U_{xx} | + 18,0 | + 7,9 | + 10,1 | + 4,4 | + 5,7 | U_{xx} | + 21,0 | + 7,9 | + 13,1 | + 8,8 | + 4,3 |
| U_{yy} | + 17,4 | + 1,7 | + 15,7 | - 12,9 | + 28,6 | U_{yy} | + 14,3 | + 1,7 | + 12,6 | + 4,9 | + 7,7 |
| U_{Δ} | + 24,4 | + 5,4 | + 19,0 | + 6,2 | + 12,8 | U_{Δ} | + 61,2 | + 5,4 | + 55,8 | + 1,2 | + 54,6 |
| U_{xy} | + 6,8 | - 1,2 | + 8,0 | + 1,1 | + 6,9 | U_{xy} | - 14,8 | - 1,2 | - 13,6 | + 3,2 | - 10,4 |
| Estación 7. $\lambda = 146^\circ 30'$ $R = 40,0$ | | | | | | Estación 8. $\lambda = 145^\circ 45'$ $R = 43,6$ | | | | | |
| U_{xx} | + 27,9 | + 7,9 | + 20,0 | + 8,4 | + 11,6 | U_{xx} | + 7,3 | + 7,9 | + 4,1 | - 4,7 | - 4,7 |
| U_{yy} | + 14,7 | + 1,7 | + 13,0 | + 2,6 | + 10,4 | U_{yy} | + 7,5 | + 1,7 | + 5,2 | + 0,6 | - 4,6 |
| U_{Δ} | - 10,2 | + 5,4 | - 15,6 | + 0,1 | - 15,7 | U_{Δ} | - 7,6 | + 5,4 | + 3,0 | - 16,0 | - 16,0 |
| U_{xy} | - 19,0 | - 1,2 | - 17,8 | + 0,6 | - 18,4 | U_{xy} | - 20,4 | - 1,2 | + 1,1 | - 20,3 | - 20,3 |

| Estación 57. $\lambda = 117^{\circ}15'$ $R = 21,5$ | | | | | | Estación 58. $\lambda = 24^{\circ}45'$ $R = 18,2$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 3,3 | + 7,9 | - 4,6 | + 4,0 | - 8,6 | U_{xx} | -10,4 | +7,9 | - 18,3 | - 1,3 | -17,0 |
| U_{yy} | + 1,5 | + 1,7 | - 0,2 | - 8,2 | + 8,0 | U_{yy} | - 0,6 | +1,7 | - 2,3 | - 6,1 | + 3,8 |
| U_{Δ} | +12,2 | + 5,4 | + 6,8 | - 5,6 | +12,4 | U_{Δ} | -13,6 | +5,4 | - 14,0 | - 7,1 | -11,9 |
| U_{xy} | - 7,2 | - 1,2 | - 6,0 | + 2,8 | - 8,8 | U_{xy} | - 5,9 | -1,5 | - 4,7 | -11,6 | + 6,9 |

| Estación 59. $\lambda = 121^{\circ}45'$ $R = 25,3$ | | | | | | Estación 60. $\lambda = 58^{\circ}15'$ $R = 17,7$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +10,6 | + 7,9 | + 2,7 | + 4,2 | - 1,5 | U_{xx} | +11,6 | +7,9 | + 3,7 | + 3,7 | 0 |
| U_{yy} | - 3,4 | + 1,7 | - 5,6 | - 6,1 | + 0,5 | U_{yy} | +15,9 | +1,7 | +14,2 | + 3,2 | +11,0 |
| U_{Δ} | +34,4 | + 5,4 | +34,0 | +11,2 | +22,8 | U_{Δ} | +13,1 | +5,4 | + 7,7 | - 0,5 | + 8,2 |
| U_{xy} | -20,7 | - 1,2 | -19,5 | + 3,1 | -22,6 | U_{xy} | +10,6 | -1,2 | +11,8 | + 3,4 | + 8,4 |

| Estación 61. $\lambda = 24^{\circ}45'$ $R = 41,0$ | | | | | | Estación 62. $\lambda = 16^{\circ}$ $R = 55,4$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | - 4,2 | + 7,9 | -12,1 | + 0,3 | -12,4 | U_{xx} | - 0,3 | +7,9 | - 8,2 | + 2,3 | -10,5 |
| U_{yy} | + 2,2 | + 1,7 | + 0,5 | - 5,7 | + 6,2 | U_{yy} | + 2,4 | +1,7 | + 0,7 | - 4,7 | + 5,4 |
| U_{Δ} | -34,6 | + 5,4 | -40,0 | - 0,5 | -39,5 | U_{Δ} | -32,7 | +5,4 | -38,1 | + 9,0 | -47,1 |
| U_{xy} | + 4,3 | - 1,2 | + 5,5 | + 0,4 | + 5,1 | U_{xy} | +17,8 | -1,2 | +19,0 | + 4,3 | +14,7 |

| Estación 63. $\lambda = 32^{\circ}45'$ $R = 63,8$ | | | | | | Estación 64. $\lambda = 43^{\circ}$ $R = 24,2$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | - 4,0 | + 7,9 | -11,9 | + 4,0 | -15,9 | U_{xx} | -18,5 | +7,9 | -26,4 | -10,0 | -16,4 |
| U_{yy} | + 8,1 | + 1,7 | + 6,4 | - 8,4 | +14,8 | U_{yy} | + 1,5 | +1,7 | - 0,2 | - 0,8 | + 0,6 |
| U_{Δ} | -30,7 | + 5,4 | -36,1 | - 8,2 | -27,9 | U_{Δ} | -48,2 | +5,4 | -53,6 | -51,9 | - 1,7 |
| U_{xy} | +35,0 | - 1,2 | +36,2 | + 7,3 | +28,9 | U_{xy} | +15,16 | -1,2 | +16,8 | + 4,7 | +12,1 |

| Estación 65. $\lambda = 114^{\circ}45'$ $R = 42,2$ | | | | | | Estación 66. $\lambda = 110^{\circ}20'$ $R = 31,0$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 8,4 | +7,9 | + 0,5 | + 1,3 | - 0,8 | U_{xx} | + 4,3 | +7,9 | - 3,6 | + 3,1 | - 6,7 |
| U_{yy} | +12,2 | +1,7 | +60,5 | + 0,2 | +10,3 | U_{yy} | + 6,3 | +1,7 | + 4,6 | - 5,8 | +10,4 |
| U_{Δ} | +31,2 | +5,4 | +25,8 | + 0,4 | +26,7 | U_{Δ} | +29,7 | +5,4 | +24,3 | + 0,8 | +23,5 |
| U_{xy} | -19,7 | -1,2 | -18,5 | - 2,8 | -15,7 | U_{xy} | - 4,7 | -1,2 | - 8,5 | + 1,6 | -10,1 |

| Estación 67. $\lambda = 75^{\circ}45'$ $R = 17,9$ | | | | | | Estación 68. $\lambda = 14^{\circ}$ $R = 31,7$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 5,8 | +7,9 | - 2,1 | + 7,4 | - 9,5 | U_{xx} | + 14 | +7,9 | - 6,5 | + 5,6 | -12,1 |
| U_{yy} | - 4,0 | +1,7 | - 5,7 | -12,2 | + 6,5 | U_{yy} | - 9,0 | +1,7 | -10,7 | - 7,6 | - 3,1 |
| U_{Δ} | +17,9 | +5,4 | +12,5 | - 3,3 | +15,7 | U_{Δ} | 0 | +5,4 | - 5,4 | +7,5 | -12,9 |
| U_{xy} | + 3,6 | -1,2 | + 4,8 | + 0,5 | + 4,3 | U_{xy} | -11,0 | -1,2 | - 9,8 | + 4,7 | -14,5 |

| Estación 69. $\lambda = 155^{\circ}$ $R = 29,4$ | | | | | | Estación 70. $\lambda = 137^{\circ}30'$ $R = 60,6$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +27,9 | +7,9 | +20,0 | + 4,4 | +15,6 | U_{xx} | + 75,3 | +7,9 | +67,4 | + 5,5 | +61,9 |
| U_{yy} | -22,3 | +1,7 | -24,0 | -11,3 | -12,7 | U_{yy} | -13,5 | +1,7 | -15,2 | - 7,6 | - 2,6 |
| U_{Δ} | - 9,5 | +5,4 | -14,4 | + 4,1 | -19,0 | U_{Δ} | - 4,4 | +5,9 | - 9,8 | - 4,9 | - 4,9 |
| U_{xy} | -14,8 | -1,2 | -13,6 | - 1,3 | -11,3 | U_{xy} | -32,5 | -1,2 | -31,3 | + 1,1 | -30,2 |

| Estación 71. $\lambda = 153^{\circ}30'$ $R = 115,6$ | | | | | | Estación 72. $\lambda = 70^{\circ}30'$ $R = 36,7$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +77,1 | +7,9 | +69,2 | +11,0 | +58,2 | U_{xx} | + 45,5 | +7,9 | +27,6 | +18,8 | + 8,8 |
| U_{yy} | -70,7 | +7,7 | -72,4 | -10,9 | -61,5 | U_{yy} | - 4,5 | +1,7 | - 6,2 | +10,2 | -16,4 |
| U_{Δ} | -63,5 | +5,4 | -68,9 | + 0,9 | -69,8 | U_{Δ} | +40,4 | +5,4 | +35,0 | + 6,6 | +28,4 |
| U_{xy} | -70,70 | -1,2 | -69,5 | -23,4 | -46,1 | U_{xy} | - 2,1 | -1,2 | - 0,9 | -12,5 | +11,6 |



| Estación 89. $\lambda = 198^{\circ}20'$ $R = 73,2$ | | | | | | Estación 90. $\lambda = 82^{\circ}$ $R = 18,8$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 29,0 | + 7,9 | + 21,1 | - 4,9 | + 26,0 | U_{xx} | + 77,9 | + 7,9 | + 70,0 | + 26,0 | + 44,0 |
| U_{yy} | - 12,9 | + 1,7 | - 14,6 | - 17,4 | + 2,8 | U_{yy} | + 8,7 | + 1,7 | + 7,0 | + 8,0 | - 1,0 |
| U_{Δ} | - 54,3 | + 5,4 | - 54,7 | + 13,3 | - 73,0 | U_{Δ} | - 9,7 | + 5,4 | - 15,1 | - 33,1 | + 18,0 |
| U_{xy} | + 1,6 | - 1,2 | + 2,8 | + 4,9 | - 2,1 | U_{xy} | - 3,0 | - 1,2 | - 1,8 | + 4,4 | + 2,6 |

| Estación 91. $\lambda = 97^{\circ}20'$ $R = 29,3$ | | | | | | Estación 92. $\lambda = 37^{\circ}$ $R = 12,5$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 60,2 | + 7,9 | + 52,3 | + 15,5 | + 38,8 | U_{xx} | - 9,5 | + 7,9 | - 17,4 | + 2,6 | - 20,0 |
| U_{yy} | - 21,0 | + 1,7 | - 22,7 | - 5,0 | - 17,7 | U_{yy} | + 6,3 | + 1,7 | + 4,6 | + 2,7 | + 1,9 |
| U_{Δ} | + 23,4 | + 5,4 | + 18,0 | - 10,3 | + 28,3 | U_{Δ} | + 1,4 | + 5,4 | - 4,0 | - 0,6 | - 3,4 |
| U_{xy} | - 24,5 | - 1,2 | - 28,3 | - 20,9 | - 7,4 | U_{xy} | + 3,8 | - 1,2 | + 5,0 | - 1,0 | + 6,0 |

| Estación 93. $\lambda = 24^{\circ}15'$ $R = 53,2$ | | | | | | Estación 94. $\lambda = 21^{\circ}65'$ $R = 30,0$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 42,6 | + 7,9 | + 34,7 | + 5,7 | + 29,0 | U_{xx} | + 8,8 | + 7,9 | + 0,9 | + 13,9 | - 13,0 |
| U_{yy} | - 13,8 | + 1,7 | - 15,5 | + 17,8 | - 33,3 | U_{yy} | + 2,7 | + 1,7 | + 1,0 | - 0,8 | + 1,8 |
| U_{Δ} | - 27,3 | + 5,4 | - 32,7 | + 12,7 | - 35,4 | U_{Δ} | + 13,1 | + 5,4 | - 18,5 | + 3,6 | - 22,1 |
| U_{xy} | + 18,6 | - 1,2 | + 19,8 | - 0 | + 19,8 | U_{xy} | + 19,8 | - 1,2 | + 21,0 | + 10,8 | + 10,2 |

| Estación 95. $\lambda = 154^{\circ}$ $R = 7,9$ | | | | | | Estación 96. $\lambda = 123^{\circ}45'$ $R = 58,6$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | - 26,8 | + 7,9 | - 34,7 | - 12,9 | - 21,8 | U_{xx} | - 2,2 | + 7,9 | - 10,1 | + 1,8 | - 11,9 |
| U_{yy} | + 3,1 | + 1,7 | + 1,4 | - 3,9 | + 5,3 | U_{yy} | + 6,3 | + 1,7 | + 8,0 | - 2,7 | - 5,3 |
| U_{Δ} | + 35,3 | + 5,4 | + 29,9 | + 34,8 | - 4,9 | U_{Δ} | + 25,8 | + 5,4 | + 20,4 | - 2,2 | + 22,6 |
| U_{xy} | - 8,1 | - 1,2 | - 6,9 | - 3,9 | - 3,1 | U_{xy} | - 43,5 | - 1,2 | - 42,3 | - 15,3 | - 27,0 |

| Estación 97. $\lambda = 163^{\circ}$ $R = 16,2$ | | | | | | Estación 98. $\lambda = 160^{\circ}30'$ $R = 21,0$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | - 10,2 | + 7,9 | - 18,1 | + 0,8 | - 18,9 | U_{xx} | - 1,9 | + 7,9 | - 9,8 | + 5,5 | - 15,3 |
| U_{yy} | - 9,6 | + 1,7 | - 11,3 | - 6,2 | - 5,1 | U_{yy} | - 20,1 | + 1,7 | - 21,8 | - 15,9 | - 5,9 |
| U_{Δ} | - 11,8 | + 5,4 | - 17,2 | - 3,8 | - 13,4 | U_{Δ} | - 8,3 | + 5,4 | - 13,7 | + 2,7 | - 16,4 |
| U_{xy} | - 3,0 | - 1,2 | - 1,8 | + 2,7 | - 4,5 | U_{xy} | - 5,5 | - 1,2 | - 4,3 | + 2,3 | - 6,6 |

| Estación 99. $\lambda = 109^{\circ}45'$ $R = 5,6$ | | | | | | Estación 100. $\lambda = 139^{\circ}$ $R = 38,4$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | - 4,1 | + 7,9 | - 12,0 | - 3,1 | - 8,9 | U_{xx} | + 1,4 | + 7,9 | - 6,5 | + 2,3 | - 4,2 |
| U_{yy} | - 21,2 | + 1,7 | - 22,9 | - 15,4 | - 7,5 | U_{yy} | - 5,4 | + 1,7 | - 7,1 | - 2,6 | - 4,5 |
| U_{Δ} | + 25,1 | + 5,4 | + 19,7 | + 15,4 | + 4,3 | U_{Δ} | - 1,9 | + 5,4 | - 7,3 | - 2,1 | - 5,2 |
| U_{xy} | - 17,8 | - 1,2 | - 12,6 | - 10,8 | - 1,8 | U_{xy} | - 26,2 | - 1,2 | - 25,0 | - 6,0 | - 19,0 |

| Estación 101. $\lambda = 170^{\circ}$ $R = 98,3$ | | | | | | Estación 102. $\lambda = 164^{\circ}31'$ $R = 45,2$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 7,2 | + 7,9 | - 0,7 | - 5,3 | - 6,0 | U_{xx} | + 12,6 | + 7,9 | + 4,7 | + 12,2 | - 7,5 |
| U_{yy} | + 34,5 | + 1,7 | - 36,2 | - 14,8 | - 21,4 | U_{yy} | - 16,5 | + 1,7 | - 18,2 | - 7,5 | - 10,7 |
| U_{Δ} | - 115,1 | + 5,4 | - 120,5 | - 28,5 | - 92,0 | U_{Δ} | - 25,8 | + 5,4 | - 31,2 | + 7,4 | - 38,6 |
| U_{xy} | - 24,0 | - 1,2 | - 22,8 | - 5,7 | - 17,1 | U_{xy} | - 0,4 | - 1,2 | + 0,8 | + 12,5 | - 11,7 |

| Estación 103. $\lambda = 161^{\circ}30'$ $R = 133,3$ | | | | | | Estación 104. $\lambda = 162^{\circ}30'$ $R = 136,0$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 22,3 | + 7,9 | + 14,4 | + 6,7 | + 7,7 | U_{xx} | + 54,3 | + 7,9 | - 46,4 | + 10,8 | + 35,6 |
| U_{yy} | + 11,3 | + 1,7 | - 13,0 | + 0,5 | - 13,5 | U_{yy} | - 25,8 | + 1,7 | - 27,5 | + 0,6 | - 28,1 |
| U_{Δ} | - 122,4 | + 5,4 | - 127,8 | - 21,1 | - 106,7 | U_{Δ} | - 113,0 | + 5,4 | - 118,4 | - 7,2 | - 111,2 |
| U_{xy} | + 48,0 | - 1,2 | - 46,8 | - 6,8 | - 40,0 | U_{xy} | - 38,8 | - 1,2 | - 37,6 | + 7 | - 39,3 |

| Estación 105. $\lambda = 162^{\circ}15'$ $R = 117,7$ | | | | | | Estación 106. $\lambda = 112^{\circ}15'$ $R = 48,2$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 45,3 | + 7,9 | + 37,4 | + 9,8 | + 27,6 | U_{xx} | - 6,3 | + 7,9 | - 14,2 | - 8,1 | - 6,1 |
| U_{yy} | - 41,4 | + 1,7 | - 43,1 | - 7,9 | - 35,2 | U_{yy} | - 11,3 | + 1,7 | - 14,0 | - 7,5 | - 6,5 |
| U_{Δ} | - 103,2 | + 5,4 | - 108,6 | - 12,7 | - 95,9 | U_{Δ} | - 12,2 | + 5,4 | - 17,6 | - 61,1 | + 43,5 |
| U_{xy} | - 35,4 | - 1,2 | - 34,2 | 0 | - 34,2 | U_{xy} | - 22,4 | - 1,2 | - 21,2 | - 10,8 | + 10,4 |

| Estación 107. $\lambda = 141^{\circ}$ $R = 91,9$ | | | | | | Estación 108. $\lambda = 27^{\circ}00'$ $R = 50,1$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | - 1,2 | + 7,9 | - 9,1 | + 1,9 | - 11,0 | U_{xx} | + 14,2 | + 7,9 | + 6,3 | + 2,7 | + 3,6 |
| U_{yy} | + 1,2 | + 1,7 | - 0,5 | - 0,3 | - 0,2 | U_{yy} | + 31,2 | + 1,7 | + 29,5 | + 8,5 | + 21,0 |
| U_{Δ} | - 23,5 | + 5,4 | - 33,9 | - 15,1 | - 18,8 | U_{Δ} | - 39,9 | + 5,4 | - 45,3 | - 16,0 | - 29,3 |
| U_{xy} | - 66,1 | - 1,2 | - 64,9 | - 20,0 | - 44,9 | U_{xy} | + 15,2 | - 1,2 | + 16,4 | - 3,9 | + 20,3 |

| Estación 109. $\lambda = 128^{\circ}$ $R = 61,3$ | | | | | | Estación 110. $\lambda = 161^{\circ}45'$ $R = 80,4$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | - 8,1 | + 7,9 | - 16,0 | - 0,8 | - 15,2 | U_{xx} | + 5,4 | + 7,9 | - 2,5 | - 3,9 | + 1,4 |
| U_{yy} | - 10,5 | + 1,7 | - 12,2 | - 7,8 | - 4,4 | U_{yy} | - 15,5 | + 1,7 | - 17,2 | - 15,7 | - 1,5 |
| U_{Δ} | + 23,9 | + 5,4 | + 18,5 | + 3,6 | + 14,9 | U_{Δ} | - 60,0 | + 5,4 | - 65,4 | - 0,8 | - 64,6 |
| U_{xy} | - 30,0 | - 1,2 | - 28,2 | + 0,9 | - 29,7 | U_{xy} | - 25,0 | - 1,2 | - 23,8 | 0 | - 23,8 |

| Estación 111. $\lambda = 134^{\circ}45'$ $R = 164,0$ | | | | | | Estación 112. $\lambda = 149^{\circ}$ $R = 109,4$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 45,2 | + 7,9 | + 37,3 | + 8,1 | + 29,2 | U_{xx} | + 31,0 | + 7,9 | + 23,1 | + 8,7 | + 24,4 |
| U_{yy} | - 36,3 | + 1,7 | - 38,0 | + 1,3 | - 39,3 | U_{yy} | - 18,3 | + 1,7 | + 20,0 | - 4,4 | - 15,6 |
| U_{Δ} | + 9,3 | + 5,4 | + 3,9 | + 3,4 | + 0,5 | U_{Δ} | - 44,3 | + 5,4 | - 49,7 | + 2,4 | - 52,1 |
| U_{xy} | - 84,0 | - 1,2 | - 82,8 | - 0,8 | - 82,0 | U_{xy} | - 48,5 | - 1,2 | - 47,3 | + 0,9 | - 48,2 |

| Estación 113. $\lambda = 172^{\circ}20'$ $R = 63,1$ | | | | | | Estación 114. $\lambda = 80^{\circ}$ $R = 24,8$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | - 8,6 | + 7,9 | - 16,5 | + 0,1 | - 16,6 | U_{xx} | + 8,5 | + 7,9 | + 0,6 | + 6,0 | - 5,4 |
| U_{yy} | - 17,2 | + 1,7 | - 15,5 | - 7,7 | - 7,8 | U_{yy} | - 27,9 | + 1,7 | - 29,6 | - 15,3 | - 14,3 |
| U_{Δ} | - 82,5 | + 5,4 | - 87,9 | - 27,2 | - 60,7 | U_{Δ} | - 42,4 | + 5,4 | - 37,0 | + 14,7 | + 23,3 |
| U_{xy} | - 24,7 | + 1,2 | - 23,5 | - 15,1 | - 8,4 | U_{xy} | - 1,3 | - 1,2 | - 0,1 | - 4,3 | + 4,2 |

§ 63. La interpretación geológica de los resultados obtenidos.

Perfil I. Torrejón de Ardoz-Torrelaguna.— Todos los gradientes de la parte Sur del perfil desde Torrejón de Ardoz a Algete, están dirigidos hacia el Sureste. Sólo se exceptúa el de la estación número 50, a causa de la perturbación local producida por la topografía del lugar.

Desde Fuente el Saz a Valdetorres giran unos 45 grados, para quedar orientados hacia el Este. Poco después de este pueblo, se acentúa más el giro, llegan a la dirección Norte y aun la pasan hacia el Oeste, cerca de Torrelaguna.

Si consideramos su magnitud podemos observar que en la estación 29, al Norte de Valdetorres, el gradiente tiene el valor mínimo de todo el perfil y que a uno y otro lado de aquella aumentan hacia los extremos.

Estas son las condiciones, que con arreglo a la teoría de la interpretación de los gradientes, expuesta en mi

obra «Los Métodos Geofísicos de Prospección», nos indican la existencia de un sinclinal, cuyo eje pasa por las cercanías de la estación 29 y está orientado del Noreste al Suroeste.

En la misma teoría demostramos que el término de curvatura, correspondiente al eje del sinclinal, tiene el valor máximo y coincide con él en dirección, como efectivamente sucede en la estación mencionada.

Los términos de curvatura están siempre más afectados que los gradientes por las perturbaciones producidas por las irregularidades del terreno, por lo que tienen menos peso que aquéllos en la interpretación.

La diferente magnitud de los gradientes, al Norte y al Sur de Valdetorres, nos demuestra que el flanco Oeste del sinclinal tiene una fuerte pendiente, y que, por el contrario, el Este constituye una ladera de gran extensión y suave declive.

Perfil II. Madrid-El Molar.—Desde su origen, en la estación 95 a la 20, situada al Norte de Alcobendas, los gradientes se dirigen al Sureste. En la 19 ya se dirigen hacia el Este, aunque se manifiesta aun la tendencia anterior, hasta la estación 69, en la que gira 180° para quedar dirigido en la dirección opuesta.

Desde ella en adelante todos los medidos van en la dirección Noroeste. Respecto a su magnitud observamos que el valor mínimo corresponde a la estación 19, pero como la dirección de los de las estaciones anteriores y posteriores no cambia en ella, este punto no corresponde al eje del sinclinal, que también indica el perfil.

El cambio de dirección se verifica entre las estaciones 68 y 69, y hemos de hacer notar que tanto este último gradiente como los siguientes están influidos por las masas más densas que afloran en los bordes de la cuenca.

Esta influencia debe llegar aun a la estación 68 y mucho más atenuada a la 67, que quizás tenga ya su verdadero valor. Si así sucede, la 68 debe tener un valor menor que el que hemos obtenido y entonces reúne las condiciones necesarias para indicarnos el paso del eje del sinclinal.

También en el perfil II, los gradientes del flanco Norte del sinclinal son mucho mayores que los del Sur y nos comprueban la consecuencia deducida del perfil I.

Perfil III. Madrid-Colmenar Viejo.—Si prescindimos de la estación 84, afectada por una perturbación local, los gradientes de las 85, 86 y 87, manifiestan la misma tendencia de los de la parte Sur de los perfiles anteriores.

A partir de la última, que tiene el valor mínimo, giran rápidamente hacia el NO., después de pasar por el Norte. La estación 92, situada al poniente de Colmenar Viejo, presenta una anomalía que creemos debida a la acción perturbadora de los accidentes topográficos locales.

La estación 87 nos indica, sin duda alguna, la intersección del perfil con el eje del sinclinal cretáceo, oculto bajo los sedimentos terciarios.

Los términos de curvatura están de acuerdo, en general, con la interpretación geológica que damos a las mediciones; pero no debe olvidarse que en un trabajo de tanta extensión como el presente, efectuado en un terreno que no puede considerarse como llano, desde el punto de vista topográfico, ni aun los gradientes tendrán las magnitudes y direcciones precisas, que corresponden al sinclinal teórico que nos sirvió para deducirlas.

Perfil IV. Madrid-Galapagar.—Por primera vez obtenemos gradientes, dirigidos al Sur, en la primera parte del perfil. En la estación 99 ya se aprecia la componente Oeste, que continúa hasta la estación 103, en la que co-

mienza la tendencia Norte. Esto nos demuestra que la cuenca cretácea está completamente cerrada en forma de una cubeta alargada.

El eje de la cubeta corresponde a la estación 100, cuyo valor es el mismo.

Perfil V. Madrid-Valdemorillo.—Este perfil comprueba las indicaciones del anterior, y la dirección variable de los gradientes de su parte media nos indica las irregularidades del borde de la cubeta subterránea.

Perfiles de enlace de los principales.—Todas las estaciones intermedias, efectuadas entre los perfiles principales, están de acuerdo con las indicaciones que éstos nos han suministrado, salvo algunas anomalías cuya causa local es casi siempre apreciable.

§ 64. Líneas isógamas.— Por el procedimiento expuesto en mi, tantas veces citada, obra «Los Métodos Geofísicos de Prospección» se han calculado y dibujado las líneas isógamas en unidades 10.⁻³ C. G. S.

Su trazado nos suministra una idea esquemática del relieve subterráneo del Cretáceo. Su profundidad máxima pasa de 1.800 metros, según ha resultado de un estudio sísmico efectuado posteriormente.

§ 65. Conclusiones.— La investigación gravimétrica efectuada ha resuelto el problema propuesto. La ciudad de Alcalá de Henares no se encuentra en el centro de la cubeta cretácea, como se creyó en un principio, sino en su flanco Sureste y cerca de su borde.

Es posible encontrar agua artesiana en el sondeo empezado en Alcalá de Henares, antes de efectuar este trabajo.

Los lugares más indicados para perforar pozos artesia-

nos son los que coinciden con la zona del eje de la cubeta cretácea.

La prosecución del sondeo de Alcalá de Henares ha comprobado nuestra hipótesis, al cortar varios niveles acuíferos artesianos. Desgraciadamente las aguas eran de mala calidad, por la gran cantidad de sales que tenían en disolución.

En la zona de El Pardo, situada entre los perfiles III y IV, en el eje de la cubeta, se han perforado, con éxito, varios pozos artesianos.

CAPÍTULO XIV

LA INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA ZONA PETROLÍFERA DE GARRUCHA (ALMERÍA)

§ 66. Prólogo.

Consideraciones sobre el origen y la existencia del petróleo en España.—Desde la segunda mitad del siglo pasado se han advertido en España múltiples manifestaciones petrolíferas, principalmente en las provincias de Cádiz y Sevilla.

En las minas de azufre de Conil las aguas extraídas al profundizar un pozo, contenían gotas de petróleo; lo mismo sucedió en otro que se practicaba en el balneario de aguas sulfurosas de San Telmo, cerca de Jerez de la Frontera. En el cortijo de Santo Domingo, de la misma localidad, se observó el desprendimiento de gases combustibles en una fuente salada. Al ensanchar el canal de desagüe de un molino, en Villamartín, aparecieron unas calizas cavernosas con petróleo y ozoquerita. En Lebrija, en la zona de las marismas del Guadalquivir, se observó la presencia de gases hidrocarbureados en la fuente salada de Pambanco, etc.

Todas estas manifestaciones hicieron suponer la existencia de una zona petrolífera extensa, de la cual depen-

dían todas ellas. Esta zona fue estudiada muy detenidamente por mi compañero Sr. Gavala, en nombre del Instituto Geológico de España, que demostró que el yacimiento primario de petróleo en la provincia de Cádiz está situado en las arcillas salíferas del Triásico, en forma de masas lenticulares de poca potencia y de escasa extensión; que la impregnación de estas arcillas pueden considerarse como accidente de carácter local y que son siempre de escasa importancia.

Esta escasez de petróleo en los yacimientos primarios produce, como consecuencia, una gran pobreza en los yacimientos secundarios que pudieran existir.

Casi simultáneamente, el geólogo M. Choffat, efectuó un estudio en la Extremadura portuguesa, donde se apreciaban manifestaciones petrolíferas análogas a las mencionadas, llegando a las mismas conclusiones.

En el Norte de España se han observado indicios petrolíferos en las provincias de Burgos, Soria y Santander. En la mayoría de los casos estos indicios son impregnaciones bituminosas de las areniscas aptienses y desprendimiento de gases combustibles en algunas calizas. Para estudiar el problema concienzudamente, el Instituto Geológico y Minero de España ha efectuado investigaciones geofísicas, bajo mi inspección inmediata, en Burgo de Osma y Basconcillos del Tozo y hemos llegado a las conclusiones que eran de temer. Las cúpulas anticlinales están cortadas por fallas, que han servido a los hidrocarburos de camino para salir hasta el exterior, dejando como testigos de esta salida los betunes y ozoqueritas procedentes de su oxidación.

Aun quedan algunos lugares por explorar, como el de Garrucha, donde se puede recoger diariamente una pequeña cantidad de petróleo bruto, que sobrenada en el

agua de dos pozos practicados en el casco de la población.

La Dirección del Instituto Geológico y Minero de España, sin omitir medio ni esfuerzo que tienda a resolver este problema, me honró con el encargo de estudiarlo por los métodos geofísicos de prospección que fuesen aplicables para ello, encargo que he procurado cumplir con el mayor celo, ayudado por la valiosa cooperación del material y personal de la Sección de Geofísica de aquél.

Según aclararemos después, la investigación de las zonas petrolíferas queda reducida a determinar la posición de sus cúpulas anticlinales y al estudio de las fracturas que éstas hayan experimentado.

Las planicies que se extienden en las cercanías de Garrucha permiten emplear, con éxito, el método gravimétrico, para determinar la posición de los anticlinales, ocultos bajos los estratos exteriores, por cuya razón le hemos adoptado para efectuar este estudio.

La teoría más generalizada sobre el origen del petróleo (*) admite que éste es debido a la transformación de restos de animales en hidrocarburos, en el lugar mismo de su depósito, llamado yacimiento primario.

Ochsenius ha explicado su formación al estudiar la íntima dependencia que siempre existe entre los depósitos petrolíferos y los yacimientos salinos. Según este autor, las aguas madres que quedan en las lagunas marinas costeras después del depósito del yeso, de la sal y de la anhi-

(*) Conferencia pronunciada en la Universidad de Barcelona, el día 25 de mayo de 1929, ante la Asociación española para el progreso de las Ciencias, por José G. Siñeriz con el título «La prospección del petróleo por los Métodos Geofísicos».

drita, producido por la evaporación del agua, han sido vertidas en el mar bajo la acción de los movimientos del suelo, ocasionando la muerte de grandes masas de animales marinos, cuyos restos quedaron sepultados en las arcillas que aquéllas llevaban en suspensión. Las materias albuminoideas fueron destruidas por la putrefacción, que no pudo impedir el agua salada, y sólo quedaron las materias grasas, fácilmente transformables en hidrocarburos saturados, según han demostrado experimentalmente Engler y Heusler, por la influencia de las presiones ejercidas por los sedimentos que continuaban depositándose.

Los movimientos orogénicos posteriores a la formación del yacimiento primario, han exprimido éste, por decirlo así, y han producido la emigración de los hidrocarburos, por los terrenos permeables o por las grietas de los que no posean esta propiedad. Cuando en este recorrido se ponen en contacto con las aguas aireadas o sulfurosas se oxidan o sulfatan, pierden una parte de los hidrocarburos más ligeros y se transforman en los asfaltos y betunes, que quedan como testigos de la emigración producida. Así se han formado los yacimientos de ozoquerita de Villamartín, los de asfalto de Soria y las areniscas impregnadas de betunes que se encuentran en el Cretáceo medio de las provincias citadas y en las de Burgos y Santander.

Por el contrario, cuando los movimientos orogénicos han puesto en contacto directo la roca madre del petróleo con formaciones arenosas, sin las influencias químicas mencionadas o con cobijaduras de estratos impermeables, éste ha quedado almacenado en ellas, para constituir un yacimiento secundario. A esta categoría pertenecen los que actualmente se explotan en Méjico. Sólo se explota, como excepción, algún yacimiento primario en América del Norte.

El origen del petróleo en Rumanía es distinto (*). Los restos animales y vegetales, que constituyen el *plankton*, enterrados con arenas, arcillas u otros sedimentos, se descomponen bajo el agua, con arreglo al proceso que acabamos de explicar y dan lugar a las rocas bituminosas.

Al ir descendiendo la formación en regiones de mayor temperatura se efectúa una destilación lenta de las rocas bituminosas que da lugar a una mezcla de gas y petróleo, retenida en los espacios huecos de las rocas sabulosas permeables, de los niveles superiores.

Para que el yacimiento secundario pueda conservarse es preciso que esté cubierto por una capa impermeable que impida la pérdida o la transformación del petróleo acumulado.

El agua subterránea interviene muy directamente en la distribución del petróleo en el yacimiento secundario. Como su densidad es superior a la de éste, le obliga a concentrarse en las partes más altas o sea bajo las bóvedas anticlinales.

Puede encontrarse también el petróleo en el fondo de los sinclinales, cuando el yacimiento secundario esté de tal modo protegido por capas impermeables que el agua no pueda penetrar en él. Este rarísimo caso se presenta en la zona petrolífera de Baicoi.

En Méjico existe otra clase de yacimientos secundarios, producidos por los diques eruptivos que interrumpen la estratificación del yacimiento primario. El petróleo asciende por la zona de contacto de la intrusión ígnea con el terreno sedimentario, hasta encontrar una roca permeable donde alojarse o se acumula bajo aquélla, si su inclinación es suficientemente grande para formar una cobijadura.

(*) «Los campos petrolíferos de Alsacia y Rumanía», por el Comité Nacional de Sondeos, tomo I, fascículo 1.º, 1929. Madrid.

También es condición indispensable para la conservación del yacimiento secundario, que en los movimientos orogénicos posteriores a su formación no se hayan producido fracturas, por las que haya sido expelido el petróleo acumulado.

Prescindiendo de los casos excepcionales citados en Rumanía y Méjico, la investigación de las zonas petrolíferas queda reducida a determinar la posición de sus cúpulas anticlinales y al estudio de las fracturas que éstas hayan experimentado, para poder elegir el emplazamiento de los sondeos con probabilidades de éxito. Es decir, que en el día de hoy no existe ningún método que determine el petróleo por sí mismo. Sólo es posible determinar las estructuras donde pueda estar acumulado y, por consiguiente, disminuir en considerable cantidad el número de sondeos inútiles.

En el caso de Garrucha, que vamos a estudiar, el problema queda reducido a la determinación del eje de la estructura anticlinal, constituida por las formaciones geológicas de sus cercanías.

Como base para la elección de las estaciones gravimétricas, que hemos de efectuar con la balanza de torsión, es indispensable efectuar un concienzudo estudio geológico de toda la zona, que resumiremos en los párrafos siguientes.

§ 67. Reseña geográfica y geológica.

a) *Reseña geográfica.*—(Véase la lámina XXXIV). La zona que vamos a investigar, situada en la provincia de Almería, a unos 100 kilómetros al NE. de la capital, comprende una extensión limitada al Norte por el río Antas, al Este por el Mediterráneo, al Sur por el río Aguas y, al Oeste, por una línea ideal que enlaza a los dos ríos y pasa por el kilómetro 3 del ferrocarril minero de Bédar. Su

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
PLANO GEOLÓGICO Y GRAVIMÉTRICO DE GARRUCHA
 Con el croquis de las posiciones de la balanza de torsión

Escala de 1:25.000
 Id. de gradientes 1 m/m. = 2,19-9 C. G. S.
 Id. de curvaturas 1 m/m. = 1,10-9 C. G. S.



© Sondeo (409 m)

- AI Aluvial
- PI Plioceno
- M Mioceno
- N Eoceno
- T Triasico
- E Estrato cristalino
- Rocas hipogénicas modernas
- Ye Canteras de yeso
- ±2° Estratos inclinados
- + id horizontales
- 10 Isógamas en unidades 10⁻⁴ c.g.s

extensión superficial es de 50 kilómetros cuadrados, próximamente. En ella queda incluido todo el término municipal del pueblo de Garrucha, limitado a poco más del casco de la población, y una parte de los de Mojácar, Turre y Vera de Levante, que rodean al primero.

Las vías de comunicación con el resto de la provincia, exceptuando la marítima, consisten en una carretera que pasa por los pueblos de Vera y Cuevas, hasta su empalme, en Huércal-Overa, con la estación del ferrocarril de Murcia a Granada. De esta carretera parten dos ramales. Uno de ellos, que sigue el curso del río Almanzora, establece la comunicación con la estación de Zurgena, y el otro, parte de Cuevas y une el pueblo de Garrucha con la estación de Pulpí, del ferrocarril de Aguilas. Al Suroeste de Garrucha empieza la carretera de Turre, que empalma con la general de Almería a Murcia.

El relieve del suelo se caracteriza por dos clases de accidentes orográficos distintos: una de ellas está relacionada con los fenómenos tectónicos acaecidos en las épocas geológicas pasadas, que orienta sus líneas generales según la marcha de los pliegues del terreno, y la otra corresponde al desgaste natural y persistente originado por los agentes de erosión. A la primera corresponde la sierra Cabrera, punto de conjunción de las de Gata y Alhamilla, con altitudes de 400 y 600 metros sobre el nivel del mar; la de los Filabres, cuyo punto culminante alcanza la altura de 2.080 metros, desde el cual desciende de un modo gradual hacia las inmediaciones de Huércal-Overa, donde se la conoce con la denominación de sierra de la Torre Bayabona, con altitudes que exceden muy poco de los 700 metros.

Después de una pequeña solución de continuidad que coincide con el valle del río Almanzora y alguno de sus

afuentes, continúa con el nombre de sierra Almagrera, tan conocida en la historia de la minería española. Sus altitudes están comprendidas entre 400 y 600 metros.

En concordancia con los fenómenos de plegamiento se alzan también pequeños cerros, que forman los contrafuertes de la sierra Cabrera, en las inmediaciones de Mojácar, y el cordal constituido por los cerros de Tierrarroya, Calvario y otros, en las cercanías de Garrucha, de gran importancia para la investigación emprendida y de los que nos volveremos a ocupar en la reseña geológica.

Las tierras bajas, circundadas por las sierras mencionadas, en forma de arco interrumpido por los valles del Aguas y del Almanzora, constituyen una zona abierta hacia el mar entre la desembocadura de ambos ríos. En ellas se encuentra una serie de montículos, unas veces cónicos y otras en forma de pequeñas lomas y mesetas, con alturas poco superiores a 50 metros, en los más elevados. Con ellos alternan las vegas de los mencionados ríos y la del Antas, que a causa de su gran uniformidad y escasa altitud las convierten en verdaderas planicies.

Desde el punto de vista hidrográfico, la zona que estudiamos, no difiere en nada del resto de la región. La escasez de aguas pluviales imprime al campo un aspecto desolador, en sensible contraste con su excelente calidad para el cultivo, en una gran parte.

Los ríos presentan sus cauces convertidos en sendos pedregales, por donde no discurre superficialmente la menor cantidad de agua en la mayoría de los meses del año. Únicamente circula por el cauce subálveo, en tan pequeña cantidad que no compensa los gastos que originaría su elevación. Todos ellos son de régimen intermitente y de caudal extraordinariamente variable.

Desde otro punto de vista, la región presenta la ventaja

de tener puertos en el Mediterráneo, disfrutar de clima suave en todo tiempo y, por tratarse de región minera, dispone de personal apto para la ejecución de trabajos de esta índole.

b) Reseña geológica.—Para elegir el emplazamiento de las estaciones que vamos a efectuar con la balanza de torsión, es indispensable conocer, con todo detalle, la constitución geológico-tectónica general de la zona, según ya hemos dicho al comenzar este trabajo, que vamos a estudiar en los párrafos siguientes. Primero describiremos las formaciones estratigráficas de los distintos sistemas, empezando por los más antiguos; después nos ocuparemos de las rocas hipogénicas que se presentan en la región, y por último trataremos de reconstituir las líneas generales de los movimientos tectónicos a que ha estado sometida.

ESTRATO CRISTALINO.—Forma la base de toda la serie estratigráfica de la zona y aparece en forma de pequeñas manchas superficiales que asoman a través de las margas y calizas triásicas, tanto en las faldas del cordal próximo a Garrucha, como en su parte más elevada (véase el plano geológico de la lámina XXXIV). También aparece en el camino de Mojácar a Vera, cerca de su encuentro con la carretera de Turre y en algunos puntos más de la zona.

A partir del río Aguas, en dirección a la sierra Cabrera entre Mojácar y la costa, se manifiesta de una manera franca y en extensión considerable.

Su principal roca es el neis micáceo, de color gris oscuro, debido a la abundante cantidad de biotita que contiene. En el contacto con las margas triásicas se vuelve violáceo, influido por ellas y con las que se confunde fácilmente sin un examen riguroso. En los asomos de las faldas

de los cerros próximos a Garrucha, en las cercanías de la mina llamada «El Campo» y en el camino de Mojácar a Vera, aparece una variedad poco estratificada y bastante cuarcífera, en la que no es raro encontrar ejemplares cuajados de granates.

La estructura pizarreña ha permitido fijar, en cierto modo, la orientación, inclinación y buzamiento, como si se tratara de un terreno francamente estratificado. En el plano geológico se indican los lugares donde se han podido efectuar mediciones y los valores obtenidos.

TRIÁSICO.—Este sistema constituye las crestas de los cerros situados al SO. de Garrucha, conocidos con los nombres de Tierrarroya, Calvario y otros, que se alinean en la dirección de Mojácar. Se presenta en manchas aisladas, como ocurre en casi toda la región, a causa de las grandes dislocaciones sufridas y de las fuertes denudaciones posteriores.

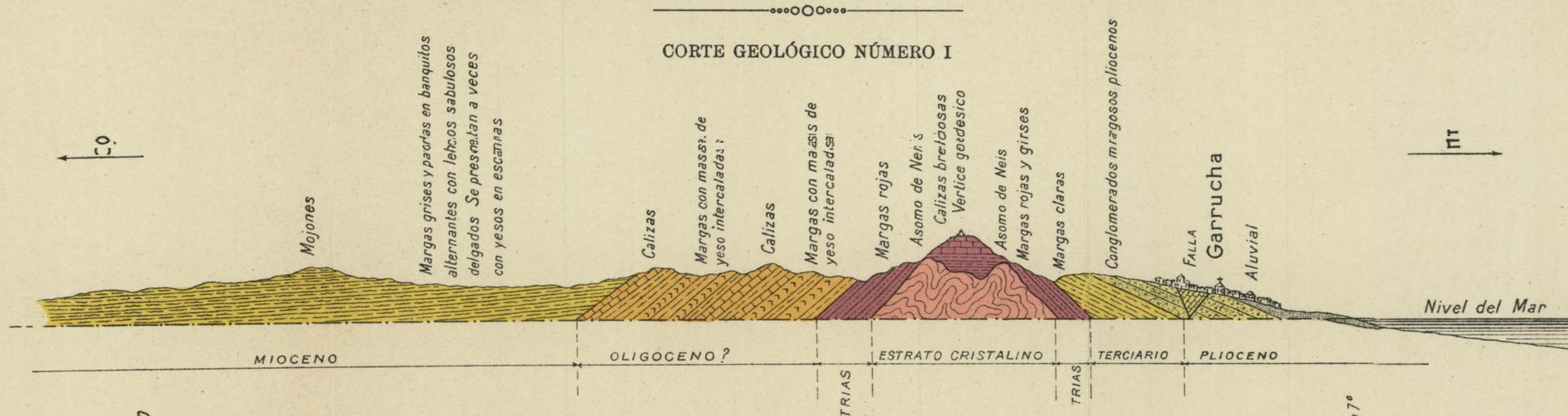
Sus rocas esenciales son las margas de color rojo, gris y violáceo, que constituyen la parte inferior, y las calizas de color oscuro, algo espáticas, de textura grosera y frecuentemente brechosa, que generalmente forman la cobertura del sistema.

Es difícil apreciar la estratificación, en lo que puede llamarse rama oriental del anticlinal de Garrucha, por estar las margas totalmente deshechas y las calizas muy rotas y desmanteladas. Por el contrario, en la rama occidental se presenta suficientemente definida, en muchos lugares, con inclinaciones comprendidas entre 45° y 60° con el horizonte, dirección NE.-SE. y buzamiento al Noroeste.

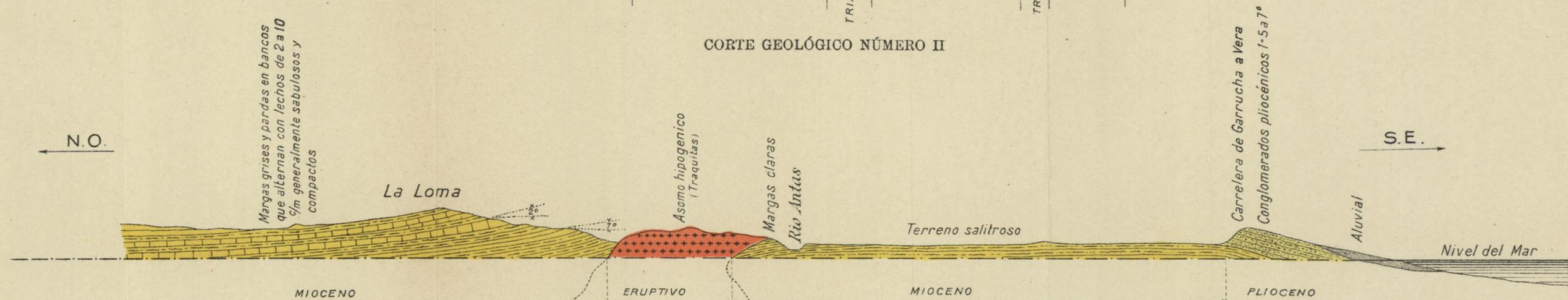
La carencia de fósiles no permite hacer una clasificación correcta para determinar el nivel geológico a que

INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA ZONA PETROLÍFERA DE GARRUCHA

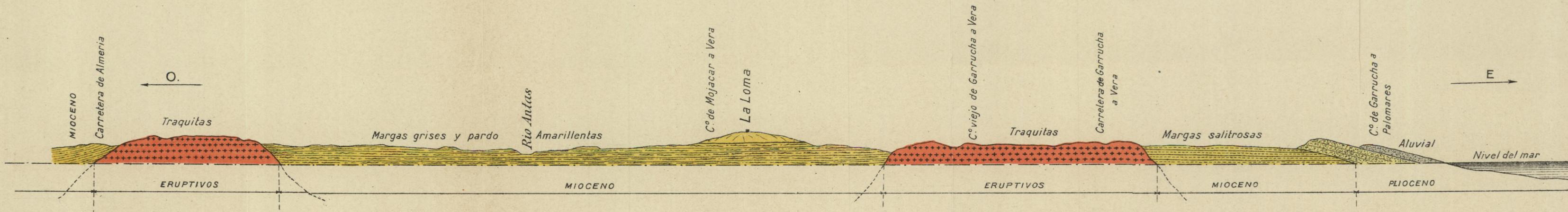
CORTE GEOLÓGICO NÚMERO I



CORTE GEOLÓGICO NÚMERO II



CORTE GEOLÓGICO NÚMERO III



pertenecen; a juzgar por los caracteres litológicos parecen estar representados los tramos superior y medio, correspondiendo las calizas al primero y las arcillas y margas rojas de la parte inferior al segundo.

Las calizas son de textura compacta y constituyen un conglomerado brechoso. Son objeto de una explotación importante para la formación de escolleras en las obras del puerto de Garrucha.

En el horizonte de las arcillas y margas se presentan substituciones ferruginosas, a veces en tal grado, que dieron lugar a algunas explotaciones mineras, de escasa importancia industrial, durante la época de la guerra europea.

OLIGOCENO.— Sobre las capas triásicas del cordal de Tierrarroya (véase el corte geológico número I), lámina XXXV, y con una ligera discordancia de estratificación, no tan pequeña que no se pueda apreciar con seguridad, se encuentra un horizonte constituido por calizas algo sabulosas y margas alternantes, compactas y de color pardo oscuro las primeras, y más claras y blandas las segundas. En las inmediaciones del ferrocarril de Bédar y el camino de Mojácar a Vera se presentan con textura micácea (cipolinos). Entre las margas hay masas importantes de yeso, que dan lugar a explotaciones diversas, no sólo para los usos de la región sino también para la exportación por la vía marítima.

Nos parece inadmisibile incluirle dentro del Trías, aun cuando se encuentran dentro de sus capas margas ferruginosas y ocreas que han sido explotadas al igual que las de la zona triásica, por considerar tal circunstancia puramente accidental y debida a desbordamientos y superposiciones al producirse el accidente tectónico que originó

el plegamiento y rotura de ambos terrenos, volcando trozos del más antiguo sobre el más moderno.

El hecho de haber sido clasificada hasta ahora como eocena toda la zona SO., prolongación aparente de la que nos ocupa, nos inducía a clasificarla como tal en nuestro trabajo; pero el encuentro de una *Ostrea ventilabrun*, Goldfuss (*), que Lamouche incluye en el sannoisiense (Oligoceno inferior), nos hace pensar si se tratará de esta formación (**).

Deshayes clasifica la *Ostrea ventilabrun* como una *Ostrea bellovacina* especial, en cuyo caso había que colocarle en el thanetiense (Eoceno antiguo).

Nosotros creemos, sin embargo, que todas las *Ostreas* del Terciario forman una serie tan estrechamente unida, que las delimitaciones estratigráficas para cada una tienen que tener un cierto grado de indeterminación.

Como en las otras dos manchas de esta formación, que aparecen en el plano geológico que hemos formado, no encontramos ningún otro fósil que sirva para resolver la indeterminación, es preciso esperar a que se realice su estudio de conjunto en toda la provincia para tener base segura donde apoyarse. Mientras tanto, y al solo efecto de facilitar las explicaciones y la rotulación de los dibujos, la incluiremos en el Oligoceno.

MIOCENO.—El sistema Mioceno constituye la casi totalidad de los terrenos de cultivo de la región. Está compuesto de bancos de naturaleza margosa de tonos claros, que

(*) Petrefacta Germaniae. Tomo II, pág. 13, lám. LXXVI, figs. 4 a y 4 b (Gold.).

(**) T. C. Lamouche. 5.º Fascicule, pag. 23, lam. 176.

alternan con lechos sabulosos pardo-amarillentos; aquéllos, ocupan los horizontes bajos y éstos las mesetas, lomas y cerretes, generalmente. Las margas compactas y sabulosas aparecen en la base en forma de estrechas capitas; aumentan su potencia a medida que se eleva el horizonte geológico a que corresponden, pasando gradualmente desde unos cinco centímetros hasta 40 y 50.

El yeso es frecuente dentro del tramo sabuloso, pero no en forma de masas como en el terreno subyacente, sino en el de escamas y vetecillas de muy pequeño espesor.

Salvo los casos de accidentes locales, como sucede en las cercanías de las masas hipogénicas, los estratos aparecen en forma de cuenca muy abierta. Presentan sus bordes, especialmente el oriental, con una pequeña inclinación, que comienza con unos 7º y buzamiento hacia adentro; esta inclinación disminuye gradualmente hasta quedar completamente horizontales en los alrededores de Vera, Turre y el cruce de la carretera general de Almería con el río Antas, que constituyen la parte central. El cerro denominado Espíritu Santo en las proximidades de Vera, el de las inmediaciones de Mojácar y los cortes naturales del río Antas nos comprueban esta disposición.

En las cercanías de las masas hipogénicas (véanse los cortes geológicos II y III), lámina XXXV, por el contrario suelen presentarse inclinados, a veces rotos y trastornados, quizás por hundimientos debidos a la reducción de volumen de dichas masas al enfriarse; y otras afectan la forma de cobijaduras, como si cediesen bajo el peso de la masa lávica rebosante. Tampoco es raro encontrar trozos de capas engastados en la propia roca eruptiva y en gran parte embebidos por el magma, según se puede ob-

servar respectivamente en el cruce de la carretera de Almería con el río Antas; en el badén del kilómetro 5 de la carretera de Garrucha a Vera y en el antiguo camino que comunica estos dos pueblos.

PLIOCENO.—La mancha más notable del mismo corresponde a las inmediaciones de Garrucha, cuyos edificios se levantan sobre él. Forma una faja, en la dirección de la costa, de una anchura aproximada de 100 a 150 metros. Presenta denudados sus extremos y aparece en manchas aisladas en la dirección mencionada.

No es posible apreciar su espesor de un modo exacto, por la falta de cortes naturales; a juzgar por algunos existentes incompletos puede calcularse en unos 20 metros.

Está compuesto de bancos de conglomerado, cuya potencia oscila entre 0,50 y un metro, que alternan con otros de margas, más o menos compactas. Los conglomerados se presentan unas veces compactos y otras incoherentes, pero siempre con inclusiones de trozos de la más variada naturaleza y tamaño. En los compactos se aprecian frecuentemente acumulaciones o nidos de conchas, análogas a las actuales, que forman parte integrante de la roca, que también contiene trozos desgastados de rocas hipogénicas y estratificadas. Su aspecto de conglomerado disminuye de arriba hacia abajo.

La dirección media de sus capas es de Norte a Sur, con pequeñas variaciones al Este y al Oeste. La inclinación está comprendida entre 5 y 7° con el horizonte.

En el camino de Mojácar a Vera, cerca de su intersección con el ferrocarril de Bédar, hemos encontrado un magnífico ejemplar de *Spondylus crassicosta*, Lam., que

según Sacco (*) son muy frecuentes en el plasenciense y en el astiense.

ALUVIAL.—Está representado por el cauce de los ríos y ramblas que, como hemos dicho, aparecen sin agua superficial la mayor parte del año, y por una faja que se extiende a lo largo de la costa, desde las inmediaciones de Mojácar hasta la playa de Palomares.

Su anchura es variable; pero en las cercanías de la citada playa, donde alcanza su mayor amplitud, no excede de 500 metros.

Está compuesto de cantos rodados de tamaño reducido y de naturaleza compleja, entre los que se encuentran trozos de granito, pórfido, traquitas, neis, cuarzo y pizarras de todas clases, así como de gran cantidad de arenas. El conjunto está mezclado con margas y arcillas procedentes de los terrenos próximos. Su espesor es muy reducido.

ROCAS HIPOGÉNICAS.—Las rocas hipogénicas de tipo moderno afloran en nuestra zona, a través de las capas miocenas y están rodeadas por las calizas y margas de este sistema, en forma de isleos. Una de las manchas atraviesa la carretera de Vera a Garrucha, dentro del kilómetro 5, y la otra se encuentra en las inmediaciones del cruce de la carretera general de Almería y el río Antas (véanse el plano geológico y los cortes II y III).

Las rocas que las constituyen son traquitas de color oscuro, casi negro, de aspecto vítreo, con inclusiones calizas a las que se agrega la roca especial llamada *verita*,

(*) Sacco.—«Moluscos del Terciario», tomo XXV, pág. 5, láms. I y II.

que según Mallada (*) es el equivalente posterciario de los lamprófidos olivínicos, tanto por su abundancia de mica cuanto por el aspecto diópsido de su piroxena, aparte de su textura vítreo-porfídica. El análisis químico efectuado por Osann, dió una cantidad de sílice de 56 a 60 %, proporción mayor que la normal de los basaltos feldespáticos y limburgitas, 3 de cal y 8 de magnesia.

En el paraje denominado Micar, situado al Norte del cerro de los Caballones, se está practicando actualmente un pozo para obtener agua potable. Su fondo, situado a la profundidad de unos 10 metros, está constituido por la roca hipogénica mencionada, que no ha podido aflorar a la superficie. Por ser impermeable detiene la filtración de las capas superficiales y permite la acumulación de alguna cantidad de agua, que allí tiene un valor extraordinario por su gran escasez.

TECTÓNICA.—Una vez depositados los sistemas Eoceno y Oligoceno y empezado el Mioceno, se produce la colosal manifestación orogénica conocida con el nombre de elevación alpina, que da origen a la cordillera Penibética.

En nuestra zona, este movimiento orogénico levantó las capas del Estrato cristalino, con todas las demás depositadas sobre él (véase el corte I), para constituir un gran anticlinal del que sólo se conserva una rama, según prueba el plano geológico, por las direcciones de estratificación y sentido del buzamiento señalados en las manchas triásicas, situadas al Norte y al Sur de la carretera de Turre y del río Aguas. Únicamente encontramos un bu-

(*) Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España, tomo I, página 299.

zamiento hacia el SE. en las pizarras del Estrato cristalino, situadas al Este de Mojácar, cerca de la costa, y otro en la región Oeste del mismo pueblo, en el contacto del Triásico con el Oligoceno, del que nos ocuparemos después.

El estudio de las condiciones tectónicas de una región está íntimamente ligado al de su sismicidad. Sieberg ha demostrado que la causa principal de su producción son los empujes y rupturas de los bloques corticales de la zona de fractura de la corteza terrestre, por lo cual, los epicentros se alinean según las trazas superficiales de las dislocaciones.

En el estudio sísmo-tectónico que hemos efectuado de la región meridional de España (*), demostramos la existencia de dos sistemas de líneas de fractura. Uno de ellos, coincide con la directriz del movimiento alpino y el otro es próximamente perpendicular a ella.

Como es de extraordinaria importancia para nuestro trabajo comprobar si en la zona de estudio existe alguna fractura de los sistemas mencionados, hemos hecho un examen minucioso de todos los afloramientos del Estrato cristalino, que nos ha puesto de manifiesto un accidente de esta naturaleza.

En efecto, en la región Moro Manco, encontramos sobre el Estrato cristalino, un potente horizonte triásico, cuyas capas buzaban hacia el Oeste. Después de la llanura miocena El Campo, volvemos a encontrar el mismo horizonte triásico, con un asomo del Estrato cristalino en su parte oriental. Si tenemos en cuenta el sentido del buzamiento

(*) «Estudio de los diversos movimientos tectónicos de la región meridional de España», por José G. Siñeriz.—Boletín del Instituto Geológico y Minero de España, tomo XI, pág. 379.

es imposible que el Estrato cristalino se encuentre en ese lugar, a menos que se trate de una hoja de corrimiento o de una falla. La primera hipótesis no puede realizarse, porque el bloque trasladado tendría que proceder de la zona situada al Este, que es la más elevada geológicamente, y a ello se opone el macizo del Moro Manco. Tiene que tratarse, por consiguiente, de una falla.

Para determinar otro punto de la misma, recorrimos la región situada al Oeste de Mojácar, donde encontramos el buzamiento dirigido al SE. que hemos mencionado. Como algo más al Oeste vuelve a recuperar el sentido primitivo, en ella tiene lugar el paso de la falla, que pertenece, por lo tanto, al primer sistema de líneas sismo-tectónicas.

Terminado el período del movimiento alpino, continúa la sedimentación miocena, con gran regularidad, constituyendo potentes capas horizontales. Sin embargo, los bloques corticales delimitados por las líneas de fractura, no han adquirido la posición de equilibrio isostático y tienden a ella hundiéndose, poco a poco, en el magma fundido de la segunda capa de la corteza terrestre. Este magma es repelido por las líneas de fractura y sale al exterior, según ya hemos explicado. Las manchas hipogénicas tienen que coincidir con las líneas que limitan cada bloque, como se comprueba fácilmente. Su posición de conjunto coincide con las dos direcciones de líneas sismo-tectónicas y en el día de hoy se registran en los observatorios sísmicos de Almería, Málaga y Alicante, constantes movimientos vibratorios, cuyos epicentros coinciden con la situación de aquéllas.

Su edad es anterior al Plioceno, puesto que en el conglomerado de este sistema se observan infinidad de cantos rodados, procedentes de las rocas hipogénicas.

Ya depositado el Plioceno, continúa el movimiento de los bloques costeros y se vuelve a producir otra falla, visible en la carretera de Turre, a las puertas de Garrucha, que nosotros relacionamos con la antigua por creer que no es más que su reproducción superficial, a causa de la menor resistencia a la rotura que presentan los estratos, según aquélla. En el plano geológico se la representa esquemáticamente por un trazo, cuya posición concuerda con la de la falla antigua.

§ 68. La investigación gravimétrica.

a) *Las mediciones gravimétricas.*—El minucioso estudio geológico efectuado, nos ha puesto de manifiesto la estructura tectónica de la región, consistente en un gran anticlinal del que sólo conocemos una parte del flanco Oeste. El opuesto es imposible precisarle, por estar oculto por la sedimentación pliocena o por encontrarse bajo las aguas del mar, ya *in situ*, ya hundido a gran profundidad.

El objeto de la investigación gravimétrica tiene que ser comprobar esta hipótesis para el subsuelo de Garrucha y determinar el lugar más apropiado para los sondeos. También debemos observar un perfil en la dirección perpendicular al eje del anticlinal, para comprobar la continuidad del flanco conocido hasta su límite en aquél.

Con arreglo a este plan es preciso observar dos perfiles gravimétricos, que se indican en el plano adjunto, lámina XXXVI.

Perfil I.—Consta de las estaciones 1 al 8 y de la 25. Las ocho primeras están efectuadas en la planicie que se extiende desde el camino viejo de Garrucha a Vera, hasta el borde del conglomerado plioceno, sobre el que se asienta Garrucha. La última está en la costa.

Perfil II.—En él se incluyen las estaciones comprendidas entre la 9 y la 32, situadas, todas ellas, a lo largo de la costa.

b) *Las condiciones de la observación.*—En todas las estaciones se efectuó la explanación del terreno en un radio de tres metros. Se hicieron ocho nivelaciones radiales a las distancias de 0,6, 1, 1,50, 2 y 3 metros.

Los datos para la corrección topográfica se tomaron a las distancias de 10, 20, 30, 40, 50, 70 y 100 metros.

No se tuvo en cuenta la corrección cartográfica, por no creerla necesaria ni conveniente.

El valor de la densidad superficial del terreno que se ha introducido en las fórmulas se tomó igual a 1,8.

Todas las observaciones se han efectuado con la balanza de torsión modelo Z, de Askania, n.º 603.

c) *Cuadro de los valores numéricos calculados para las magnitudes gravíficas.*—Los cálculos y correcciones se efectuaron con arreglo a las fórmulas expuestas en mi obra (*), hasta obtener los valores que figuran en los cuadros adjuntos. Los valores obtenidos para los gradientes pueden estar afectados de un error de dos a tres unidades Eötvös, en alguna de las estaciones, a causa de la variación brusca de temperatura.

(*) «Los Métodos geofísicos de Prospección», por José G. Siñeriz. Año 1928.

| Estación 1. $\lambda = 135^\circ$ $R = 131,7$ | | | | | | Estación 2. $\lambda = 138^\circ$ $R = 94,7$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravíficas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravíficas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -47,6 | +7,7 | -55,3 | | -55,3 | U_{xx} | -24,5 | +7,7 | 32,2 | | -32,2 |
| U_{yy} | +37,1 | +1,7 | +35,4 | | +34,4 | U_{yy} | +28,5 | +1,7 | +26,8 | | +26,8 |
| U_{Δ} | +2,4 | +6,0 | -3,6 | | -3,6 | U_{Δ} | -4,17 | +6,0 | -10,17 | | -10,17 |
| $2U_{xy}$ | +130,7 | -1,4 | +132,1 | | +132,1 | $2U_{xy}$ | +92,7 | -1,4 | +94,1 | | +94,1 |
| Estación 3. $\lambda = 144^\circ 0'$ $R = 70,2$ | | | | | | Estación 4. $\lambda = 143^\circ 30'$ $R = 65,9$ | | | | | |
| U_{xx} | -39,4 | +7,7 | -41,1 | +3,9 | -51,0 | U_{xx} | -43,07 | +7,7 | -50,8 | +7,8 | -50,6 |
| U_{yy} | +35,0 | +1,7 | +33,3 | -14,2 | +47,5 | U_{yy} | +27,4 | +1,7 | +25,3 | -4,8 | +30,1 |
| U_{Δ} | -15,5 | +6,0 | -21,5 | +0,24 | -21,7 | U_{Δ} | -1,89 | +6,0 | -7,9 | +11,2 | -19,1 |
| $2U_{xy}$ | +71,6 | -1,4 | +73,0 | +6,2 | +66,8 | $2U_{xy}$ | +47,94 | -1,4 | +49,3 | -12,2 | +61,5 |
| Estación 5. $\lambda = 130^\circ 42'$ $R = 38,2$ | | | | | | Estación 6. $\lambda = 128^\circ 50'$ $R = 55,86$ | | | | | |
| U_{xx} | -18,2 | +7,7 | -25,9 | +1,5 | -27,4 | U_{xx} | -10,8 | +7,7 | -18,5 | -0,1 | -18,4 |
| U_{yy} | +14,79 | +1,7 | +13,1 | -4,8 | +17,9 | U_{yy} | +23,8 | +1,7 | +22,1 | -1,26 | +23,36 |
| U_{Δ} | +12,54 | +6,0 | +6,54 | +0,9 | +5,7 | U_{Δ} | -3,3 | +6,0 | -9,3 | -2,12 | +11,9 |
| $2U_{xy}$ | +32,2 | -1,4 | +33,7 | -4,1 | +37,8 | $2U_{xy}$ | +40,7 | -1,4 | +42,1 | -12,5 | +54,6 |
| Estación 7. $\lambda = 124^\circ 55'$ $R = 46,23$ | | | | | | Estación 8. $\lambda = 147^\circ 1'$ $R = 48,4$ | | | | | |
| U_{xx} | -10,4 | +7,7 | -18,1 | | -18,1 | U_{xx} | -34,7 | +7,7 | -42,4 | | -42,4 |
| U_{yy} | +15,9 | +1,7 | +14,2 | | +14,2 | U_{yy} | +45,4 | +1,7 | +43,7 | | +43,7 |
| U_{Δ} | -9,9 | +6,0 | +15,9 | | +15,9 | U_{Δ} | -14,0 | +6,0 | -20,0 | | -20,0 |
| $2U_{xy}$ | +42,0 | -1,4 | +43,4 | | +43,4 | $2U_{xy}$ | +42,7 | -1,4 | +44,1 | | +44,1 |

| Estación 9. $\lambda = 130^{\circ}35'$ $R = 117,6$ | | | | | | Estación 10. $\lambda = 134^{\circ}42'$ $R = 125,3$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -14,77 | +7,7 | -22,5 | | -22,5 | U_{xx} | -25,6 | +7,7 | -33,3 | | -33,3 |
| U_{yz} | -1,1 | +1,7 | -2,8 | | -2,8 | U_{yz} | +11,2 | +1,7 | +9,5 | | +9,5 |
| U_{Δ} | +23,9 | +6,0 | +17,9 | | +17,9 | U_{Δ} | +7,3 | +6,0 | +1,3 | | +1,3 |
| $2U_{xy}$ | +11,49 | -1,4 | +116,3 | | +116,3 | $2U_{xy}$ | +124,1 | -1,4 | +125,5 | | +125,5 |

| Estación 11. $\lambda = 127^{\circ}93'$ $R = 86,10$ | | | | | | Estación 12. $\lambda = 132^{\circ}51'$ $R = 105,4$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -2,3 | +7,7 | -10,0 | | -10,0 | U_{xx} | +0,4 | +7,7 | -7,3 | | -7,3 |
| U_{yz} | +14,8 | +1,7 | +13,1 | | +13,1 | U_{yz} | +11,5 | +1,7 | +9,8 | | +9,8 |
| U_{Δ} | +27,7 | +6,0 | +21,7 | | +21,7 | U_{Δ} | +13,6 | +6,0 | +7,6 | | +7,6 |
| $2U_{xy}$ | +82,1 | -1,4 | +83,5 | | +83,5 | $2U_{xy}$ | +103,8 | -1,4 | +105,2 | | +105,2 |

| Estación 13. $\lambda =$ $R =$ | | | | | | Estación 14. $\lambda = 132^{\circ}$ $R = 98,5$ | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +5,2 | +7,7 | -2,5 | | -2,5 | U_{xx} | -11,9 | +7,7 | -19,6 | | -19,6 |
| U_{yz} | -6,1 | +1,7 | -7,8 | | -7,8 | U_{yz} | +15,5 | +1,7 | +13,8 | | +13,8 |
| U_{Δ} | +24,6 | +6,0 | +18,6 | | +18,6 | U_{Δ} | +16,3 | +6,0 | +10,3 | | +10,3 |
| $2U_{xy}$ | +83,4 | -1,4 | +84,8 | | +84,8 | $2U_{xy}$ | +96,6 | -1,4 | +98,0 | | +98,0 |

| Estación 15. $\lambda = 139^{\circ}$ $R = 112,7$ | | | | | | Estación 16. $\lambda = 148^{\circ}$ $R = 171,5$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -0,45 | +7,7 | -8,2 | -0,2 | -8,0 | U_{xx} | +7,3 | +7,7 | -0,4 | +3,4 | -3,8 |
| U_{yz} | +18,0 | +1,7 | +16,3 | +4,2 | +12,1 | U_{yz} | +4,0 | +1,7 | +2,3 | -4,7 | +7,0 |
| U_{Δ} | +9,9 | +6,0 | +3,9 | +18,0 | -14,0 | U_{Δ} | +43,6 | +6,0 | +49,6 | +27,4 | -77,0 |
| $2U_{xy}$ | +138,0 | -1,4 | +139,4 | +27,0 | +112,0 | U_{xy} | +171,4 | -1,4 | +172,8 | +19,6 | +153,2 |

| Estación 17. $\lambda = 169^{\circ}$ $R = 168,0$ | | | | | | Estación 18. $\lambda = 157^{\circ}10'$ $R = 102$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -28,7 | +7,7 | -36,4 | +7,1 | -43,5 | U_{xx} | +0,6 | +7,7 | -7,1 | +12,1 | -19,2 |
| U_{yz} | -10,1 | +1,7 | -11,8 | -29,0 | +17,2 | U_{yz} | -30,6 | +1,7 | -32,3 | -5,2 | -27,1 |
| U_{Δ} | -58,5 | +6,0 | -64,5 | +92,6 | -157,1 | U_{Δ} | -64,9 | +6,0 | -70,9 | +0,81 | -71,7 |
| $2U_{xy}$ | +99,8 | -2,8 | +102,6 | +42,2 | +60,4 | U_{xy} | +14,8 | -1,4 | +16,2 | -20,5 | +36,7 |

| Estación 19. $\lambda = 162^{\circ}24'$ $R = 55$ | | | | | | Estación 20. $\lambda = 162^{\circ}4'$ $R = 72$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -3,4 | +7,7 | -11,1 | +10,2 | -21,3 | U_{xx} | +29,9 | +7,7 | +22,2 | | +22,2 |
| U_{yz} | -42,5 | +1,7 | -44,2 | -47,25 | -3,0 | U_{yz} | -15,1 | +1,7 | -16,8 | | -16,8 |
| U_{Δ} | -51,8 | +6,0 | -57,8 | -9,27 | -48,5 | U_{Δ} | -52,4 | +6,0 | -58,4 | | -58,4 |
| U_{xy} | +14,3 | -1,4 | +15,7 | +3,2 | +12,5 | U_{xy} | +19,7 | -1,4 | +21,1 | | +21,1 |

| Estación 21. $\lambda = 130^{\circ}27'$ $R = 105$ | | | | | | Estación 22. $\lambda = 127^{\circ}18'$ $R = 95$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +27,3 | +7,7 | +19,6 | +19,6 | 0 | U_{xx} | +1,8 | +7,7 | -5,9 | +0,8 | -6,7 |
| U_{yz} | -17,7 | +1,7 | -19,4 | -13,8 | -5,6 | U_{yz} | -22,7 | +1,7 | -24,4 | -4,2 | -20,2 |
| U_{Δ} | +19,3 | +6,0 | +13,3 | -4,0 | +17,3 | U_{Δ} | +25,4 | +6,0 | +19,4 | -7,7 | +27,1 |
| U_{xy} | +52,2 | -1,4 | +53,6 | +2,2 | +51,4 | U_{xy} | +36,5 | -1,4 | +37,9 | -7,5 | +45,4 |

| Estación 23. $\lambda = 133^{\circ}52'$ $R = 161,6$ | | | | | | Estación 24. $\lambda = 123^{\circ}47'$ $R = 90$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +3,6 | +7,7 | -4,1 | +0,6 | -4,7 | U_{xx} | +11,2 | +7,7 | +5,5 | +3,24 | +0,3 |
| U_{yz} | -4,7 | +1,7 | -6,4 | -1,5 | -4,9 | U_{yz} | +8,6 | +1,7 | +6,9 | -1,17 | +8,1 |
| U_{Δ} | -3,4 | +6,0 | -2,6 | -9,0 | +6,4 | U_{Δ} | +31,9 | +6,0 | +25,9 | -8,4 | +34,3 |
| U_{xy} | +645,0 | -1,4 | +63,1 | -30,9 | +93,9 | $2U_{xy}$ | +90,6 | -2,8 | +93,4 | +10,3 | +83,1 |

| Estación 25. $\lambda = 139^{\circ}37'$ $R = 82,6$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +11,6 | +7,7 | + 3,9 | 0 | + 3,9 |
| U_{yy} | + 6,5 | +1,7 | + 4,8 | + 3,8 | + 1,0 |
| U_{Δ} | + 2,7 | +6,0 | - 3,7 | + 7,9 | -11,6 |
| $2U_{xy}$ | +99,8 | -2,8 | +102,6 | +20,8 | + 8,18 |

| Estación 26. $\lambda = 150^{\circ}26'$ $R = 112$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 7,7 | +7,7 | 0 | + 1,4 | - 1,4 |
| U_{yy} | - 3,2 | +1,7 | - 4,9 | -20,4 | - 2,5 |
| U_{Δ} | - 17,9 | +6,0 | - 23,9 | -34,1 | -51,0 |
| U_{xy} | +114,9 | -2,8 | +117,7 | +20,7 | +97,0 |

| Estación 27. $\lambda = 137^{\circ}55'$ $R = 96$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 2,0 | +7,7 | - 5,7 | - 1,5 | - 4,2 |
| U_{yy} | + 8,0 | +1,7 | + 6,3 | - 0,5 | + 6,8 |
| U_{Δ} | +10,0 | +6,0 | + 4,0 | +13,5 | - 9,5 |
| U_{xy} | +54,0 | -1,4 | + 55,4 | + 7,7 | +47,7 |

| Estación 28. $\lambda = 131^{\circ}18'$ $R = 99$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 5,2 | + 7,7 | - 2,5 | - 1,3 | - 1,2 |
| U_{yy} | - 6,8 | + 1,7 | - 8,5 | + 1,3 | - 9,8 |
| U_{Δ} | +19,4 | + 6,0 | +13,4 | + 1,8 | +11,6 |
| U_{xy} | +54,3 | - 1,4 | +55,7 | + 5,5 | + 6,2 |

| Estación 29. $\lambda = 129^{\circ}45'$ $R = 116$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | + 7,9 | +7,7 | + 0,12 | + 4,8 | - 4,6 |
| U_{yy} | - 6,5 | +1,7 | - 8,2 | - 8,1 | - 0,1 |
| U_{Δ} | +24,3 | +6,0 | +18,3 | - 3,8 | +20,1 |
| U_{xy} | +55,2 | -1,4 | +56,6 | + 0,3 | +56,3 |

| Estación 30. $\lambda = 128^{\circ}17'$ $R = 107$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +10,8 | + 7,7 | + 3,1 | + 3,4 | - 0,3 |
| U_{yy} | +16,6 | + 1,7 | +14,9 | - 3,3 | +18,2 |
| U_{Δ} | +19,0 | + 6,0 | +13,7 | -11,1 | +24,8 |
| U_{xy} | +53,5 | - 1,4 | +54,9 | + 3,2 | +51,7 |

| Estación 31. $\lambda = 136^{\circ}43'$ $R = 87,5$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | - 0,4 | +7,7 | - 8,1 | + 4,2 | -12,3 |
| U_{yy} | + 5,7 | +1,7 | + 4,0 | - 5,0 | + 9,0 |
| U_{Δ} | - 2,3 | +6,0 | - 8,3 | - 3,6 | - 4,7 |
| U_{xy} | +32,8 | -1,4 | + 34,2 | - 8,4 | +42,6 |

| Estación 32. $\lambda = 150^{\circ}43'$ $R = 157$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -21,4 | + 7,7 | -29,1 | + 3,4 | -32,5 |
| U_{yy} | -11,9 | + 1,7 | -13,6 | - 7,7 | - 5,9 |
| U_{Δ} | -48,2 | + 6,0 | -54,2 | +28,1 | -82,3 |
| U_{xy} | +93,0 | - 1,4 | +94,4 | +27,3 | +67,1 |

§ 69. La interpretación de las mediciones gravimétricas.—Si tenemos en cuenta el gran valor de la densidad correspondiente al Estrato cristalino, que alcanza el valor de 2,7, comparado con la de los terrenos sedimentarios superiores, que no pasa de 2, debemos esperar que la influencia de aquél sobre las magnitudes gravífticas sea muy superior a la de éstos y por consiguiente se referirán al mismo todas las conclusiones que podamos deducir de ellos.

Perfil I.—Los gradientes de las estaciones 8, 4 y 3 son próximamente iguales y están dirigidos en el mismo sentido; lo que nos prueba el aumento gradual y constante de la gravedad en su dirección o sea un acercamiento a la superficie del *substratum* más denso, que, en este caso, está constituido por el Estrato cristalino. Los términos de curvatura están de acuerdo con la interpretación anterior y además nos indican una estructura geológica anticlinal, sin que la posición de las estaciones haya alcanzado la línea de inflexión de la superficie de nivel.

En la estación 2, el gradiente experimenta una reducción de unas cinco unidades 10^{-9} C. G. S. sin variar de dirección respecto a los anteriores, lo mismo que su término de curvatura. La disminución del gradiente puede estar originada por haber disminuído también el ángulo de inclinación de la superficie del subsuelo.

El gradiente de la estación 1 vuelve a recuperar el valor normal, de modo que la ladera subterránea, constituida por el Estrato cristalino, sigue acercándose a la superficie. Su término de curvatura es mayor que los anteriores, que crecen progresivamente, como debe suceder en esta clase de estructuras.

Por no ser posible estacionar la balanza entre las estaciones 1 y 25, fué preciso situarla directamente en la últi-

ma citada. En ella nos encontramos con un gradiente casi nulo y un término de curvatura del sentido de los anteriores. Por la primera causa podríamos pensar que la estación 25 estaba colocada en un anticlinal topográfico (culata) de las pizarras antiguas, ocultas bajo los sedimentos modernos; pero la segunda se opone a ello. El término de curvatura tendría que tener una dirección perpendicular a la dibujada. Es preciso, por consiguiente, efectuar más estaciones para poder aclarar este punto.

Perfil II.—Las efectuadas después, con los números 28, 24, 29, 23 y 21, corresponden a gradientes muy pequeños, cuya dirección es variable puesto que a causa de su insignificante magnitud está influida por la constitución topográfica superficial. Los términos de curvatura continúan paralelos al de la estación 25, con la que se encuentran en el mismo caso.

No sucede lo mismo con las 30, 31 y 32. La 31 tiene la dirección normal, aunque sea de pequeña magnitud; pero la 22 es perpendicular a ella y casi opuesta a la 30. Las dos últimas determinan una estructura sinclinal, cuyo eje corresponde a los valores pequeños anteriores y está dirigido perpendicularmente a todos los términos de curvatura. Creemos que cerca de la estación 21 nace una gran barrancada en la montaña subterránea, señalada con seguridad en el trazado de las isógamas, que después mencionaremos, y pasada ésta continúa la ladera ascendente más allá de la línea de la costa.

Las estaciones observadas a partir de la 25, en la dirección Norte, o sean las 26, 27, 16, 15, 14, 13, 12 y 11, nos comprueban la hipótesis emitida en el párrafo anterior. El cambio de dirección de la 13 no tiene importancia por su pequeña magnitud, toda vez que los términos de curvatura continúan con la misma regularidad.

Los gradientes de las estaciones 9 y 10 parecen indicarnos un ligero cambio de la dirección de máxima pendiente subterránea, respecto a la del perfil *I*.

Por último nos ocuparemos de la estación 32 y de las efectuadas al Sur de Garrucha. Los términos de curvatura de todas ellas han sufrido un giro angular de unos 45° hacia el Oeste, que debe corresponderse con el experimentado por la línea de máxima pendiente del subsuelo. Todos los gradientes, a excepción del 20, están dirigidos hacia el Sur, en cuya dirección tiene que aumentar el valor de g , con más rapidez que la correspondiente al perfil *I*. De modo que en la dirección Norte-Sur, el *substratum* se aproxima a la superficie con mayor pendiente que en la Noroeste-Sureste.

La anomalía que se presenta en el gradiente de la estación 20 no podemos explicarla. Quizás esté originada por la corrección topográfica, casi imposible de efectuar por su situación en un campo de fútbol, y también puede ser debida al accidente tectónico, constituido por la falla descrita anteriormente.

Líneas isógamas.—Con los valores de los gradientes correspondientes a cada dos estaciones se han calculado los incrementos $\pm \Delta g$, que según hemos explicado en «Los Métodos Geofísicos de Prospección», son iguales a las semisumas de las proyecciones de aquéllos en la recta que los une, multiplicada por la distancia que los separa expresada en centímetros. Si partimos de un valor conocido de g y le sumamos los incrementos calculados, obtendremos los correspondientes a todas las estaciones.

Como sólo nos interesan los valores relativos podemos partir de un valor arbitrario cualquiera. Para mayor claridad hemos supuesto igual a cero el valor de g de la es-

tación 8 y se han calculado los de todas las demás a partir de ella en unidades del orden 10^{-4} trazando las curvas, para una variación de 5. Desde luego se comprenderá que la única curva que se puede trazar con aproximación es la de la costa, donde hay un gran número de estaciones. Las demás se supone lleven una marcha análoga, lo que tiene poca importancia para la interpretación de la tectónica subterránea.

Los valores obtenidos para g han sido los siguientes:

| | |
|-------------------|-------------------|
| $g_1 = 0,0015$ | $g_{17} = 0,0046$ |
| $g_2 = 0,0011$ | $g_{18} = 0,0044$ |
| $g_3 = 0,0008$ | $g_{19} = 0,0043$ |
| $g_4 = 0,0004$ | $g_{20} = 0,0043$ |
| $g_5 = 0,0001$ | $g_{21} = 0,0017$ |
| $g_6 = 0,0003$ | $g_{22} = 0,0017$ |
| $g_7 = 0,0002$ | $g_{23} = 0,0017$ |
| $g_8 = 0,0000$ | $g_{24} = 0,0017$ |
| $g_9 = 0,0015$ | $g_{25} = 0,0017$ |
| $g_{10} = 0,0014$ | $g_{26} = 0,0017$ |
| $g_{11} = 0,0016$ | $g_{27} = 0,0017$ |
| $g_{12} = 0,0016$ | $g_{28} = 0,0017$ |
| $g_{13} = 0,0016$ | $g_{29} = 0,0017$ |
| $g_{14} = 0,0017$ | $g_{30} = 0,0017$ |
| $g_{15} = 0,0017$ | $g_{31} = 0,0017$ |
| $g_{16} = 0,0017$ | $g_{32} = 0,0018$ |

Las curvas isógamas nos manifiestan claramente la forma topográfica de la superficie del *substratum*, constituido por las pizarras metamórficas. A lo largo del perfil *I* existe una ladera ascendente hacia la costa, surcada por un gran barranco, que empieza al Norte de Garrucha y sigue la dirección de ella. Pasado este barranco continúa

la subida de la ladera, cuya línea de máxima pendiente ha girado hacia el Oeste unos 45° .

Las curvas de esta región no pueden enlazar con las de la del río Antas, por la gran diferencia existente entre sus valores. Es necesario que en un cierto lugar del mar tengan que dar la vuelta hacia atrás al llegar a la parte más alta del Estrato cristalino, que será el eje del anticlinal o el borde del hundimiento de su flanco Este.

§ 70. Conclusiones.

Origen del petróleo en Garrucha.—El petróleo existente en el subsuelo de Garrucha creemos que no puede proceder del Triás, puesto que el Estrato cristalino aflora en algunos lugares, según hemos visto en la descripción geológica, y en su parte oculta está tan cerca de la superficie, con arreglo a los resultados de la investigación gravimétrica, que lo más probable es que sus rocas hayan estado a la luz del día, después de efectuado el movimiento alpino. En estas condiciones no es posible la conservación del petróleo en los isleos triásicos que las cubrían, análogos a los que hoy existen.

La misma razón puede aplicarse al Terciario antiguo, directamente colocado sobre el Triásico.

Además, el reconocimiento geológico nos ha probado la existencia de una gran falla, que corta todos los sistemas estratigráficos y coincide próximamente con la moderna, visible en el mismo pueblo de Garrucha y que no debe ser más que el rejuvenecimiento de aquélla.

Lo más probable, de acuerdo con las ideas expuestas por el Sr. Sampelayo (*), es que la destilación natural pro-

(*) «Noticia sobre los petróleos de Garrucha (Almería)». Revista Minera n.º 3.248. 16-1-1931.

cede de las capas disodílicas del helveciense inferior y que la roca de contención sea la molasa, colocada sobre ellas, protegida por un horizonte potente de arcillas.

Como la roca que ha formado el yacimiento secundario está a tope con las pizarras del Estrato cristalino que constituyen la ladera subterránea, puesta de manifiesto en la investigación gravimétrica, el petróleo puede emigrar hasta ellas, ya sea por la acción de las aguas, que le obligan a ocupar las partes más altas a causa de su menor densidad cuando las capas miocenas se levantan hacia las mencionadas pizarras, o ya sea por la presión de los gases.

Así han podido formarse cobijaduras de petróleo protegidas por la impermeabilidad de las arcillas miocenas y pliocenas.

El hundimiento del bloque cortical mediterráneo, para aproximarse a la posición de equilibrio isostático, que ha producido la falla post-pliocena anteriormente descrita, ha producido también alguna grieta por la que asciende el agua que arrastra las gotas de petróleo. Los movimientos constantes del citado bloque vuelven a abrir, de vez en cuando, las grietas, que tienden a cerrarse por la naturaleza plástica de las arcillas y así se explica que no sea la primera vez que se observan indicios petrolíferos en los pozos de Garrucha y que éstos desaparezcan.

Importancia del yacimiento.—Con gran sentimiento tenemos que escribir nuestra modesta opinión sobre la importancia del yacimiento petrolífero de Garrucha. Por la enorme trascendencia del problema en la economía nacional hemos efectuado toda la investigación con verdadero entusiasmo, sin reparar en fatigas ni desvelos, siempre con la esperanza de encontrar un yacimiento importante del preciado combustible. Por desgracia la realidad

no ha correspondido a nuestros deseos, y convencidos de ello, debemos afirmar que el mencionado yacimiento es muy difícil que *pueda tener importancia industrial*, a causa de las condiciones de su formación. Los *sapropoles* (cienos orgánicos en descomposición) que han producido la ligera impregnación bituminosa de las capas miocenas no han sido lo suficientemente ricos en materia orgánica para ello.

CAPÍTULO XV

LA INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA Y SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE TAFALLA

§ 71. **Prólogo.**—En mi trabajo anterior hemos expuesto la investigación sísmica efectuada en el anticlinal de Tafalla, con el objeto de conocer la profundidad probable del manto salino, que constituye el horizonte geológico inferior del sistema Oligoceno.

Esta investigación no ha podido precisar la situación exacta del eje del anticlinal, puesto que para ello era necesario el estudio de varios perfiles sísmicos más, paralelos a los observados y a distancia de ellos.

En lugar de seguir este procedimiento, que es muy costoso por el gran gasto de explosivos que necesita, hemos preferido utilizar la balanza de torsión que, además, nos indicará si hay alguna cúpula donde podría existir un yacimiento petrolífero secundario.

Después de conocer por el método gravimétrico la estructura tectónica, favorable a la acumulación de los hidrocarburos, si en ésta existe, nos bastará un perfil sísmico para obtener la profundidad mínima a que se encuentra la sal en la zona.

Por estas razones hemos aplicado los dos métodos de

prospección a la resolución del problema, según explicaremos en los párrafos siguientes.

Prescindimos de la reseña geográfica y geológica de la zona de estudio, por haberla expuesto ya en el trabajo mencionado.

§ 72. Las mediciones gravimétricas.—El trabajo gravimétrico efectuado consta de 41 estaciones, de las que 25 han sido observadas con la balanza de torsión modelo Z. número 603, y el resto con el modelo análogo número 522, divididas en tres grupos: el uno situado en la región de La Laguna, y los otros dos al Este y al Oeste del primero, respectivamente, y a una distancia del mismo de unos dos kilómetros (véase la lámina XXXVI). De esta manera podremos determinar tres puntos del eje del anticlinal y conocer si tiene estructura abovedada en un recorrido de más de cuatro kilómetros.

Debemos hacer notar que en este caso, la dirección de los gradientes, no es hacia el eje del anticlinal, sino la opuesta, a causa de la disminución de la densidad de las capas hacia abajo. Las capas superficiales situadas sobre los yesos, constituidas por margas muy compactas, tienen una densidad superior a la de éstos.

Zona occidental.—El perfil de la zona occidental tiene una longitud de dos kilómetros, contados en la dirección Norte-Sur. Se extiende a lo largo del antiguo camino carretero de Tafalla a Berbinzana, a partir del kilómetro 29 de la carretera actual.

Consta de 15 estaciones, a saber: las números 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14, observadas con la balanza número 603; y las correspondientes a la número 522, que las designaremos por su número de orden seguido de un acento, números 5', 6', 7', 8', 9', 10', 11' y 12'.

La cañada que ha servido para la observación del perfil no reúne todas las condiciones necesarias para evitar las perturbaciones producidas por los cerros próximos, por cuya razón se notará su influencia en algunos de los gradientes y términos de curvatura.

Zona de La Laguna.—El grupo de estaciones de esta zona, situada al Norte del caserío de La Laguna, comprende las efectuadas con la balanza número 603, números 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25, y las observadas con la número 522, números 1', 2', 3' y 4', o sean un total de 19, en terreno de condiciones muy favorables para evitar las perturbaciones locales.

Zona oriental.—Está situada al Oeste de la carretera de Pamplona, en las llanuras comprendidas entre la ermita de San Gregorio y Tafalla.

Consta de siete estaciones, situadas en condiciones topográficas favorables. Las observadas con la balanza número 603 son la 15, 16 y 17, y a la 522 corresponden las 13', 14', 15' y 16'.

Las condiciones de la observación.—Como en todos los trabajos gravimétricos anteriores, se efectuó la explanación del terreno en un círculo de tres metros de radio. En todas las estaciones efectuadas con la balanza número 522, a excepción de la 10' y la 12', el plano del terreno resultó tan exacto que no hubo necesidad de tomar los datos de la nivelación con el reglón, hasta el radio de cinco metros. Lo mismo sucedió con las correspondientes a la número 603, números 17 a 22. La estación 1 se niveló en 16 direcciones radiales, desde cero a tres metros, tan sólo para presentar un ejemplar del cálculo completo de la corrección topográfica.

La nivelación con nivel y mira parlante, necesaria para el cálculo de la acción del terreno, se efectuó a las distan-

cias de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 70 y 100 metros del origen, en ocho direcciones radiales. Sin embargo, en la mayor parte de las estaciones pudo prescindirse de la última, por la horizontalidad de aquél.

El valor medio de la densidad del terreno, que se ha utilizado en las fórmulas, se ha hecho igual a 1,8.

Cuadro de los valores numéricos calculados para las magnitudes, en la investigación del anticlinal de Tafalla.

La aplicación ordenada de las fórmulas correspondientes a las balanzas empleadas, se resume en los cuadros siguientes:

| Estación 1. $\lambda = 179^{\circ}16'$ $R = 70$ | | | | | | Estación 2. $\lambda = 156^{\circ}34'$ $R = 87,7$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravimétricas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -2,9 | 8,1 | -11,0 | 0,8 | -11,8 | U_{xx} | -9,6 | 8,1 | -17,7 | 3,2 | -14,5 |
| U_{yy} | +57,8 | 1,8 | 56,0 | 41,6 | 14,4 | U_{yy} | +20,2 | 1,8 | +18,4 | 6,0 | 12,4 |
| U_{Δ} | -64,0 | 5,6 | -69,6 | 0,5 | -70,1 | U_{Δ} | -59,3 | 5,6 | -64,9 | 4,5 | -60,4 |
| $2U_{xy}$ | -0,7 | -1,2 | 0,5 | 9,1 | +9,6 | $2U_{xy}$ | +23,0 | -1,2 | 24,2 | -7,8 | 32,0 |
| Estación 3. $\lambda = 174^{\circ}56'$ $R = 16,7$ | | | | | | Estación 4. $\lambda = 150^{\circ}41'$ $R = 83,7$ | | | | | |
| U_{xx} | 31,0 | 8,1 | 22,9 | 8,8 | 14,1 | U_{xx} | 13,3 | +8,1 | 5,2 | 3,5 | 1,7 |
| U_{yy} | 34,9 | 1,8 | 33,1 | 17,1 | 16,0 | U_{yy} | 13,7 | 1,8 | 11,9 | 4,6 | 7,3 |
| U_{Δ} | -71,1 | 5,6 | -76,7 | 16,2 | -92,9 | U_{Δ} | -48,6 | 5,6 | -54,2 | -10,6 | -43,6 |
| $2U_{xy}$ | 13,4 | -1,2 | 14,6 | 6,1 | 8,5 | $2U_{xy}$ | 36,1 | -1,2 | 37,3 | 1,3 | 36,0 |
| Estación 5. $\lambda = 167^{\circ}8'$ $R = 75,6$ | | | | | | Estación 6. $\lambda = 172^{\circ}37'$ $R = 108$ | | | | | |
| U_{xx} | -12,9 | 8,1 | -21,0 | -1,0 | -20,0 | U_{xx} | -15,6 | 8,1 | -23,7 | 2,9 | -26,6 |
| U_{yy} | -2,2 | 1,8 | -4,0 | -1,2 | -2,8 | U_{yy} | 3,2 | 1,8 | 1,4 | -0,3 | 1,7 |
| U_{Δ} | -62,3 | 5,6 | -67,9 | 0,2 | -68,1 | U_{Δ} | -96,9 | 5,6 | -102,5 | 2,3 | -104,8 |
| $2U_{xy}$ | 15,7 | -1,2 | 16,9 | 0,2 | 16,7 | $2U_{xy}$ | 12,1 | -1,2 | 13,3 | -0,5 | +13,8 |
| Estación 7. $\lambda = 174^{\circ}48'$ $R = 93$ | | | | | | Estación 8. $\lambda = 117^{\circ}36'$ $R = 43,8$ | | | | | |
| U_{xx} | -55,7 | 8,1 | -63,8 | -7,6 | -56,2 | U_{xx} | -8,9 | 8,1 | -17,0 | 7,9 | -24,9 |
| U_{yy} | 18,7 | 1,8 | 16,9 | 16,0 | 0,9 | U_{yy} | -9,7 | 1,8 | -11,5 | 4,6 | -16,1 |
| U_{Δ} | -70,0 | 5,6 | -75,6 | 16,6 | -92,2 | U_{Δ} | 15,6 | 5,6 | 10,0 | -14,1 | 24,1 |
| $2U_{xy}$ | 21,0 | -1,2 | +22,2 | 14,6 | 7,6 | $2U_{xy}$ | 25,3 | -1,2 | 26,5 | 7,7 | 18,8 |

| Estación 9. $\lambda = 7^{\circ}36'$ $R = 162$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -70,7 | 8,1 | -78,8 | -6,2 | -72,6 |
| U_{yy} | -34,3 | 1,8 | -36,1 | 6,6 | -42,7 |
| U_{Δ} | -100,0 | 5,6 | -105,6 | +51,1 | -156,7 |
| $2U_{xy}$ | -41,4 | -1,2 | -40,2 | -18,9 | -21,3 |

| Estación 10. $\lambda = 50^{\circ}44'$ $R = 79$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -27,9 | 8,1 | -36,0 | -4,1 | -31,9 |
| U_{yy} | 10,8 | 1,8 | 9,0 | 7,3 | 1,7 |
| U_{Δ} | -5,7 | 5,6 | -11,3 | -27,0 | +15,7 |
| $2U_{xy}$ | -40,4 | -1,2 | -39,2 | -0,5 | -38,7 |

| Estación 11. $\lambda = 173^{\circ}9'$ $R = 97,9$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | 10,0 | 8,1 | 1,9 | 5,1 | -3,2 |
| U_{yy} | 26,3 | 1,8 | 24,5 | 4,0 | 20,5 |
| U_{Δ} | -77,5 | 5,6 | -83,1 | +12,1 | -95,2 |
| $2U_{xy}$ | 0,3 | -1,2 | 1,5 | -10,1 | +11,6 |

| Estación 12. $\lambda = 173^{\circ}57'$ $R = 124$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -0,9 | 8,1 | -9,0 | 0,9 | -9,9 |
| U_{yy} | 19,3 | 1,8 | 17,5 | 5,8 | 11,7 |
| U_{Δ} | -104,7 | 5,6 | -110,3 | 11,2 | -121,5 |
| $2U_{xy}$ | 14,0 | -1,2 | 15,2 | 2,2 | 13,0 |

| Estación 13. $\lambda = 167^{\circ}51'$ $R = 55$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | +4,0 | 8,1 | -4,1 | -0,4 | -3,7 |
| U_{yy} | 23,5 | 1,8 | 21,7 | 9,0 | 12,7 |
| U_{Δ} | -74,5 | 5,6 | -80,1 | -30,0 | -50,1 |
| $2U_{xy}$ | 11,1 | -1,2 | 12,3 | 1,0 | 11,3 |

| Estación 14. $\lambda = 172^{\circ}31'$ $R = 83,7$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | 0,5 | 8,1 | -7,6 | 11,4 | -19,0 |
| U_{yy} | 19,7 | 1,8 | 17,9 | 0,2 | 17,7 |
| U_{Δ} | -73,1 | 5,6 | -78,7 | 2,2 | -80,8 |
| $2U_{xy}$ | 3,7 | -1,2 | 4,9 | -5,9 | +10,8 |

| Estación 15. $\lambda = 146^{\circ}17'$ $R = 114$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | 20,4 | 8,1 | 12,3 | -0,2 | 12,5 |
| U_{yy} | 19,8 | 1,8 | 18,6 | 0,6 | 17,4 |
| U_{Δ} | -41,4 | 5,6 | -47,0 | -3,1 | -43,9 |
| $2U_{xy}$ | 51,2 | -1,2 | 52,4 | -0,3 | 52,7 |

| Estación 16. $\lambda = 133^{\circ}39'$ $R = 0,96$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -5,7 | 8,1 | -13,8 | | -13,8 |
| U_{yy} | -1,2 | 1,8 | -3,0 | | -3,0 |
| U_{Δ} | 10,1 | 5,6 | 4,5 | | +4,5 |
| U_{xy} | | | | | |

| Estación 17. $\lambda = 104^{\circ}2'$ $R = 107$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -2,7 | 8,1 | -10,8 | 1,1 | -11,9 |
| U_{yy} | -9,4 | 1,8 | -11,2 | -2,3 | -8,9 |
| U_{Δ} | 74,5 | 5,6 | 68,9 | -25,9 | +94,8 |
| $2U_{xy}$ | 29,8 | -1,2 | 31,0 | 5,7 | 25,3 |

| Estación 18. $\lambda = 150^{\circ}27'$ $R = 87,1$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -2,9 | 8,1 | -11,0 | 0,4 | -11,4 |
| U_{yy} | 16,6 | 1,8 | 14,8 | 1,1 | 13,7 |
| U_{Δ} | 45,6 | 5,6 | 51,2 | -6,5 | -44,7 |
| $2U_{xy}$ | 78,8 | -2,4 | 81,2 | 6,5 | 74,7 |

| Estación 19. $\lambda = 138^{\circ}30'$ $R = 104,5$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | 9,4 | 8,1 | 1,3 | -0,7 | 2,0 |
| U_{yy} | 24,0 | 1,8 | 22,2 | 0,3 | 21,9 |
| U_{Δ} | -61,7 | 5,6 | -67,3 | 13,9 | -81,2 |
| $2U_{xy}$ | 77,8 | -2,4 | 80,2 | +14,2 | 66,0 |

| Estación 20. $\lambda = 167^{\circ}55'$ $R = 104,4$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | 12,5 | 8,1 | 4,4 | 2,5 | 1,9 |
| U_{yy} | 4,3 | 1,8 | 2,5 | -0,1 | 2,6 |
| U_{Δ} | -74,5 | 5,6 | -80,1 | 15,1 | -95,4 |
| $2U_{xy}$ | 34,2 | -2,4 | 36,6 | -6,2 | 42,8 |

| Estación 21. $\lambda = 162^{\circ}32'$ $R = 92,5$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -17,3 | 8,1 | -25,4 | | -25,4 |
| U_{yy} | 1,1 | 1,8 | -0,7 | | -0,7 |
| U_{Δ} | -70,3 | 5,6 | -75,9 | | -75,9 |
| $2U_{xy}$ | 50,6 | -2,4 | 53,0 | | 53,0 |

| Estación 22. $\lambda = 167^{\circ}01'$ $R = 108,2$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | 16,8 | 8,1 | 8,7 | 4,0 | 4,7 |
| U_{yy} | 2,5 | 1,8 | 0,7 | -1,8 | 2,5 |
| U_{Δ} | -79,4 | 5,6 | -85,0 | 12,3 | -97,3 |
| $2U_{xy}$ | 40,1 | -2,4 | 42,5 | -4,9 | 47,4 |

| Estación 23. $\lambda = 109^{\circ}16'$ $R = 80,6$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | 1,7 | 8,1 | -6,4 | -18,4 | +12,0 |
| U_{yy} | 23,1 | 1,8 | 21,3 | 9,4 | 11,0 |
| U_{Δ} | 15,2 | 5,6 | 9,6 | -53,4 | 63,0 |
| $2U_{xy}$ | 13,1 | -2,4 | 15,5 | -34,7 | 50,2 |

| Estación 24. $\lambda = 164^{\circ}56'$ $R = 68,1$ | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -7,5 | 8,1 | -15,6 | -2,1 | -13,5 |
| U_{yy} | -13,2 | 1,8 | -20,0 | -10,2 | -9,8 |
| U_{Δ} | -6,9 | 5,6 | -74,6 | -15,7 | -58,9 |
| $2U_{xy}$ | 50,2 | -2,4 | 52,6 | 18,4 | 34,2 |

| Estación 25. $\lambda = 169^{\circ}20'$ $R = 67,1$ | | | | | | Estación 1 bis $\lambda = 145^{\circ}26'$ $R = 20,8$ B. 522. | | | | | |
|--|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | -11,4 | 8,1 | -19,5 | 1,3 | -20,8 | U_{xx} | -26,8 | 8,1 | -34,9 | -20,2 | -14,7 |
| U_{yz} | 9,7 | 1,8 | 7,9 | 4,0 | 3,9 | U_{yz} | 46,4 | 1,8 | 44,6 | 22,6 | 22,0 |
| U_{Δ} | -58,9 | 5,6 | -64,5 | -2,0 | -62,5 | U_{Δ} | -37,6 | 5,6 | -43,2 | -35,8 | -7,4 |
| $2U_{xy}$ | 38,8 | -2,4 | +41,2 | +16,8 | +24,4 | $2U_{xy}$ | 6,7 | -2,4 | 9,1 | -10,3 | 19,4 |

| Estación 2 bis $\lambda = 91^{\circ}3'$ $R = 5,6$ | | | | | | Estación 3 bis $\lambda = 87^{\circ}17'$ $R = 61,4$ | | | | | | | | |
|---|----------|--------------|-----------|-----------------|--------------|---|------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | $2U_{xy}$ | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| -31,1 | 20,9 | -6,8 | -36,0 | 8,1 | 1,8 | -39,2 | 4,3 | -43,5 | -59,6 | 21,7 | 1,8 | -67,7 | 4,5 | -12,2 |
| 8,1 | 1,8 | 5,6 | -2,4 | 39,2 | 19,1 | -12,4 | -33,6 | 6,2 | 59,6 | 1,8 | 5,6 | -67,7 | 2,0 | 17,9 |
| 19,1 | 5,6 | -17,8 | -33,6 | 17,8 | 23,5 | -37,6 | 33,8 | 12,9 | 21,7 | 1,8 | 5,6 | -67,7 | 2,0 | 17,9 |
| 4,3 | 6,2 | 5,4 | 0,2 | 4,3 | 6,2 | 5,4 | 0,2 | 12,9 | 21,7 | 1,8 | 5,6 | -67,7 | 2,0 | 17,9 |

| Estación 4 bis $\lambda = 22^{\circ}35'$ $R = 20,6$ | | | | | | Estación 5 bis $\lambda = 157^{\circ}50'$ $R = 59,3$ | | | | | | | | |
|---|----------|--------------|-----------|-----------------|--------------|--|------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | $2U_{xy}$ | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| -19,4 | -10,5 | -13,0 | -15,9 | 8,1 | 1,8 | -27,5 | 6,6 | -34,1 | -24,4 | 1,9 | 1,8 | 0,1 | 5,6 | -5,5 |
| 8,1 | 1,8 | 5,6 | -2,4 | 27,5 | 12,3 | -18,6 | -13,5 | 6,6 | -24,4 | 1,8 | 1,8 | 0,1 | 5,6 | -5,5 |
| 12,3 | 5,6 | -4,1 | 1,1 | 12,3 | 12,3 | -18,6 | -13,5 | 6,6 | -24,4 | 1,8 | 1,8 | 0,1 | 5,6 | -5,5 |
| 6,6 | 4,1 | 14,5 | -14,6 | 6,6 | 4,1 | 14,5 | -14,6 | 6,6 | -24,4 | 1,8 | 1,8 | 0,1 | 5,6 | -5,5 |

| Estación 6 bis $\lambda = 106^{\circ}45'$ $R = 116,5$ | | | | | | Estación 7 bis $\lambda = 81^{\circ}25'$ $R = 50,4$ | | | | | | | | |
|---|----------|--------------|-----------|-----------------|--------------|---|------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | $2U_{xy}$ | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| -28,1 | -29,2 | 88,1 | 118,0 | 8,1 | 1,8 | -36,2 | 1,9 | -34,3 | -31,3 | -16,3 | 1,8 | -18,6 | 2,2 | -20,3 |
| 8,1 | 1,8 | 5,6 | -2,4 | 36,2 | 31,0 | -14,6 | 56,1 | -34,3 | -31,3 | -16,3 | 1,8 | -18,6 | 2,2 | -20,3 |
| 31,0 | 5,6 | 14,6 | 64,0 | 31,0 | 5,6 | 14,6 | 64,0 | -34,3 | -31,3 | -16,3 | 1,8 | -18,6 | 2,2 | -20,3 |
| 1,9 | 4,7 | 97,1 | 64,0 | 1,9 | 4,7 | 97,1 | 64,0 | -34,3 | -31,3 | -16,3 | 1,8 | -18,6 | 2,2 | -20,3 |

| Estación 8 bis $\lambda = 21^{\circ}19'$ $R = 93,1$ | | | | | | Estación 9 bis $\lambda = 11^{\circ}00'$ $R = 78,6$ | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | 1,3 | -8,1 | -6,8 | 2,5 | 9,3 | U_{xx} | 21,2 | 8,1 | 13,1 | 5,4 | 7,7 |
| U_{yz} | 4,5 | 1,8 | 2,7 | 5,1 | 2,4 | U_{yz} | -6,0 | 1,8 | -7,8 | 1,6 | 9,4 |
| U_{Δ} | -50,5 | 5,6 | -56,1 | 12,4 | -68,5 | U_{Δ} | -68,9 | 5,6 | -74,5 | -1,6 | -72,9 |
| $2U_{xy}$ | -83,5 | -2,4 | -81,1 | -18,0 | -63,1 | $2U_{xy}$ | -41,1 | -2,4 | -38,7 | 9,3 | -29,4 |

| Estación 10 bis $\lambda = 176^{\circ}43'$ $R = 113,6$ | | | | | | Estación 11 bis $\lambda = 16^{\circ}55'$ $R = 69,5$ | | | | | | | | |
|--|----------|--------------|-----------|-----------------|--------------|--|------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | $2U_{xy}$ | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| 50,1 | 11,2 | -101,1 | 4,0 | 8,1 | 1,8 | 42,0 | 27,2 | 14,8 | 28,7 | 10,8 | 1,8 | 20,6 | 1,4 | 19,2 |
| 8,1 | 1,8 | 5,6 | -2,4 | 42,0 | 9,4 | -106,7 | 6,1 | 112,8 | 10,8 | 1,8 | 9,0 | 2,1 | 6,9 | 6,9 |
| 9,4 | 6,1 | 112,8 | 13,0 | 9,4 | 6,1 | 112,8 | 13,0 | 112,8 | 10,8 | 1,8 | 9,0 | 2,1 | 6,9 | 6,9 |
| 27,2 | 1,4 | 6,1 | 13,0 | 27,2 | 1,4 | 6,1 | 13,0 | 112,8 | 10,8 | 1,8 | 9,0 | 2,1 | 6,9 | 6,9 |

| Estación 12 bis $\lambda = 61^{\circ}18'$ $R = 114,7$ | | | | | | Estación 13 bis $\lambda = 157^{\circ}$ $R = 152,1$ | | | | | | | | |
|---|----------|--------------|-----------|-----------------|--------------|---|------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | $2U_{xy}$ | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| 29,4 | 19,4 | 66,6 | -147,2 | 8,1 | 1,8 | 21,3 | 15,6 | 5,7 | 3,9 | 6,7 | 1,8 | -8,5 | 5,0 | 3,5 |
| 8,1 | 1,8 | 5,6 | -2,4 | 21,3 | 17,6 | 0,1 | 17,5 | 5,7 | 3,9 | 6,7 | 1,8 | -8,5 | 5,0 | 3,5 |
| 17,6 | 0,1 | 61,8 | 96,6 | 17,6 | 0,1 | 61,8 | 96,6 | 5,7 | 3,9 | 6,7 | 1,8 | -8,5 | 5,0 | 3,5 |
| 15,6 | 0,8 | 61,8 | 96,6 | 15,6 | 0,8 | 61,8 | 96,6 | 5,7 | 3,9 | 6,7 | 1,8 | -8,5 | 5,0 | 3,5 |

| Estación 14 bis $\lambda = 121^{\circ}50'$ $R = 77,6$ | | | | | | Estación 15 bis $\lambda = 148^{\circ}56'$ $R = 151,7$ | | | | | | | | |
|---|----------|--------------|-----------|-----------------|--------------|--|------------------------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| U_{xx} | U_{yz} | U_{Δ} | $2U_{xy}$ | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico | Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| 37,4 | 10,8 | 20,3 | 67,0 | 8,1 | 1,8 | 29,3 | 1,4 | 27,9 | 24,8 | 22,1 | 1,8 | 20,3 | 1,7 | 18,6 |
| 8,1 | 1,8 | 5,6 | -2,4 | 29,3 | 9,0 | -3,8 | 12,8 | 27,9 | 24,8 | 22,1 | 1,8 | 20,3 | 1,7 | 18,6 |
| 9,0 | 3,8 | 34,6 | 69,5 | 9,0 | 3,8 | 34,6 | 69,5 | 27,9 | 24,8 | 22,1 | 1,8 | 20,3 | 1,7 | 18,6 |
| 1,4 | 3,8 | 34,6 | 69,5 | 1,4 | 3,8 | 34,6 | 69,5 | 27,9 | 24,8 | 22,1 | 1,8 | 20,3 | 1,7 | 18,6 |

| Estación 16 bis $\lambda =$ | | $R =$ | | | |
|-----------------------------|-----------------|--------------|-------------|------------------------|-------------------|
| Magnitudes gravífticas | Valor observado | Valor normal | Diferencias | Corrección topográfica | Valor topográfico |
| U_{xx} | 27 | 8,1 | 18,9 | 0,4 | 18,5 |
| U_{yy} | 27,3 | 1,8 | 25,5 | 3,1 | 22,4 |
| U_{Δ} | 70,1 | 5,6 | 75,7 | 5,0 | 70,7 |
| $2U_{xy}$ | 143,9 | -2,4 | 146,3 | 19,7 | 126,6 |

§ 73. La interpretación de las mediciones gravimétricas.—Según hemos dicho, a causa de la disminución de la densidad de las rocas que constituyen el anticlinal, con la profundidad de las mismas, los gradientes deben dirigirse hacia los flancos. Los valores mínimos corresponden en todos los casos al eje, a partir del cual aumentan en las dos direcciones hasta la línea de inflexión de la superficie de nivel. A partir de ella vuelve a disminuir paulatinamente hasta anularse al llegar los estratos a la posición horizontal.

En cuanto a los términos de curvatura presentan su valor máximo en el eje y están dirigidos perpendicularmente a la dirección de la estratificación.

En los flancos del anticlinal disminuyen de valor absoluto hasta anularse en la línea de inflexión de la superficie de nivel, donde giran 90°, y vuelve a aumentar hasta cerca de los bordes.

En algunas estaciones ha sido imposible evitar la influencia perturbadora de los accidentes topográficos, en los valores de curvatura.

Zona occidental.—A partir de su parte central, situada en la estación 8', los gradientes de todas las estaciones situadas al Sur tienen la tendencia a una dirección única

que es próxima a la que acabamos de mencionar. Si consideramos sus valores absolutos podemos comprobar que el de la estación 8' es el mínimo, aumentando progresivamente los correspondientes a la 10, 7' y 9, que posee el máximo. Desde éste empieza el decrecimiento en la 6' que continúa en la 8.

Vemos, por consiguiente, que se verifican completamente las indicaciones teóricas del flanco de un anticlinal, cuya zona de inflexión está en la estación 9 y cuya parte más alta coincide con la 8'.

Los términos de curvatura de las estaciones mencionadas poseen poco valor científico, por estar afectados por la acción topográfica producida por la cañada. El efecto es tan grande, que en el tahlweg de un río cuyo subsuelo esté constituido por estratos horizontales, el término de curvatura de una estación observada en él, resulta de gran longitud y paralelo a la dirección del cauce; o sea, indica el eje de un sinclinal que no existe.

Al Norte de la estación 9 los gradientes también aumentan de valor, como era de esperar; pero sus direcciones tienen dos tendencias, que forman entre sí un ángulo de 90°. Los de las estaciones 10' y 11' deben estar influidos por la atracción del cerro Veracha, que los ha hecho girar hacia el Oeste, separándolos de la dirección que les corresponde en el flanco del anticlinal. Todos los demás, a excepción del 9', tienden a la dirección oriental, e indican un aumento de densidad en esa dirección. Ese aumento debe estar producido por la disminución de espesor de los estratos menos duros que, en este caso, están formados por los yesos. Si así sucede, la posibilidad de la existencia de una cúpula, está al Este de la región que consideramos.

De esta manera puede explicarse la dirección que po-

seen, aun estando situados en el flanco Norte del anticlinal estudiado.

Respecto a los términos de curvatura debemos hacer las mismas observaciones anteriores. Sin embargo, el conjunto de todos ellos manifiesta una dirección, que probablemente será la del eje del anticlinal, ligeramente variada hacia el Sur por el efecto de las perturbaciones mencionadas.

Zona de La Laguna.—La llanura de los alrededores de La Laguna se presta muy bien para la interpretación de las magnitudes gravílicas. En el centro de la zona observada encontramos los gradientes de las estaciones 20, 22 y 4, casi iguales a cero. Al Norte y al Sur, respectivamente, aumentan de magnitud y se dirigen en dos direcciones opuestas que nos indican los flancos del anticlinal. En la mayor parte de ellos continúa la tendencia oriental, o sea la disminución del espesor de los yesos en esa dirección. La zona de la cúpula, por consiguiente, está aun más hacia el Este.

Las estaciones de enlace, entre las dos zonas ya estudiadas 2', 3', 4', 5', 6 y 7, comprueban la interpretación dada a las anteriores, tanto en los gradientes como en los términos de curvatura.

Zona oriental.—Esta zona también se presta bien para el trabajo gravimétrico. Las estaciones efectuadas en ella, nos indican con toda claridad los dos flancos del anticlinal, por la dirección y magnitud de sus gradientes, y la dirección del eje por la de los términos de curvatura. Únicamente está afectado el que corresponde a la estación 17, por los cerros próximos a la ermita de San Gregorio.

Resumen.—Conocemos con seguridad tres puntos del eje del anticlinal. Uno corresponde a la estación 9' del grupo occidental; otro, situado al Sur y muy próximo a la

estación 22 del grupo central, y el último situado entre las estaciones 13' y 15 del oriental.

Esto nos demuestra que el eje del anticlinal está ligeramente arqueado, en la zona de La Laguna, tanto hacia el Oeste como hacia el Este.

Los gradientes en la zona oriental conservan aún una ligera tendencia hacia el Este, lo que nos indica que sigue disminuyendo el espesor de los estratos menos densos, o sea de los yesos, y que aun no hemos llegado a la estructura abovedada que buscamos. Esa tendencia parece menor que la que poseen algunos de los de la zona central, completamente dirigidos según el eje del anticlinal; por cuya razón no debemos estar lejos de ella. Las curvas isógamas, que vamos a estudiar a continuación, contribuirán a esclarecer el problema.

§ 74. *Líneas isógamas.*—Las líneas isógamas ayudan mucho a la interpretación de las mediciones gravimétricas, por tener una cierta relación con la estructura tectónica del subsuelo.

Los incrementos de la gravedad $\pm \Delta g$, se han calculado por la fórmula que hemos expuesto en «Los Métodos Geofísicos de Prospección». Para que todos los valores de g sean positivos se ha hecho igual a cero el menor de todos ellos, que corresponde a la estación 9', puesto que sólo tienen importancia para el trazado de las líneas isógamas los valores relativos de g , cualquiera que sea el valor absoluto de esta magnitud.

A continuación exponemos los cálculos efectuados para determinar los incrementos $\pm \Delta g$, y los valores relativos correspondientes de g :

$$\Delta g (8' - 10) = 140 \frac{8 + 23}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (10 - 7') = 370 \frac{20 + 38}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 10 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (7' - 9) = 140 \frac{38 + 76}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (9 - 6') = 260 \frac{82 + 48}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 17 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (6' - 8) = 300 \frac{10 + 14}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (8 - 5') = 620 \frac{4 + 20}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (5' - 4') = 1.220 \frac{10 - 2}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (4' - 7) = 1.200 \frac{0 + 36}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 23 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (4' - 6) = 930 \frac{-27 - 9}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = -16 \cdot 10^{-4} \text{ C.G.S.}$$

$$\Delta g (7 - 6) = 1.060 \frac{16 + 54}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 37 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (2' - 2) = 400 \frac{-47 - 16}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 12 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (2 - 3) = 200 \frac{-12 + 12}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 0 \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (3 - 4) = 160 \frac{-6 - 4}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = -1 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (7 - 3') = 780 \frac{-14 - 0}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = -5 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (3' - 2') = 240 \frac{-42 - 68}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = -26 \cdot 10^{-4} \text{ C.G.S.}$$

$$\Delta g (2' - 1') = 310 \frac{-34 - 0}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = -5 \cdot 10^{-4} \text{ C.G.S.}$$

$$\Delta g (1' - 1) = 210 \frac{-10 - 8}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = -2 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (6 - 24) = 460 \frac{-6 - 16}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = -5 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (24 - 5) = 110 \frac{-38 - 8}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = -2 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (5 - 22) = 120 \frac{-16 + 4}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = -1 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (22 - 20) = 90 \frac{4 + 2}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 0 \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (20 - 23) = 90 \frac{2 + 16}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (24 - 25) = 160 \frac{0 + 14}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ C.G.S.}$$

$$\Delta g (8' - 1') = 160 \frac{-8 + 8}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 0 \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (11 - 9') = 220 \frac{14 - 4}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ C.G.S.}$$

$$\Delta g (9' - 10') = 110 \frac{10 + 8}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (9' - 12) = 120 \frac{-10 + 10}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 0 \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (12 - 14) = 180 \frac{8 + 12}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (14 - 13) = 80 \frac{-22 - 8}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (13 - 11') = 120 \frac{4 + 18}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = +1 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (11' - 2') = 100 \frac{14 + 18}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (1' - 13') = 1.560 \frac{26 - 0}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 20 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (1 - 15) = 1.670 \frac{18 + 12}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 23 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (15 - 14') = 120 \frac{18 + 28}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (15 - 15') = 280 \frac{12 + 10}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (15' - 16') = 140 \frac{12 + 16}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (13' - 16) = 340 \frac{6 + 6}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (16 - 17) = 480 \frac{12 + 12}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (5 - 21) = 140 \frac{2 - 2}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 0 \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (21 - 18) = 160 \frac{-2 + 12}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

$$\Delta g (18 - 19) = 110 \frac{-16 - 10}{2} 10^2 \cdot 10^{-9} = 0 \text{ C. G. S.}$$

Los valores relativos correspondientes para g , son:

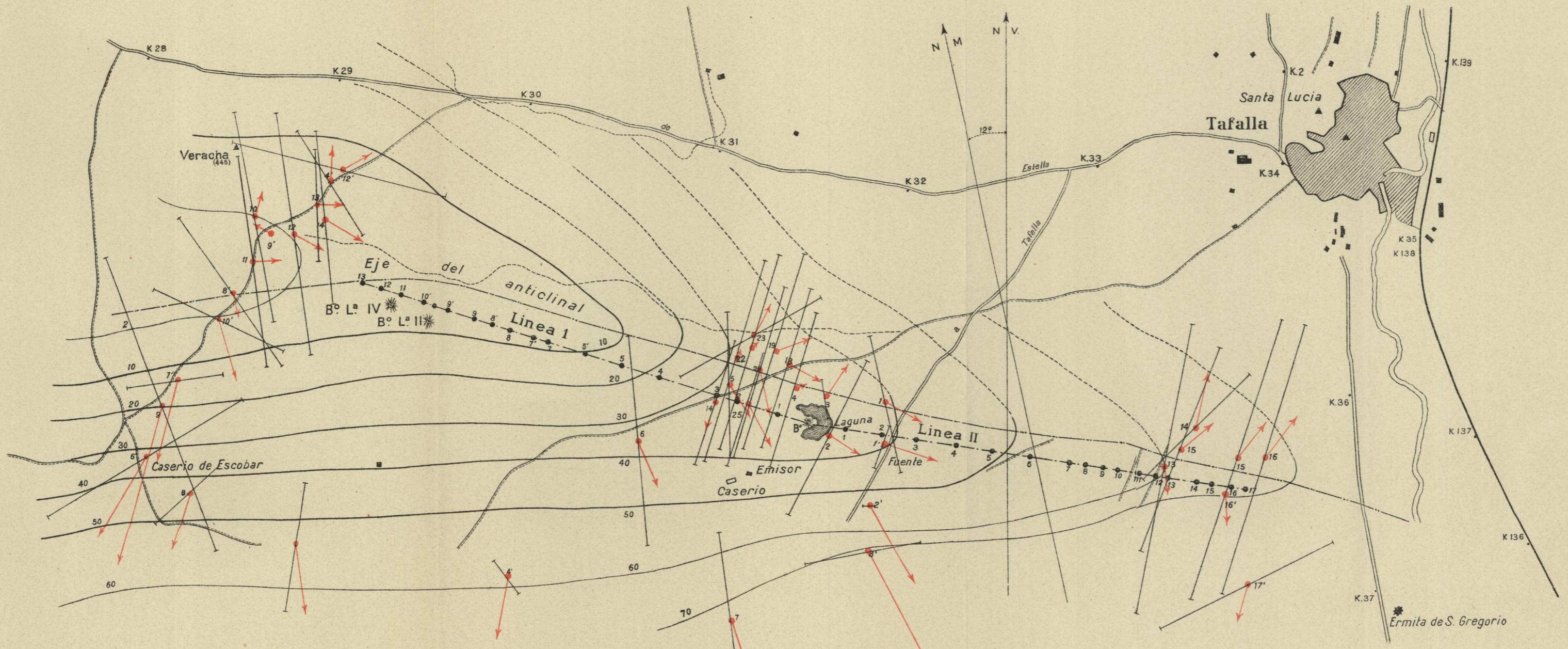
| | |
|---|--|
| $g_1 = 38 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$ | $g_{15} = 61 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$ |
| $g_2 = 33 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_{16} = 70 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_3 = 33 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_{17} = 76 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_4 = 32 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_{18} = 32 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_5 = 33 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_{19} = 32 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_6 = 38 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_{20} = 32 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_7 = 76 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_{21} = 31 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_8 = 41 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_{22} = 32 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_9 = 20 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_{23} = 33 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_{10} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_{24} = 33 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_{11} = 0 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_{25} = 34 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_{12} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_1' = 40 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_{13} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_2' = 45 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |
| $g_{14} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ | $g_3' = 71 \cdot 10^{-4} \text{ »}$ |

INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN EL ANTICLINAL DE TAFALLA

POR

JOSÉ G. SIÑERIZ

INGENIERO DE MINAS



Escala de distancias 1 : 20.000
Id. de los gradientes 1 m/m. = $2 \cdot 10^{-9}$ C. G. S.
Id. de las curvaturas 1 m/m. = $2 \cdot 10^{-9}$ C. G. S.

| | | | |
|------------------------------|---|--------------------------------|---|
| $g_4' = 53.10^{-4}$ C. G. S. | | $g_{11}' = 4.10^{-4}$ C. G. S. | |
| $g_5' = 48.10^{-4}$ | > | $g_{12}' = 6.10^{-4}$ | > |
| $g_6' = 37.10^{-4}$ | > | $g_{13}' = 60.10^{-4}$ | > |
| $g_7' = 12.10^{-4}$ | > | $g_{14}' = 63.10^{-4}$ | > |
| $g_8' = 0$ | > | $g_{15}' = 66.10^{-4}$ | > |
| $g_9' = 1.10^{-4}$ | > | $g_{16}' = 68.10^{-4}$ | > |
| $g_{10}' = 2.10^{-4}$ | > | | |

Con los valores determinados para g , se han trazado las curvas isógamas representadas en la lám. XXXVI, por el método de la interpolación uniforme y en la hipótesis de que también lo sean las variaciones de su valor absoluto.

El examen de las curvas isógamas nos demuestra la ligera inflexión del eje del anticlinal, que ya hemos mencionado, y la ausencia de la estructura tectónica abovedada, en la región comprendida por su trazado.

El aumento constante de la gravedad hacia el Este, indica que la densidad crece en esa dirección. Este efecto puede ser producido por dos causas. Una de ellas, por disminuir el espesor de los estratos menos densos, como los yesos; y la otra, por aumentar el de los estratos más duros superiores. Como esta segunda causa queda completamente excluida por el examen superficial del terreno, sólo podemos aceptar la primera y, por consiguiente, sentar que el yacimiento salino se aproxima a la superficie en la dirección oriental.

Esta importantísima consecuencia nos indica la conveniencia de continuar la investigación del anticlinal en la región Este de Tafalla, por estar en lo posible que allí se encuentre la sal a una profundidad que podemos considerar como inferior a unos cuatrocientos metros, por los datos que ya poseemos de la investigación sísmica, que describiremos a continuación.

§ 75. **Las medidas sísmicas.**—Con el objeto de conocer la profundidad probable del manto salino en la zona estudiada por el método gravimétrico de prospección, hemos observado dos perfiles sísmicos, a partir de La Laguna; uno de ellos, dirigido hacia el Oeste, que designaremos con el número 5, por constar de 4 la investigación sísmica anterior y el otro en la dirección opuesta, al que corresponde el número 6.

Línea V.—Consta de 18 estaciones sísmicas, observadas por medio de tres sismógrafos, colocados en una longitud total de 2.430 metros.

Las estaciones últimas están situadas muy cerca del

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE TAFALLA

Línea dromocrónica número 5

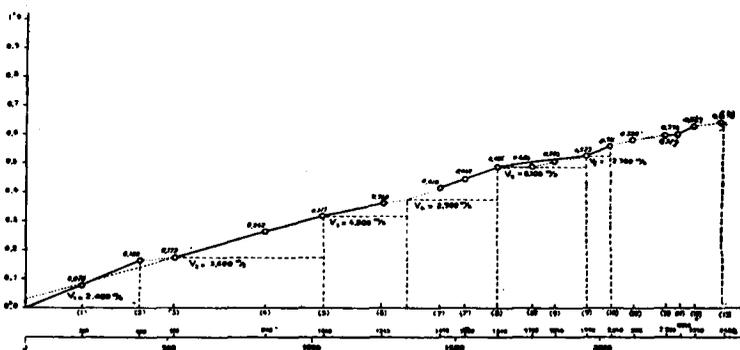


Fig. 144.

lugar donde se efectuaron las explosiones de las líneas II y IV del estudio anterior.

En el cuadro adjunto se han reunido los valores de las distancias epicentrales y tiempos de recorrido, correspondientes a cada estación, que han servido para construir la línea dromocrónica representada en la figura 144.

Línea VI.—Consta de 17 estaciones sísmicas, con una longitud total de 2.375 metros. Su dirección es la opuesta a la anterior, o sea hacia el Este.

Los valores numéricos de las distancias epicentrales y

LÍNEA V

| Explosiones | Sismógrafos Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|-----------------|------------------|----------|----------|
| 1. ^a | 1 | 0,078 | 0,200 |
| | 2 | 0,165 | 0,400 |
| | 3 | 0,172 | 0,520 |
| 2. ^a | 4 | 0,262 | 0,840 |
| | 5 | 0,317 | 1,040 |
| | 6 | 0,360 | 1,245 |
| 3. ^a | 7 | 0,416 | 1,445 |
| | 8 | 0,485 | 1,645 |
| | 9 | 0,503 | 1,845 |
| 4. ^a | 10 | 0,561 | 2,040 |
| | 11 | 0,598 | 2,230 |
| | 12 | 0,627 | 2,430 |
| 5. ^a | 13 | 0,641 | 2,30 |
| | 7' | 0,442 | 1,530 |
| | 8' | 0,486 | 1,765 |
| 6. ^a | 9' | 0,523 | 1,952 |
| | 10' | 0,580 | 2,118 |
| | 11' | 0,589 | 2,278 |

LÍNEA VI

| Explosiones | Sismógrafos Pos. | T (seg.) | Δ (kms.) |
|-----------------|------------------|----------|----------|
| 1. ^a | 1 | 0,101 | 0,240 |
| | 2 | 0,181 | 0,440 |
| | 3 | 0,249 | 0,620 |
| 2. ^a | 4 | 0,299 | 0,820 |
| | 5 | 0,360 | 1,020 |
| | 6 | 0,413 | 1,200 |
| 3. ^a | 7 | 0,449 | 1,400 |
| | 8 | 0,492 | 1,500 |
| | 9 | 0,511 | 1,600 |
| 4. ^a | 10 | 0,520 | 1,700 |
| | 11 | 0,625 | 1,800 |
| | 12 | 0,555 | 1,904 |
| 5. ^a | 13 | 0,592 | 2,004 |
| | 14 | 0,673 | 2,125 |
| | 15 | 0,636 | 2,192 |
| 6. ^a | 16 | 0,726 | 2,292 |
| | 17 | 0,677 | 2,375 |

tiempo de recorrido que han servido para construir la línea dromocrónica, figura 144, constan en el cuadro correspondiente.

§ 76. **La interpretación geológica de las mediciones sísmicas.**—Las velocidades medias aparentes del rayo sísmico a su llegada a cada estación, son las siguientes:

$$V_{0-1} = \frac{0,200}{0,078} = 2.575 \text{ m/s.} \quad V_{0-3} = \frac{0,520}{0,172} = 3.000 \text{ m/s.}$$

$$V_{0-2} = \frac{0,400}{0,165} = 2.425 \text{ ,} \quad V_{0-4} = \frac{0,840}{0,262} = 3.250 \text{ ,}$$

$$\begin{array}{ll}
 V_{0-5} = \frac{1,040}{0,317} = 3.250 \text{ m/s.} & V_{0-12} = \frac{2,330}{0,627} = 3.725 \text{ m/s.} \\
 V_{0-6} = \frac{1,245}{0,360} = 3.500 \text{ } & V_{0-18} = \frac{2,430}{0,641} = 3.800 \text{ } \\
 V_{0-7} = \frac{1,445}{0,416} = 3.500 \text{ } & V_{0-14} = \frac{1,530}{0,442} = 3.450 \text{ } \\
 V_{0-8} = \frac{1,645}{0,485} = 3.400 \text{ } & V_{0-8'} = \frac{1,765}{0,486} = 3.650 \text{ } \\
 V_{0-9} = \frac{1,845}{0,503} = 3.650 \text{ } & V_{0-9'} = \frac{1,952}{0,523} = 3.700 \text{ } \\
 V_{0-10} = \frac{2,040}{0,561} = 3.600 \text{ } & V_{0-10'} = \frac{2,118}{0,580} = 3.700 \text{ } \\
 V_{0-11} = \frac{2,230}{0,598} = 3.750 \text{ } & V_{0-11'} = \frac{2,278}{0,589} = 3.900 \text{ }
 \end{array}$$

Desde el origen a las estaciones 1 y 2 la velocidad media del rayo sísmico es de 2.400 m/s., valor ya citado repetidas veces en las líneas anteriores, que corresponde a las margas yesosas situadas sobre los yesos.

El paso de la 2 a la 3 se manifiesta por un gran aumento aparente de la velocidad media de cerca de 600 m/s., para un aumento de distancia epicentral de 120 metros. Como en el caso análogo de la investigación anterior, indica que el rayo sísmico ha entrado en el horizonte de los yesos, cuya constante de velocidad se determina entre las estaciones 3 y 5, por el valor

$$V_2 = V_{3-5} = \frac{1,040 - 0,520}{0,317 - 0,172} = \frac{0,520}{0,155} = 3.600 \text{ m/s.}$$

Entre la estación 5 y 6 volvemos a encontrar el segundo aumento de la velocidad media del rayo sísmico, que se incrementa 250 m/s. El nuevo horizonte estratigráfico no pasa de la estación 6 y su velocidad característica es

$$V_3 = V_{6-8} = \frac{1,245 - 1,040}{0,360 - 0,317} = \frac{0,205}{0,043} = 4.800 \text{ m/s.}$$

que corresponde a las calizas.

A partir de la estación 6, disminuye la velocidad media hasta la 8. Los vértices de la línea dromocrónica 7 y 8, así como el interpolado después, forman una línea recta cuya prolongación corta a la determinada por los 5 y 6 en un punto que marca la separación de los dos horizontes distintos.

La velocidad que corresponde al último es de 2.900 metros por segundo, que indica el grupo de margas grises situadas sobre la sal, en las demás investigaciones realizadas en la cuenca.

$$V_4 = V_{7-8} = \frac{1,645 - 1,445}{0,485 - 0,416} = \frac{0,200}{0,069} = 2.900 \text{ m/s.}$$

Desde la estación 8 a la 8' encontramos el tercer aumento brusco de velocidad media de 250 metros en poco más de 100 metros de incremento de la distancia, de mayor valor relativo que los anteriores, por el que ya alcanza la velocidad media. En la estación 9 se mantiene el valor alcanzado y aún aumenta ligeramente en la 9', donde empieza su disminución.

Prescindiendo del lado de la dromocrónica 8-8', que sólo nos indica la entrada del rayo sísmico en los bancos de sal y de los 8'-9 y 9-9', correspondientes a la disminución de la velocidad aparente anterior, podemos unir el vértice 8 con el 9', para obtener la alineación que determina el horizonte atravesado.

$$V_5 = V_{8-9'} = \frac{1,952 - 1,645}{0,523 - 0,416} = \frac{0,307}{0,038} = 8.100 \text{ m/s.}$$

El valor encontrado es mayor que el que corresponde

a la sal, lo que quiere decir que ésta empieza antes de la estación 8, o termina después de la 9'.

El horizonte subyacente queda determinado entre las estaciones 9' y 10,

$$V_6 = V_{9'-10} = \frac{2.040 - 1.952}{0.561 - 0.523} = \frac{0.082}{0.038} = 2.300 \text{ m/s.}$$

La velocidad encontrada es la que caracteriza a las margas situadas bajo la sal, en las investigaciones anteriores.

Después, entre las estaciones 10 y 10', encontramos las calizas eocenas caracterizadas por la velocidad

$$V_{10-10'} = \frac{2.118 - 2.040}{0.580 - 0.561} = \frac{0.078}{0.019} = 4.100 \text{ m/s.}$$

El resto de la línea no deja de presentar interés. Entre las estaciones 10' y 11, la velocidad vuelve a ser la de la sal.

$$V_{10-11} = \frac{2.230 - 2.118}{0.598 - 0.580} = \frac{0.112}{0.018} = 6.200 \text{ m/s.}$$

Y después, en la 11', aún experimenta un enorme aumento:

$$V_{10'-11'} = \frac{2.278 - 2.118}{0.589 - 0.580} = \frac{0.160}{0.009} = 17.800 \text{ m/s.}$$

para disminuir rápidamente a continuación.

Si no supiéramos por la investigación gravimétrica que el eje del anticlinal no es horizontal, creeríamos que el rayo sísmico había cortado un segundo horizonte salino, situado debajo del primero. Como aquélla nos ha demostrado que buza en el sentido de la línea sísmica, la sal se

va encontrando cada vez más profunda a medida que nos separamos del lugar del barreno.

De aquí resulta que, al aumentar la distancia epicentral y, por consiguiente, la profundidad alcanzada por el rayo sísmico, vuelve a cortar el horizonte salino, tantas veces como queramos.

Prueba de ello es que desde la estación 12 a la 13, se vuelve a iniciar la repetición del fenómeno:

$$V_{12-13} = \frac{2.430 - 2.330}{0.641 - 0.627} = 7.200 \text{ m/s.}$$

Esta línea sísmica nos comprueba la interpretación geológica de los gradientes y curvaturas, efectuada en los párrafos anteriores.

El cálculo de las profundidades de cada uno de los horizontes geológicos encontrados, presenta muchas dificultades, por no ser rectilíneo y estar inclinado el eje del anticlinal, y por no aumentar constantemente hacia abajo la velocidad de las ondas sísmicas. Tampoco conocemos el ángulo de inclinación α .

Además, todas las velocidades obtenidas son sólo aparentes, y para calcular las reales es preciso observar el perfil sísmico en la dirección opuesta a la considerada, que constituye el objeto de la línea VI, después de cuya discusión volveremos a tratar del cálculo de las profundidades correspondientes a cada horizonte estratigráfico.

Línea VI.—Como este perfil está observado en la dirección ascendente de la estratificación, el ángulo de inclinación α es negativo y las velocidades medias aparentes obtenidas son menores que las verdaderas, lo contrario de lo que sucedía en el perfil anterior. Sus valores numéricos son los siguientes:

$$\begin{array}{ll}
 V_{0-1} = \frac{0,240}{0,101} = 2.400 \text{ m/s.} & V_{0-10} = \frac{1,700}{0,520} = 3.270 \text{ m/s.} \\
 V_{0-2} = \frac{0,440}{0,181} = 2.400 \text{ } & V_{0-11} = \frac{1,800}{0,625} = 2.900 \text{ } \\
 V_{0-3} = \frac{0,620}{0,249} = 2.500 \text{ } & V_{0-12} = \frac{1,904}{0,555} = 3.430 \text{ } \\
 V_{0-4} = \frac{0,820}{0,289} = 2.700 \text{ } & V_{0-13} = \frac{2,004}{0,593} = 3.380 \text{ } \\
 V_{0-5} = \frac{1,020}{0,360} = 2.840 \text{ } & V_{0-14} = \frac{2,125}{0,673} = 3.200 \text{ } \\
 V_{0-6} = \frac{1,200}{0,413} = 2.900 \text{ } & V_{0-15} = \frac{2,192}{0,630} = 3.400 \text{ } \\
 V_{0-7} = \frac{1,400}{0,449} = 3.100 \text{ } & V_{0-16} = \frac{2,292}{0,726} = 3.200 \text{ } \\
 V_{0-8} = \frac{1,500}{0,492} = 3.050 \text{ } & V_{0-17} = \frac{2,375}{0,677} = 3.500 \text{ } \\
 V_{0-9} = \frac{1,600}{0,511} = 3.130 \text{ } &
 \end{array}$$

Si prescindimos de las diferencias debidas al cambio del ángulo de inclinación, la línea VI es análoga a la anterior. Empieza por el horizonte de las margas yesosas, caracterizado por la constante sísmica de 2.400 metros, que alcanza a la estación 3, situada en la zona del aumento brusco aparente que produce el cambio de velocidad de 2.400 a 3.350 metros.

En el dibujo de la línea dromocrónica, figura 145, se aprecian los dos horizontes de margas yesosas y de yesos, así como la zona del tránsito.

El horizonte siguiente, determinado por las estaciones 7 y 8, es el de las margas grises, situadas sobre la sal, con su constante de 2.350 metros.

Para enlazar el lado 7-8 con el 4-6 es indispensable con-

siderar el trazo de puntos, de velocidad infinita, que parte de la estación 6. De esta manera puede explicarse la si-

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE TAFALLA
 Línea dromocrónica número 6

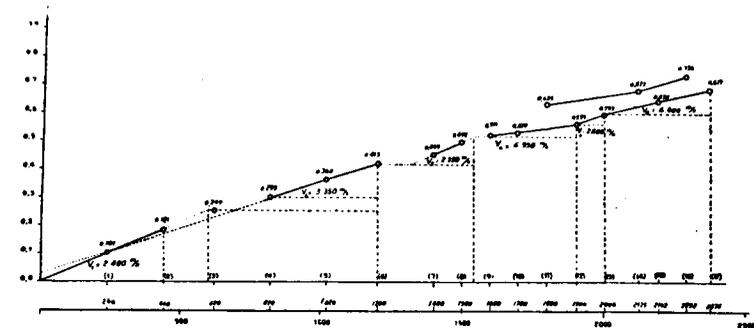


Fig. 145.

tuación del horizonte de calizas, que encontramos en el perfil anterior, que en éste debe tener poca potencia.

Entre las estaciones 9 y 12, se encuentra el horizonte salino cuya velocidad es.

$$V_{9-12} = V_4 = \frac{1,904 - 1,600}{0,555 - 0,511} = \frac{0,304}{0,044} = 6.950 \text{ m/s.}$$

A continuación aparecen las margas subyacentes a la sal, con la velocidad de 2.600 metros y, por último, desde la estación 13 a la 17 se presenta el horizonte de calizas que hemos atribuido al Eoceno.

Debemos mencionar la anomalía que se presenta en las estaciones 11, 14 y 15. Entre sí determinan horizontes análogos a las anteriores, pero todas ellas tienen un retraso de algo más de media décima de segundo. Creemos que este retraso es debido a estar colocadas sobre una

capa aluvial, desgastada por la erosión en las restantes y que en éstas tiene bastante potencia.

El cálculo matemático de las profundidades de cada conjunto estratigráfico de los sucesivos que constituyen el subsuelo, ya hemos dicho que es imposible, así como las razones de la imposibilidad. Sólo podemos obtener un valor aproximado por el método siguiente. Vamos a suponer que la constante de profundización es $K=0,22$, que no diferirá mucho de su valor real. Con este valor calcularemos la profundidad de la sal, en el barreno de la línea VI, según ya explicamos en ella, así como en la línea V, en el supuesto de que la estratificación sea horizontal. Los valores encontrados para las profundidades nos determinan una primera aproximación del ángulo α , que forma el eje del anticlinal con el horizonte. Así obtenemos para α el valor de $1^\circ 25'$.

Conocido este ángulo podemos aplicar las fórmulas del párrafo 6, páginas 26 y 27 de esta obra,

$$h = \frac{d_x [1 - \text{sen} (\zeta - \alpha)]}{2 \cos \alpha \cos \zeta}$$

para el sismógrafo colocado en el sentido descendente de las capas a la distancia epicentral que corresponde al centro de la línea dromocrónica, y

$$h_1 = \frac{d_x [1 - \text{sen} (\zeta + \alpha)]}{2 \cos \alpha \cos \zeta}$$

para el colocado a la misma distancia, en la dirección opuesta.

La profundidad en el barreno se calcula por la fórmula

$$h_2 = h_1 \mp d_x \text{ tang } \alpha$$

según se considere la dirección descendente o la ascendente.

La distancia d_x nos la suministran las dos líneas dromocrónicas V y VI; es igual a 250 metros.

Para calcular el ángulo ζ tenemos que determinar primero la velocidad real V_2 , por la fórmula de la página 76,

$$V_2 = 2 \frac{V_{2+} \cdot V_{2-}}{V_{2+} + V_{2-}}$$

por admitir que $\cos \alpha$ es igual a la unidad. Así resulta:

$$V_2 = 3.500 \text{ m/s.}$$

y

$$\text{sen } \zeta = \frac{V_1}{V_2} = \frac{2.400}{3.500} = 0,685; \cos \zeta = 0,725; \zeta = 43^\circ$$

$$\begin{array}{ll} \zeta - \alpha = 41^\circ 35' & \text{sen} (\zeta - \alpha) = 0,660 \\ \zeta + \alpha = 44^\circ 25' & \text{sen} (\zeta + \alpha) = 0,700 \\ & \cos \alpha = 0,999 \end{array}$$

Introduciendo en las fórmulas los valores anteriores, resulta:

Línea V.—Sentido descendente.

$$h_1 = \frac{0,250 (1 - 0,66)}{2 \times 0,999 \times 0,725} = 60 \text{ metros (sismógrafo)}$$

$$h_2 = 60 - 0,250 \times 0,025 = 54 \text{ metros (barreno)}$$

Línea VI.—Sentido ascendente.

$$h_1 = \frac{0,250 (1 - 0,70)}{2 \times 0,999 \times 0,725} = 42 \text{ metros (sismógrafo)}$$

$$h_2 = 52 + 0,250 \times 0,025 = 58 \text{ metros (barreno)}$$

El promedio de las dos profundidades encontradas para el emplazamiento del barreno es 56 metros. Como la distancia epicentral considerada es de 250, el coeficiente de profundidad resulta

$$K = \frac{56}{250} = 0,224$$

que difiere muy poco del valor que habíamos supuesto.

Con las profundidades calculadas podríamos obtener un segundo valor para α y repetir los cálculos efectuados que resultarían más exactos. Pero teniendo en cuenta su pequeño valor, no consideramos necesaria su repetición, puesto que los resultados serían casi iguales.

La aplicación del coeficiente K para determinar la profundidad de la sal en el barreno de la línea V, nos da la cifra de 379 metros. En la línea VI resulta de 347. El promedio de ambos valores es 363 metros y la potencia del banco salino pasa de 60 metros.

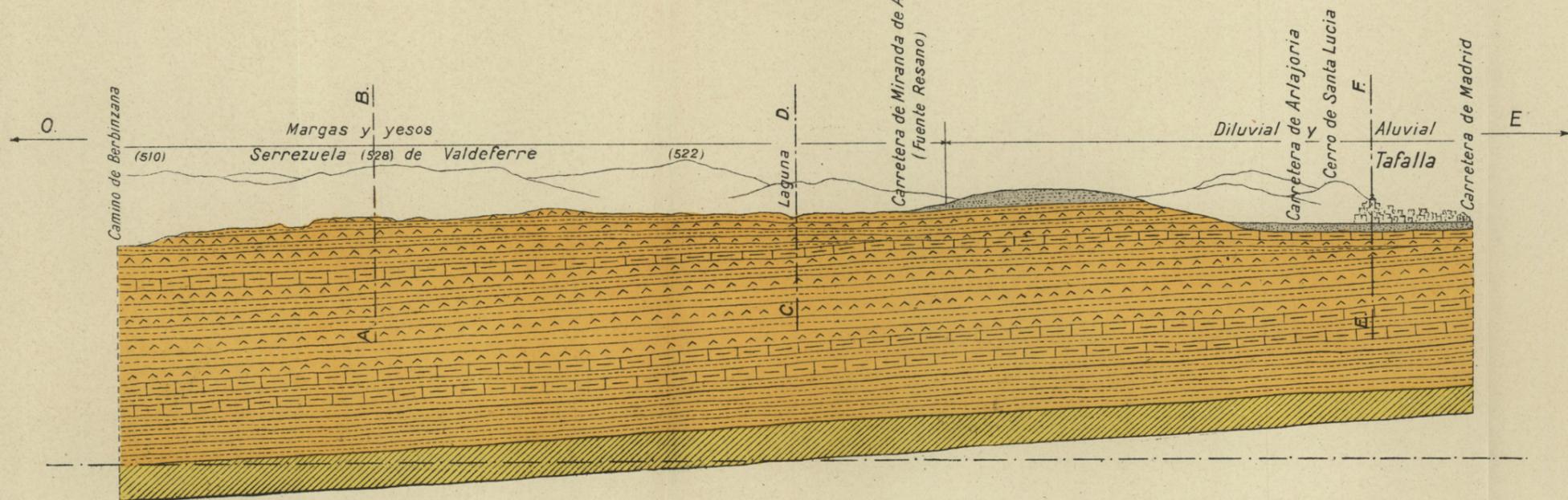
Con los valores calculados se han trazado los cortes estratigráficos representados en la lámina XXXVII.

§ 77. Resumen.—La aplicación simultánea del método gravimétrico de prospección y del sísmico, nos ha demostrado la existencia de la sal en el anticlinal estudiado, así como su disminución de profundidad hacia el Este. Estos importantes resultados nos evidencian la conveniencia de continuar la investigación en este sentido, para descubrir las zonas de profundidad mínima y, además, el lugar más alto del eje del anticlinal, que es una estructura tectónica favorable para la acumulación de hidrocarburos, procedentes de un yacimiento primario y de origen más antiguo.

INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN EL ANTICLINAL DE TAFALLA

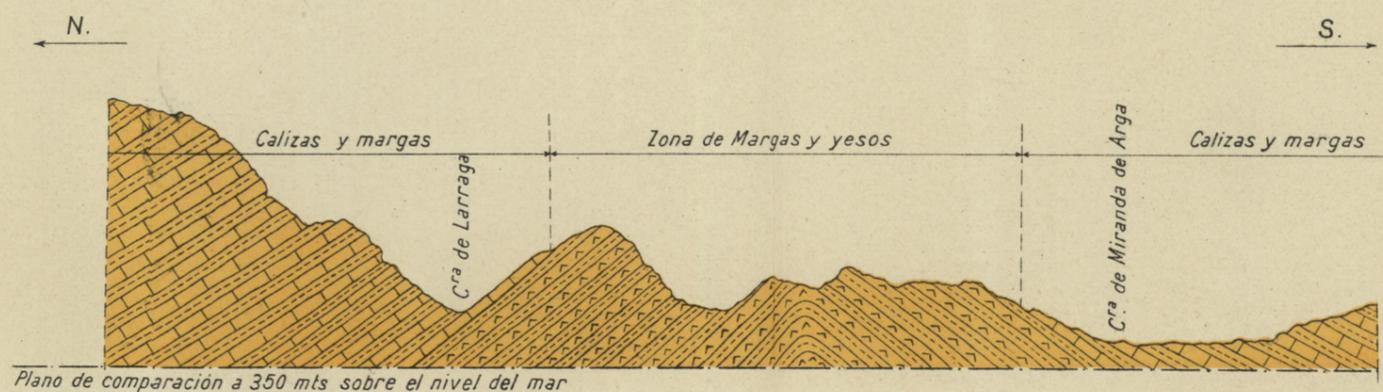
CORTE GEOLÓGICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL DETERMINADO POR LA DIRECCIÓN MEDIA DEL ANTICLINAL DE TAFALLA

Escalas { Horizontal 1:20.000
Vertical 1:10.000



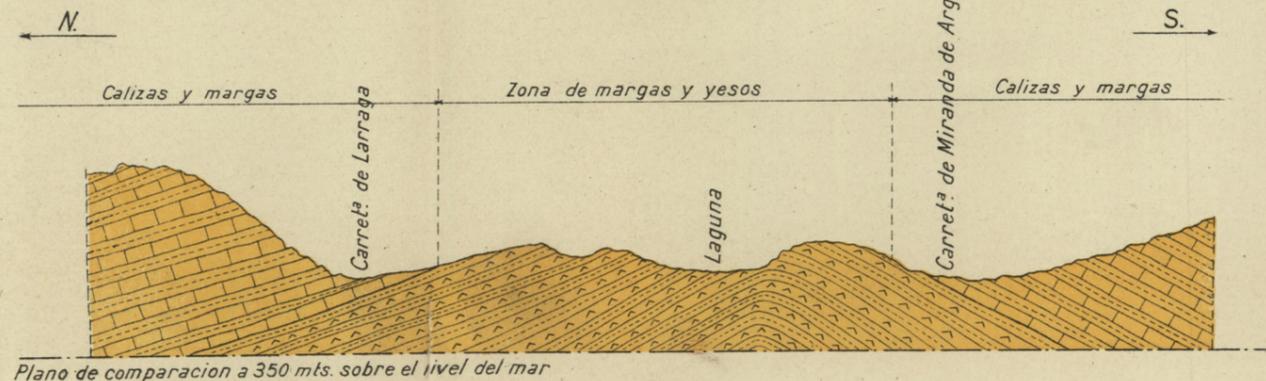
CORTE TRANSVERSAL A-B

Escalas { Horizontal 1:20.000
Vertical 1:5.000



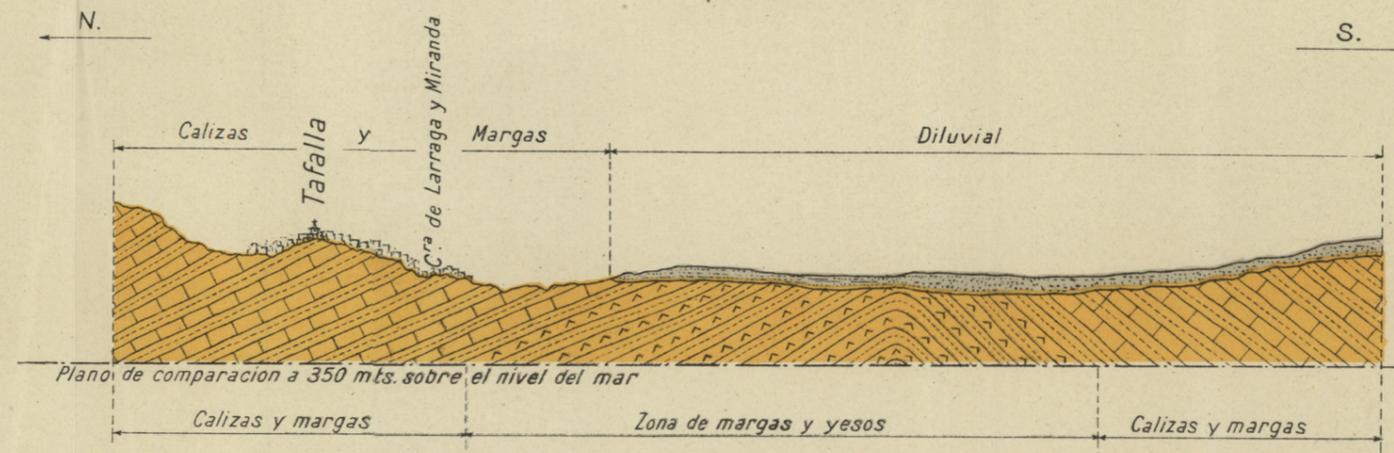
CORTE TRANSVERSAL C-D

Escalas { Horizontal 1:20.000
Vertical 1:5.000



CORTE TRANSVERSAL E-F

Escalas { Horizontal 1:20.000
Vertical 1:5.000



ÍNDICES

ÍNDICE DE MATERIAS

PRIMERA PARTE

Las mediciones sísmicas

CAPÍTULO I

| | <u>Páginas</u> |
|---|----------------|
| LA TEORÍA DE LA PROSPECCIÓN SÍSMICA..... | 3 |
| § 1. Generalidades..... | 3 |
| 2. Las ondas sísmicas | 4 |
| 3. Las curvas dromocrónicas..... | 8 |
| 4. Las teorías de las ondas sísmicas artificiales | 10 |
| 5. Determinación de la profundidad de una capa horizontal | 15 |
| 6. Determinación de la profundidad de una capa inclinada | 25 |
| 7. Construcción de un plano altimétrico del subsuelo | 29 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|-----------|
| LOS APARATOS EMPLEADOS EN LA PROSPECCIÓN SÍSMICA | 35 |
| § 8. Aparatos para la determinación de la velocidad del movimiento del suelo... | 35 |
| 9. Aparatos para la determinación directa del movimiento del suelo..... | 36 |

10. Aparatos para la determinación de la aceleración..... 63

CAPÍTULO III

- LA INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE LAS MEDICIONES SÍSMICAS..... 67
- § 11. Determinación de un horizonte geológico horizontal..... 67
12. Determinación de una falla..... 70
13. Determinación de un horizonte geológico inclinado..... 71

CAPÍTULO IV

- INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS..... 79
- § 14. Zona de Callús. Prólogo..... 80
15. Reseña geográfica y geológica..... 81
16. Las mediciones sísmicas en la zona de Callús..... 90
17. La interpretación geológica de los resultados..... 93
18. Resumen..... 124

CAPÍTULO V

- INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SURIA..... 125
- § 19. Zona de Suria. Prólogo..... 125
20. Reseña geográfica y geológica..... 126
21. La interpretación geológica de los resultados..... 135
22. Resumen..... 164

CAPÍTULO VI

- LA INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALLENT..... 165
- § 23. Prólogo..... 165
24. Reseña geográfica y geológica..... 166
25. Las mediciones sísmicas..... 173
26. La interpretación geológica de los resultados..... 177
27. Resumen..... 208

CAPÍTULO VII

- INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE BELLMUNT..... 211
- § 28. Prólogo..... 211
29. Reseña geográfica y geológica..... 212
30. Las mediciones sísmicas..... 220
31. La interpretación geológica de las mediciones sísmicas..... 224
32. Resumen..... 255

CAPÍTULO VIII

- INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE TAFALLA..... 257
- § 33. Prólogo..... 257
34. Reseña geográfica y geológica..... 258
35. Las mediciones sísmicas..... 262
36. La interpretación geológica de las mediciones sísmicas..... 265
37. Resumen..... 281

CAPÍTULO IX

- INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CONCESIÓN «ELORZ», DE LA COMPAÑÍA DE SALES POTÁSICAS DE NAVARRA... 283

| | |
|--|-----|
| § 38. Prólogo | 283 |
| 39. Reseña geográfica y geológica | 284 |
| 40. Las mediciones sísmicas | 289 |
| 41. La interpretación geológica de las mediciones sísmicas | 292 |
| 42. Resumen | 307 |

CAPÍTULO X

| | |
|---|-----|
| × LA INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA. CONSTRUCCIÓN DEL PLANO ALTIMÉTRICO DEL SUBSUELO.. | 309 |
| § 43. Prólogo | 309 |
| 44. Reseña geográfica y geológica | 309 |
| 45. Construcción del plano altimétrico del subsuelo | 313 |
| 46. Las líneas sísmicas | 319 |
| 47. La interpretación geológica de los resultados | 343 |

SEGUNDA PARTE

Las investigaciones gravimétricas

CAPÍTULO XI

| | |
|--|-----|
| FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE LAS MAGNITUDES GRAVIMÉTRICAS | 349 |
| § 48. Fórmulas para el cálculo de los gradientes | 349 |
| 49. Fórmulas para el cálculo de la acción del terreno | 358 |
| 50. Fórmulas para el cálculo de la acción cartográfica | 363 |
| 51. Fórmulas para el cálculo de R y λ | 364 |

| | |
|--|-----|
| 52. Ejemplo de cálculo de una estación gravimétrica completa | 365 |
|--|-----|

CAPÍTULO XII

| | |
|--|-----|
| LA INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA ZONA DE EL BURGO DE OSMA Y BERLANGA DE DUERO | 375 |
| § 53. Prólogo | 375 |
| 54. Reseña geográfica y geológica | 376 |
| 55. Las mediciones gravimétricas | 378 |
| 56. Condiciones de la observación | 380 |
| 57. Resumen de los valores obtenidos | 380 |
| 58. La interpretación de las mediciones gravimétricas | 394 |
| 59. Conclusiones | 404 |

CAPÍTULO XIII

| | |
|--|-----|
| ✓ LA INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA MESETA Terciaria DE MADRID-ALCALÁ DE HENARES-TORRELAGUNA | 407 |
| § 60. Prólogo | 407 |
| 61. La investigación previa | 408 |
| 62. La investigación definitiva | 422 |
| 63. La interpretación geológica de los resultados obtenidos | 439 |
| 64. Líneas isógamas | 442 |
| 65. Conclusiones | 442 |

CAPÍTULO XIV

| | |
|--|-----|
| LA INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA ZONA PETROLÍFERA DE GARRUCHA (ALMERÍA) | 445 |
| § 66. Prólogo | 445 |

| | |
|---|-----|
| 67. Reseña geográfica y geológica | 450 |
| 68. La investigación gravimétrica | 463 |
| 69. La interpretación de las mediciones gravimétricas | 469 |
| 70. Conclusiones | 473 |

CAPÍTULO XV

| | |
|---|-----|
| LA INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA Y SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE TAFALLA | 477 |
| § 71. Prólogo | 477 |
| 72. Las mediciones gravimétricas | 478 |
| 73. La interpretación de las mediciones gravimétricas | 486 |
| 74. Líneas isógamas | 489 |
| 75. Las mediciones sísmicas | 494 |
| 76. La interpretación geológica de las mediciones sísmicas | 495 |
| 77. Resumen | 504 |

ÍNDICE DE LÁMINAS

CAPÍTULO IV

| | |
|--|--------------|
| INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS | |
| <u>Láminas.</u> | <u>Págs.</u> |
| I. Plano topográfico general de la zona potásica | 80 |
| II. Corte geológico y estratigráfico, según un plano vertical entre Suria y Manresa, sobre el nivel del río Cardoner | 84 |
| III. Corte estratigráfico, según planos verticales de proyección, líneas I, II y III del estudio sísmico | 106 |
| IV. Corte estratigráfico según un plano vertical de proyección entre Suria y Manresa. Líneas IV y V del estudio sísmico | 118 |
| V. Corte estratigráfico según un plano vertical de proyección entre Cortés y Vilatorata. Líneas VI y VII del estudio sísmico | 122 |

CAPÍTULO V

| | |
|--|--|
| INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SURIA | |
| VI. Corte estratigráfico, según un plano ver- | |

| | | |
|-------|--|-----|
| | tical de proyección NE.-SO. Línea IX del estudio sísmico..... | 140 |
| VII. | Corte estratigráfico según un plano vertical de proyección N. NE.-S. SO. Línea XI del estudio sísmico..... | 146 |
| VIII. | Corte estratigráfico según un plano vertical de proyección NE.-SO. desde Suria a Fonollosa. Líneas I, II, III, VII y VIII del estudio sísmico..... | 150 |
| IX. | Corte estratigráfico según un plano vertical de proyección NO.-SE. Línea IV. Desde el torrente de Claret hasta el castillo de Falst..... | 156 |
| X. | Dos cortes.—Arriba: desde el torrente de Claret (aguas arriba de Coané) hasta San Mateo de Bagés.—Abajo: línea V del estudio sísmico. Desde el torrente de Claret al de la Vall..... | 158 |

CAPÍTULO VI

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE SALLENT

| | | |
|-------|---|-----|
| XI. | Corte geológico, según un plano vertical, desde Manresa a Sallent, pasando por las líneas sísmicas I y IX..... | 182 |
| XII. | Corte geológico, según un plano vertical NO.-SE. que pasa por Cabrianas..... | 192 |
| XIII. | Corte geológico, según un plano vertical que pasa por el final de la línea V y el pueblo de Artés..... | 195 |
| XIV. | Corte geológico desde Navarclés hasta las inmediaciones de Castellnou, pasando por el Este de Sampedor, el origen | |

| | | |
|--|---|-----|
| | de la línea VI y cortando las VII y VIII del estudio sísmico..... | 208 |
|--|---|-----|

CAPÍTULO VII

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE BELLMUNT

| | | |
|--------|---|-----|
| XV. | Plano general de la zona de Bellmunt-Balaguer..... | 212 |
| XVI. | Corte geológico desde Balaguer hasta las cercanías de San Lorenzo..... | 215 |
| XVII. | Corte geológico, según un plano vertical, que pasa por Mongay y Bellmunt..... | 243 |
| XVIII. | Corte geológico, según un plano vertical que pasa por el eje del anticlinal..... | 252 |
| XIX. | Corte geológico, según un plano vertical N. NE.-S. SO. que pasa por el origen de la línea II..... | 255 |

CAPÍTULO VIII

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN EL ANTICLINAL DE TAFALLA

| | | |
|--------|--|-----|
| XX. | Corte geológico general de la cuenca potásica de Navarra..... | 257 |
| XXI. | Plano topográfico general de Tafalla.... | 258 |
| XXII. | Corte geológico, según un plano vertical que pasa por el origen de la línea sísmica número II y el kilómetro 19 de la carretera de Tafalla a Artajona..... | 268 |
| XXIII. | Corte geológico, según un plano vertical que pasa por el origen de la línea sísmica núm. III y el pueblo de Artajona | 278 |

CAPÍTULO IX

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA CONCESIÓN «ELORZ»

| | | |
|--------|---|-----|
| XXIV. | Plano general de la concesión «Elorz».. | 284 |
| XXV. | Corte geológico, según un plano vertical que pasa por el sondeo de Pamplona, sobre el que se proyectan las líneas sísmicas números I al VI .. | 305 |
| XXVI. | Corte geológico, según un plano vertical que pasa por Espezún-Zabalegui..... | 307 |
| XXVII. | Corte geológico, según un plano vertical que pasa por el sondeo número 2 y el pueblo de Oriz..... | 307 |

CAPÍTULO X

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN HIENDELAENCINA

| | | |
|---------|---------------------------------------|-----|
| XXVIII. | Hoja geológica de Hiendelaencina..... | 312 |
| XXIX. | Plano de los perfiles sísmicos | 319 |
| XXX. | Curvas de nivel del neis..... | 344 |

CAPÍTULO XII

INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA ZONA DE EL BURGO DE OSMA Y BERLANGA DE DUERO

| | | |
|--------|------------------------|-----|
| XXXI. | Croquis geológico..... | 377 |
| XXXII. | ..... | 378 |

CAPÍTULO XIII

INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA ZONA N. DE MADRID

| | | |
|---------|-------|-----|
| XXXIII. | | 409 |
|---------|-------|-----|

CAPÍTULO XIV

INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA ZONA PETROLÍFERA DE GARRUCHA (ALMERÍA)

| | | |
|--------|---|-----|
| XXXIV. | Plano geológico general | 450 |
| XXXV. | Los cortes geológicos I, II y III | 455 |

CAPÍTULO XV

INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN TAFALLA (NAVARRA)

| | | |
|---------|-------------------------|-----|
| XXXVI. | ..... | 478 |
| XXXVII. | Cortes geológicos | 504 |

PUBLICACIONES
DEL
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO
DE
ESPAÑA

**PUBLICACIONES
DEL
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO
DE
ESPAÑA**

OBRAS PUBLICADAS Y EN VENTA

1.º BOLETINES (1)

| | Pesetas |
|--|------------------------|
| <i>Boletín de la Comisión del Mapa Geológico</i> : tomos { I a XX. | 20 |
| | XXI a XXXI 17,50 |
| <i>Boletín del Instituto Geológico</i> : tomos { XXXII a XL | 17,50 |
| | XLI a LII 15 |

2.º MEMORIAS

| | |
|--|----|
| <i>Descripción física y geológica de Barcelona</i> , por D. José Maureta y D. Silvino Thos y Codina | 20 |
| <i>Idem física, geológica y minera de Logroño</i> , por D. Rafael Sánchez Lozano. | 15 |
| <i>Explicación del Mapa geológico de España</i> , por D. Lucas Mallada. Tomos I al VII (cada uno) | 15 |
| <i>Criaderos de Hierro de España:</i> | |
| Tomo I (Introducción).— <i>Criaderos de la provincia de Murcia</i> | 15 |
| Tomo II.— <i>Criaderos de Asturias</i> | 15 |
| Tomo III.— <i>Criaderos de Guadalajara y Teruel</i> , por D. Vicente Kindelan y D. Manuel Ranz | 21 |
| Tomo IV.— <i>Hierros de Galicia</i> (tomo I), por D. Primitivo Hernández Sampelayo | 15 |
| Tomo IV.— <i>Hierros de Galicia</i> (tomo II), por D. Primitivo Hernández Sampelayo | 20 |
| Tomo V.— <i>Hierros de Almería y Granada</i> (tomos I, II y III), por D. Ricardo Guardiola y D. Alfonso de Sierra (cada uno) | 15 |
| <i>Estudio geológico y petrográfico de la Serranía de Ronda</i> , por D. Domingo de Orueta. | 20 |

(1) Véase el extracto del Catálogo general, al final.

| | Pesetas |
|--|---------|
| <i>Estudio metalogénico de la Sierra de Cartagena</i> , por D. Ricardo Guardiola | 15 |
| <i>Monografía de los melanopsis vivientes y fósiles de España</i> , por D. Florentino Azpeitia Moros | 15 |

3.º NOTAS Y COMUNICACIONES

| | |
|--|---|
| Vol. I, II y III (1928, 1929 y 1932) | 3 |
|--|---|

4.º MAPAS

| | |
|---|------|
| <i>Atlas del Estudio estratigráfico de la Cuenca hullera asturiana</i> , por D. Luis de Adaro y Magre | 20 |
| <i>Mapa geológico de España</i> , edición en 16 hojas y escala 1:400.000: cada hoja | 7,50 |
| <i>Mapa geológico de España</i> , edición en 64 hojas y escala de 1:400.000; cada hoja suelta | 2,50 |
| <i>Mapa geológico de España</i> , mapa de conjunto, escala 1:1.500.000 | 15 |
| <i>Mapa geológico de España</i> , en 4 hojas, escala 1:1.000.000 . . . | 50 |

OBRAS AGOTADAS

| | |
|---|--|
| <i>Mapa geológico</i> , en 16 hojas. Hojas números 1, 2, 3, 6, 7 y 14. | |
| <i>Boletín de la Comisión del Mapa geológico</i> : tomos I al XIII. | |
| <i>Boletín del Instituto Geológico de España</i> : tomos XXXVIII y XLVIII (1.ª parte). | |
| <i>Descripciones física y geológica de Zaragoza y Ávila</i> , por D. Felipe M. Donayre. | |
| <i>Idem física, geológica y agrológica de Soria</i> , por D. Pedro Palacios. | |
| <i>Idem id. de Álava</i> ; por D. Ramón Adán de Yarza. | |
| <i>Idem id. de Cuenca, Valladolid, Teruel y Segovia</i> , por D. Daniel de Cortázar. | |
| <i>Idem id. de Cáceres</i> , por D. Justo Egozcue y D. Lucas Mallada. | |
| <i>Idem id. de Huesca</i> , por D. Lucas Mallada. | |
| <i>Idem id. de Salamanca</i> , por D. Amalio Gil y Maestre. | |
| <i>Idem id. de Valencia</i> , por D. Daniel de Cortázar y D. Isidro M. Pato. | |
| <i>Idem id. de Guipúzcoa</i> , por D. Ramón Adán de Yarza. | |
| <i>Idem id. de Vizcaya</i> , por D. Ramón Adán de Yarza. | |
| <i>Idem física de Huelva</i> , por D. Joaquín Gonzalo Tarín. | |
| <i>Idem geológica de idem</i> , por D. Joaquín Gonzalo Tarín. | |
| <i>Idem minera de idem</i> , por D. Joaquín Gonzalo Tarín. | |
| <i>Sinopsis paleontológica de España</i> . Tomos I, II y III, sistemas Siluriano; Devoniano, Carbonífero, Triásico, Jurásico e Infracretáceo, por D. Lucas Mallada. | |
| <i>Trabajos geodésicos y topográficos de Asturias</i> . | |
| <i>Mapa topográfico de Asturias</i> , por D. Guillermo Schulz (4.ª edición). | |
| <i>Descripción física y geológica de Zamora</i> , por D. Gabriel Puig. | |
| <i>Estudios hidrológicos</i> .—Cuenca del Tajo (provincia de Madrid). | |

PUBLICACIONES ESPECIALES
DEL
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

MEMORIAS Y GUÍAS

RELATIVAS AL

XIV CONGRESO GEOLÓGICO INTERNACIONAL

1.º MEMORIAS

| | Pesetas |
|---|---------|
| <i>Memorias del XIV Congreso Geológico Internacional</i> , por el Secretario general, Ingeniero de Minas, Vocal del Instituto Geológico y Minero de España, D. Enrique Dupuy de Lôme. Tomos I, II, III y IV, cada uno | 15 |
| <i>Las reservas mundiales de Piritus</i> , por los señores de la Comisión de Publicaciones del XIV Congreso Geológico Internacional, Ingenieros de Minas, D. César Rubio, D. José de Gorostizaga, D. Enrique Dupuy de Lôme y don Joaquín Mendizábal. Dos tomos | 50 |
| <i>Las reservas mundiales de Fosfatos</i> , por los señores de la Comisión de Publicaciones del XIV Congreso Geológico Internacional, Ingenieros de Minas, D. César Rubio, D. José de Gorostizaga, D. Enrique Dupuy de Lôme y don Joaquín Mendizábal. Dos tomos | 50 |

2.º GUÍAS

GUÍAS GEOLÓGICAS DE ESPAÑA, PUBLICADAS POR LA COMISIÓN ORGANIZADORA DEL XIV CONGRESO GEOLÓGICO INTERNACIONAL PARA FACILITAR LAS EXCURSIONES QUE REALIZARON LOS CONGRESISTAS:

| | |
|---|----|
| GUÍA A-1.— <i>Estrecho de Gibraltar, Jerez, Tarifa, Algeciras, Ceuta, Tetuán, Melilla, Nador, etc., etc.</i> , por los Ingenieros de Minas, Vocales del Instituto Geológico y Minero de España, Sres. Marín, Valle, Dupuy de Lôme, Gavalá, Miláns del Bosch e Iruegas. Un tomo de 256 páginas, 27 láminas (6 de microfots., 1 de cortes geols.) 3 mapas geológicos.—Edición española o francesa . . | 10 |
|---|----|

| | Pesetas. |
|---|----------|
| GUÍA A-2.— <i>Los platinos de la Serranía de Ronda</i> , por los Ingenieros de Minas Vocales del Instituto Geológico y Minero de España, Sres. Orueta y Rubio. 160 páginas, 24 láminas (2 de microfots., 1 de cortes geols.), 3 mapas.—Edición española, francesa o inglesa | 10 |
| GUÍA A-3.— <i>Minas de plomo y cobre de Linares y Huelva</i> , por los Ingenieros de Minas Sres. Hereza y Alvarado. 140 páginas, 3 figuras, 16 láminas (7 de cortes geols.), 2 planos y 4 mapas.—Edición española, francesa o inglesa | 10 |
| GUÍA A-5.— <i>La Sierra Morena y la Sierra Nevada</i> , por los Ingenieros de Minas Sres. Novo y Carbonell y los Profesores de Geología Sres. Gómez Lluca y Carandell. 248 páginas, 8 figuras, 22 láminas, 5 mapas.—Edición española | 10 |
| GUÍA A-6.— <i>El Terciario continental de Burgos</i> , por el Doctor en Ciencias Sr. Royo y Gómez. 70 páginas, 12 figuras, 18 láminas, 2 mapas.—Edición española, francesa o inglesa | 5 |
| GUÍA A-7.— <i>Islas Canarias</i> , por el Profesor de la Universidad Central Sr. Fernández Navarro. 122 páginas, 46 figuras, 25 láminas, 8 mapas.—Edición española o francesa | 10 |
| GUÍA B-1.— <i>Minas de Almadén</i> , por el Ingeniero de Minas, Vocal del Instituto Geológico y Minero de España, señor Hernández Sampelayo. 102 páginas, 22 láminas, 1 mapa.—Edición española o francesa | 5 |
| GUÍA B-2.— <i>La Sierra del Guadarrama</i> , por los Profesores de Geología Sres. Obermaier y Carandell. 46 páginas, 13 figs., 19 láms., 1 mapa.—Edición española o francesa | 5 |
| GUÍA B-3.— <i>Aranjuez</i> , por los Profesores de Geología señores E. y F. Hernández-Pacheco. 104 páginas, 31 figuras, 14 láminas, 1 mapa, 1 lámina de cortes geológicos.—Edición española | 10 |
| GUÍA C-1.— <i>Minas de Asturias</i> , por los Ingenieros de Minas señores Cueto, Junquera, H. Sampelayo y Patac. 108 páginas, 4 figuras, 21 láminas (3 cortes geológicos), 5 mapas.—Edición española o francesa | 10 |
| GUÍA C-5.— <i>Isla de Mallorca</i> , por los Geólogos Sres. Darder y Fallo 125 páginas, 48 figuras, 17 láminas (6 de cortes geológicos), 1 mapa, 2 cuadros sinópticos.—Edición francesa | 10 |
| GUÍA X-1.— <i>La Sierra Morena y la llanura Bética</i> , por el Catedrático de la Universidad Central Sr. Hernández-Pacheco. 150 páginas, 20 figuras, 39 láminas, 1 lámina de cortes, 2 mapas.—Edición española o francesa | 5 |

| | Pesetas |
|--|---------|
| GUÍA X-3.— <i>Despeñaperros</i> , por los Catedráticos de Geología Sres. H. Pacheco y Puig de la Bellacasa. 48 páginas, 9 figuras, 20 láminas, 1 mapa.—Edición española o francesa | 5 |
| GUÍA F-2.— <i>Guía del ferrocarril de Madrid a Sevilla</i> , por los Ingenieros de Minas, Vocales del Instituto Geológico y Minero de España, Sres. Dupuy de Lôme y Novo. 139 páginas, 2 figuras, 26 láminas, 5 mapas.—Edición española, francesa, inglesa o alemana | 10 |
| GUÍA F-3.— <i>Guía del ferrocarril de Madrid a Irún</i> , por los Ingenieros de Minas, Vocales del Instituto Geológico y Minero de España, Sres. Dupuy de Lôme y Novo. 151 páginas, 20 láminas (1 de perfiles topográficos), 4 mapas.—Edición española, francesa o alemana | 10 |

OBRAS AGOTADAS

| | |
|---|--|
| GUÍA A-4.— <i>Línea tectónica del Guadalquivir</i> , por el Ingeniero de Minas Sr. Carbonell Trillo-Figueroa. 204 páginas, 7 figuras, 36 láminas (4 de cortes geológicos) y 8 planos geológicos. | |
| GUÍA C-3.— <i>Cuenca polásica de Cataluña</i> , por el Geólogo Sr. Faura y el Ingeniero de Minas, Vocal del Instituto Geológico y Minero de España Sr. Marín y Bertrán de Lis. 214 páginas, 5 figuras, 48 láminas (1 de sondeos y 6 de cortes) y 5 mapas. | |
| GUÍA C-6.— <i>Cuevas de Mallorca</i> , por el Geólogo Sr. Faura. 78 páginas, 14 láminas (4 de planos y secciones). | |
| GUÍA F-1.— <i>Guía Artística de Córdoba</i> , por el Ingeniero de Minas Sr. Carbonell. 155 páginas, 20 láminas, 4 planos. Edición española. | |
| GUÍA C-2.— <i>Minas de Bilbao</i> , por el Ingeniero de Minas señor Rotaeché. 30 páginas, 2 láminas de cortes geológicos, 1 mapa.—Edición española. | |
| GUÍA C-4.— <i>Cataluña</i> , por los Geólogos Sres. Marín, Bataller, Larragán, San Miguel de la Cámara y Marcet. 214 páginas, 8 figuras, 48 láminas (1 de sondeos, 10 de bloques, 5 de cortes geológicos), 6 mapas.—Edición española o francesa. | |
| GUÍA C-5.— <i>Isla de Mallorca</i> , por los Geólogos Sres. Darder y Fallo 125 páginas, 48 figuras, 17 láminas (6 de cortes geológicos), 1 mapa, 2 cuadros sinópticos.—Edición española. | |

Estas obras se venden en las principales librerías y en el Instituto Geológico y Minero de España, Cristóbal Bordú, 12. Madrid.

EXTRACTO DEL CATÁLOGO GENERAL

BOLETINES (1)

Primera Serie

A. Tomos agotados de la primera serie.

- TOMO I**
(1874) Orígenes y estado actual del Mapa Geológico de España, M. F. Castro, p. 17.—Breve geología de Gerona, F. Bauzá, p. 169.—Altitudes barométricas, D. Cortázar, p. 177.—Geología de Ciudad Real, F. Gascue y R. de Igunza, p. 197.—El garumnense de Cataluña, L. Mariano Vidal, p. 209.—Geología de Santander, M. Olavarría, p. 249.—Geología de Cuenca, p. 255.—Los coprolitos de Terrer (Zaragoza), R. de Igunza, p. 257.—Geología de Guadalajara y Valdesotos, F. Martín Donayre, p. 267.—El *Spirophyton* en el paleozoico de España, M. Bayan, p. 271.—Geología de Jaén, F. García Araus, p. 273.—Geología de Madrid, A. Gil y Maestre, p. 283.—Geología de Burgos, M. Zuaznívar, p. 289.—Geología de Zamora y Orense, D. de Cortázar, p. 291.
- TOMO II**
(1875) Sinopsis de fósiles de España, L. Mallada, p. 1.—Geología de Almería, D. Cortázar, p. 161.—Geología de La Carolina (Jaén), E. Naranjo, p. 235.—El suelo de Arnedillo y accidente, J. Egozcue, p. 241.—Los terremotos de Urgel y erupciones de agua en Hinojosa de S. Vicente, p. 269.—Geología de Lérida, L. M. Vidal, p. 273.—Sistema hullero de Puertollano (Ciudad Real), M. Reydellet, p. 351.—Fosforita de Bélmez (Córdoba), M. Reydellet, p. 357.—Depósitos de huesos en Tierra de Campos, A. Gil Maestre, p. 361.—Nota sobre *id. id.*, D. L. Quintana, p. 369.—El Triás de Santander, F. Gascue, p. 377.
- TOMO III**
(1876) Estado del Mapa Geológico de España (1-7-74), M. F. Castro, p. 1.—Filones estanníferos de Salamanca, M. García, p. 91.—Bauzá y sus trabajos geológicos, p. 97.—Geología de Tarragona y Lérida, F. Bauzá, p. 115.—Geología de Burgos, P. Sampayo, p. 125.—Pozo artesiano de La Victoria, en Málaga, F. Madrid Dávila, p. 133.—Cuenca hullera del río Carrión (Palencia), R. Oriol, p. 137.—Geología de la cuenca de Bélmez, M. Parran, p. 169.—Isla de Alborán, F. Madrid Dávila, p. 177.—Las islas Filipinas, J. Centeno, p. 181.—Areniscas bituminosas del Puerto del Escudo, J. G. Lasala, p. 235.—Mapa topográfico de España, J. S. Massia, p. 243.—Formación hullera de Puertollano, J. Caminero, p. 245.—Geología de Lanjarón (Granada), J. Arévalo, p. 251.—Itinerarios geológico-mineros de Palencia, R. Oriol, p. 257.—El meteorito de Roda (Huesca), Pisani y Daubré, p. 277.—Geología de Santander, F. Sánchez Blanco, p. 279.—Geología de las Vascongadas, A. Maestre, p. 283.—Geología de Toledo, A. Peña, p. 329.—Geología del valle de

(1) En venta en las principales librerías y en el Instituto Geológico y Minero de España, Cristóbal Bordu, 12, a los precios siguientes:

Por Boletín completo: De la serie 3.ª 15 pts.; de la 2.ª 17,50 pts.; de la 1.ª 20 pesetas. Las tiradas aparte de trabajos sueltos que existan referentes a estos mismos Boletines se venden a los precios de 3,50, 5 y 10 pesetas, según sean de la 3.ª, 2.ª o 1.ª serie.

Laceana (León), A. Rubio, p. 333.—El Garumnense español, M. Leymerie, p. 347.—La cuenca carbonífera de Juarros (Burgos), M. Zuaznívar, p. 353.—Canteras y pedreras de Segovia, J. A. Berdiguer, p. 359.—Geología de Ibiza y Formentera, S. Thos, p. 363.—Minerales de hierro de España, D. A. H., p. 369.—La geología en la Exposición de Filadelfia, D. de Cortázar, p. 389.

- TOMO IV**
(1877) Descripción geológica de Burgos, Logroño, Soria y Guadalajara, M. Aránzazu, p. 1.—El hierro de Somorrostro (Vizcaya), R. Adán de Yarza, p. 49.—El numulítico de San Vicente de la Barquera (Santander), F. Gascue, p. 63.—Geología de Málaga, D. de Orueta, p. 89.—Geología de Jaén, A. Herrera, p. 173.—Geología de Tarragona, I. Gombau, p. 181.—Geología de Teverga (Oviedo), E. Abella, p. 251.—El cretáceo del Pirineo Catalán, L. M. Vidal, p. 257.—Viaje geológico por España, Ch. Barrois, p. 373.—Geología de Burgos. Salina de la Poza de la Sal, M. Zuaznívar, p. 383.—Reseña geológica de Almería, F. M. Donayre, página 385.
- TOMO V**
(1878) Geología de Huelva, J. G. Tarín, p. 1.—Geología de Toledo, D. de Cortázar, p. 139.—Constitución geológica de España, p. 145.—Geología de Granada. La piedra pómez, S. Rojas Clemente, p. 163.—Datos geológico-industriales de Santander, M. R. Lasala, p. 167.—Fauna de la cordillera Cantábrica, L. Mallada y J. Buitrago, p. 177.—Geología de Ávila, F. M. Donayre, p. 195.—Geología de León, L. N. Monreal, p. 201.—Geología de Almería, L. N. Monreal, p. 209.—La tercera fauna siluriana en Huelva, J. G. Tarín, p. 311.—Geología de Logroño, L. Urrutia, p. 315.—Geología de Toledo, D. Cortázar, p. 321.—La Memoria de H. Kuss sobre las minas de Almadén, D. J. E., p. 327.
- TOMO VI**
(1879) Geología de Mallorca, L. M. Vidal, p. 1.—Examen microscópico de rocas eruptivas de Mallorca, R. Adán de Yarza, p. 33.—Fosforitas del Mediodía de España, M. Calderón, p. 29.—Criaderos auríferos de Mindanao, Misamis (Filipinas), E. Abella, p. 23.—Itinerarios geológicos de las comarcas auríferas de Misamis (Filipinas), E. Abella, p. 63.—Geología de Villamiel (Toledo), J. S. Massia, p. 83.—Minerales de las Islas Orientales, A. Freurel, p. 87.—El sistema devoniano de León, Ch. Barrois, p. 91.—Geología y petrografía de Sevilla, J. Macpherson, p. 97.—Rocas eruptivas de Vizcaya, R. Adán de Yarza, p. 269.—Las minas de Somorrostro, E. Bourson, por R. A. de Yarza, p. 287.—Las minas de hierro de Bilbao, M. Bailla, por R. A. de Yarza, p. 301.—Geología de León (1878 a 1879), L. N. Monreal, p. 311.—Geología de Guadalajara, P. Palacios, p. 321.—Geología de Sierra Nevada, R. von Drasche, página 353.—Geología de Badajoz, J. G. Tarín, p. 389.—El fosfato de cal de Alburquerque y Valencia de Alcántara, E. Moreno, p. 413.
- TOMO VII**
(1880) Geología de Córdoba, L. Mallada, p. 1.—Geología de Tenerife, J. G. Castillo, p. 57.—Geología de Ibiza y Formentera, L. M. Vidal y E. Molina, p. 67.—El cretáceo de Oviedo, Ch. Barrois, p. 115.—Los equinodermos urgonianos de Oviedo, M. Cotteau, p. 151.—Posición en Mallorca de las *Terebratulida Diphya* y *T. Janitor*, M. Hermite, p. 159.—Descripción físico-geológica de La Habana y Guanabacoa (Cuba), P. Salterain, p. 161.—Nuevo equinodermo de Cuba (*Encorectia*), D. Cortázar, p. 227.—Geología de León (1879 a 1880), L. N. Monreal, p. 233.—Sinopsis de especies fósiles de España, L. Mallada, sistema Triásico, p. 241.—Foraminíferos del terciario de Luzón (Filipinas), F. Karrer, p. 257.—Rocas volcánicas de Canarias, S. Calderón, p. 283.—Geología de Ciudad Real, D. Cortázar, p. 289.—Descripción geognóstica y forestal de Guadalajara, C. Castel, p. 331.
- TOMO VIII**
(1881) Geología de Granada, J. G. Tarín, p. 1.—Hundimientos en la cuenca de Tremp (Lérida) en 1881, L. M. Vidal, p. 113.—El mármol de los

- Pirineos, Ch. Barrois, p. 131.—Descripción geognóstica y forestal de Guadalajara, C. Castel, p. 157.—Geología de Valencia, J. Vilanova, p. 265.—Geología de la isla de Luzón (Filipinas), R. von Dräsche, página 269.—Sistema cretáceo del N. de España, M. L. Carez, p. 343.—Hundimiento de Puigcerdás en 1881, D. Cortázar, p. 349.—Paleontología de Cuba unida al continente y su constitución geológica, M. F. de Castro, p. 357.
- TOMO IX**
(1882) Geología de Navarra, L. Mallada, p. 1.—Geología de Caldas de Malavella (Gerona), L. M. Vidal, p. 65.—Las ofitas, R. Adán de Yarza, página 93.—Las calizas metalíferas de Sierra de Gádor (Almería), J. G. Tarín, p. 97.—Las aerinitas, L. M. Vidal, p. 113.—Descripción geognóstica y forestal de Guadalajara, C. Castel, p. 123.—Los temblores de tierra de julio de 1879 en Surigao (Mindanao, Filipinas), J. Centeno, p. 215.—Pirita de hierro en el jurásico de Soria, P. Palacios, p. 223.—Geología de Almería, F. Botella, p. 227.—Los mapas geológicos, D. de Cortázar, p. 319.—Petrografía del Cabo de Gata y Alborán, S. Calderón, p. 333.
- TOMO X**
(1883) Temblores de tierra de 1880 en Luzón (Filipinas), J. Centeno, p. 1.—Mapa geológico de España. Origen y vicisitudes. Catálogo de la Exposición de Minería de 1883, p. 93.—Cuenca de Henarejos, D. Cortázar, p. 155.—Rocas eruptivas de Ciudad Real, S. Calderón y Arana, p. 165.—Los terrenos antiguos de Asturias y Galicia, Ch. Barrois, J. Egozcue, p. 177.—Terremotos en Nueva Vizcaya (Filipinas) en 1881, E. Abella, p. 343.—Apuntes geológicos. Viaje de Nueva Vizcaya a Manila, E. Abella, p. 363.—Los temblores de tierra de Cuba, P. Salterain, página 371.
- TOMO XI**
(1884) Geología de Jaén, L. Mallada, p. 1.—El pozo artesiano de Vitoria, D. Cortázar, p. 57.—Geología de Burgos, R. Sánchez Lozano, p. 71.—Fósiles del terciario superior de Cataluña, J. Almera y A. Bofill, p. 81.—Flora hullera de Asturias, M. R. Zeiller, p. 159.—Geología de Andorra, S. Thos y Codina, p. 183.—Sinopsis de fósiles de España, L. Mallada, p. 209.—Bilirán (Filipinas) y sus azufrales, E. Abella, p. 359.—El Maquilín (Filipinas) y sus emanaciones volcánicas, E. Abella, página 371.—El Malinao (Filipinas) y sus emanaciones volcánicas, E. Abella, p. 395.—El volcán de Alvay (Filipinas), E. Abella, p. 405.
- TOMO XII**
(1885) Los terremotos de Andalucía de 1885, p. 1.—Formación wealdense de Soria y Logroño, P. Palacios y R. Sánchez Lozano, p. 109.—Informe de la Academia de Ciencias de París, sobre los terremotos de Andalucía, p. 141.—Mineralogía de Sierra Nevada, G. Tarayré, p. 165.—El volcán de Taal (Filipinas), J. Centeno, p. 169.—Los manantiales de Bambang y salinas del Monte Blanco, Nueva Vizcaya (Filipinas), J. Centeno, p. 223.—Rocas ofíticas en Granada, W. Kilian, p. 237.—La cuenca terciaria de Granada, Bertrand y W. Kilian, p. 243.—El oro de Peñafior, A. J. Nogués, p. 247.—Nota sobre geología de Andorra, S. Thos y Codina, p. 253.—Las diabasitas de Huelva, S. Calderón, p. 259.—Geología de Teruel, D. Cortázar, p. 263.—La geología de Huelva, J. G. y Tarín, p. 609.—Índice alfabético del tomo I de las Sinopsis paleontológica de España, p. 619.—Índice alfabético del tomo II de la Sinopsis, p. 631.
- TOMO XIII**
(1886) Geología de la isla de Cebú (Filipinas), E. Abella, p. 1.—Terrenos jurásico y cretáceo de Granada y Málaga, M. Bertrand y W. Kilian, p. 191.—Las rocas arcaicas de Andalucía occidental, M. Lévy y J. Bergeron, p. 195.—La cordillera Bética, Ch. Barrois y Alb. Offret, p. 199.—Rocas eruptivas de Ronda, M. Lévy y J. Bergeron, p. 203.—Geología de Gerona, L. M. Vidal, p. 209.—La cordillera Bética, Ch. Barrois y Alb. Offret, p. 381.—Pizarras, neis y calizas del sur de Andalucía, Ch.

Barrois y Alb. Offret, p. 385.—Brechas calizas de las alpujarras y las brechas hulleras del Norte de Francia, Ch. Barrois y Alb. Offret, página 389.—Fósiles terciarios de Cataluña, J. Almera y A. Bofill, p. 393.—Rocas de Nuria, J. Almera, p. 441.

B. Tomos disponibles de la primera serie.

- TOMO XIV**
(1887) Especies fósiles de España, L. Mallada, p. 1.—Cuenca hullera de Cifera y Matallana (León), L. Mallada, p. 173.—Estado del mapa geológico de España el 1887, p. 209.—Índice de publicaciones mapa geológico de España, 1873 a 1887, p. 217.
- TOMO XV**
(1888) Geología de Mallorca y Menorca, H. Hermite, p. 1.—El Trías de Menorca y Mallorca, M. H. Nolau, p. 234.—Tramos senonense y danés en España, R. Nicklés, p. 243.—Yacimiento de la Pistomesita en La Murria, 1888, M. Gourdon, p. 247.—Geología de Santander, G. Puig y R. Sánchez, p. 249.
- TOMO XVI**
(1889) Geografía y geología de Tarragona, L. Mallada, p. 1.—Manantiales minero-medicinales de Luzón, J. Centeno, A. Rosario y Sales, J. de Vera y Gómez, p. 177.—Terremoto de Andalucía en 1884 y constitución geológica, por la Comisión de la Academia de Ciencias de París: Prólogo, p. 299.—Introducción, p. 305.—Exposición y discusión, p. 309.—Notas de la Comisión del Mapa, p. 353.—Propagación de las sacudidas, M. Fouquet, M. Lévy, p. 381.—Catálogo de rocas, D. Cortázar (Facultad de Medicina), p. 301.
- TOMO XVII**
(1890) Geología de la provincia de Segovia, D. Cortázar, p. 1.—Edad geológica del territorio de Morón de la Frontera, S. Calderón, p. 235.—Terremoto de Andalucía en 1884 y constitución geológica, por la Comisión de la Academia de Ciencias de París.—El Sur de Andalucía, sierras de Tejada y Nevada, Ch. Barrois, A. Offret, p. 243.—Serranía de Ronda, M. Lévy, Bergeron, p. 325.—Región epigénica de Andalucía y origen de sus ofitas, S. Calderón, p. 500.
- TOMO XVIII**
(1891) Catálogo de fósiles de España, L. Mallada, p. 1.—Terremoto de Andalucía en 1884 y constitución geológica por la Comisión de la Academia de Ciencias de París, p. 255.—Yacimiento titónico cerca de Cebra, W. Kilian, del Laboratorio de Geología de Sorbonne, p. 449.—La cuenca hullera de Valderrueda (León), Guardo (Palencia), L. Mallada, p. 467.
- TOMO XIX**
(1892) Geología de la provincia de Zaragoza, P. Palacios, p. 1.—Fósiles de los terrenos terciarios de Cataluña, J. Almera, A. Bofill, p. 115.—El terreno siluriano de Barcelona, Ch. Barrois, p. 245.—Terremoto de Andalucía en 1884 y constitución geológica, por la Comisión de la Academia de Ciencias de París, p. 261.—Paleontología de los terrenos secundarios y terciarios de Andalucía, M. Kilian, p. 263.—Índice de la Memoria de la Comisión francesa sobre los terremotos de Andalucía, p. 387.
- TOMO XX**
(1893) Trabajos geológicos. M. Fernández de Castro, p. 1.—Discurso acerca de la formación física de la Tierra, M. Fernández de Castro (Ateneo de Madrid), p. 17.—Rocas hipogénicas de la isla de Cuba, R. Adán de Yarza, p. 71.—Apuntes geológicos de Sagua de Tánamo a Santa Catalina de Guantánamo (Cuba), V. Pellitero, p. 89.—Investigaciones geológicas (provincias de Alicante y Valencia), R. Nicklés, p. 99.—Terreno terciario del Guadalquivir (Sevilla), S. Calderón, p. 313.—Geología de los alrededores de Albarracín, D. L. Calvo, p. 319.—Roca eruptiva de Fortuna, R. Adán de Yarza, p. 349.—Índice general, alfabético, de autores, de la primera serie (tomos I al XX) de este Boletín, p. 355.—Obras publicadas por la Comisión ejecutiva del Mapa Geológico de España, p. 389.

Segunda Serie

- TOMO XXI** (1894) Cavernas y simas de España, G. Puig y Larraz, p. 1.—Notas bibliográficas (1893-1894), G. Puig, p. 393.
- TOMO XXII** (1895) Los esquinoides fósiles de la Isla de Cuba, G. Cotteau, J. Egozcue y Cía, p. 1.—Estructura geológica del Archipiélago balear, H. Nolau, p. 101.—Estratigrafía y paleontología de la provincia de Burgos, M. Larrazet, p. 121.—Flora pliocena de Barcelona, J. Almera, p. 145. Oñtas de la provincia de Navarra, P. Palacios, p. 173.—Bibliografía, G. Puig y Larraz, p. 249.—Publicaciones de la Comisión del Mapa Geológico de España, (1873-1892), p. 273.
- TOMO XXIII** (1896) Formaciones de origen marino de la Gran Canaria, A. Rothpletz y W. Simonelli, p. 1.—La fauna pliocena del Sur de España, J. Schrodtt, p. 8.—Huevos fósiles de Cevico de la Torre (Palencia), M. de Olavarría, p. 133.—El terreno estrato-cristalino de Navarra, P. Palacios, p. 139.—Los terrenos secundarios de Murcia, Almería, Granada y Alicante, R. Nicklés, p. 145.—Criaderos argentíferos de la Aceveda y Robregordo (Madrid), R. Sánchez Lozano, p. 151.—Moluscos eocenos del Pirineo catalán, Cossmann, p. 167.—Cefalópodos triásicos de España, P. Palacios, p. 199.—Hipuritos de Cataluña. Compendiado de M. Douvillé, G. Puig y Larraz, p. 211.—Notas bibliográficas (1896), G. Puig y Larraz, p. 279.
- TOMO XXIV** (1897) Fósiles de los terrenos pliocenos de Cataluña, J. Almera, A. Bofill, p. 1.—Noticia de la Isla Cabrera (Baleares), H. Nolau, p. 225.—Exploraciones subterráneas en Baleares y Cataluña, A. Martel; traducción y notas de G. Puig y Larraz, p. 229.—Notas bibliográficas (1897), G. Puig, p. 259.
- TOMO XXV** (1898) Las aguas de España y Portugal, H. Bentabol y Ureta, p. 11.—Cavernas de la provincia de Segovia, Cueva de la Solana de la Angostura, T. Llorente, p. 349.—Notas bibliográficas (1898), G. Puig, p. 337.
- TOMO XXVI** (1899) La cuenca carbonífera de Bémez, L. Mallada, p. 1.—Fósiles devonianos de Santa Lucía, P. Oehlert. Traducción R. Sánchez Lozano, p. 81.—Criaderos de hierro de España, L. Mallada, p. 153.—Geología de Cáceres, R. Sánchez Lozano, p. 205.—Hachas de piedra pulimentada, D. de Cortázar, p. 221.—Criaderos de cobre en Menorca y en Granada, R. Sánchez Lozano, p. 233.—Sondeo en Linares (Jaén), G. English, p. 245.—Sondeo de Valverde (Ciudad Real), C. Coello, p. 253.—Notas bibliográficas (1899), G. Puig, p. 257.
- TOMO XXVII** (1900) La Cuenca carbonífera de Sabero (León), L. Mallada, p. 1.—Fósiles devonianos de Santa Lucía, P. Oehler; traduc. R. Sánchez Lozano, p. 67.—Excursiones de la Sociedad geológica de Francia, en Barcelona, en 1898, p. 89.
- TOMO XXVIII** (1901) Yacimientos cupríferos de Palencia, R. A. de Yarza, p. 1.—Yacimientos de estaño de Pontevedra, R. S. Lozano, p. 11.—Yacimientos de plomo de Sierra Nevada, R. S. Lozano, p. 25.—Los terrenos secundarios de Murcia, Almería, Granada y Alicante, R. Nicklés, p. 35.—Fenómenos de cobijadura en la zona subbética, R. Nicklés, p. 41.—El país vasco en las edades geológicas, R. Adán de Yarza, p. 45.—Sobre la teoría de las zonas de cobijadura, R. A. de Yarza, p. 63.—Fenómenos de cobijadura en la zona subbética, R. Nicklés, p. 77.—La cuenca carbonífera de Guardo (Palencia), R. Sánchez Lozano, p. 106.—Moluscos eocénicos del Pirineo Catalán, M. Cossmann, p. 135.—Vegetales terciarios de Cataluña, P. Fliche, profesor de Nancy, p. 153.—Aguas artesianas de Figueras, por R. S. Lozano, p. 167.—Alumbramiento de aguas en Madrid, A. Montenegro, Ingeniero Industrial, p. 171.—Estu-

- dios hidrogeológicos en España, D. de Cortázar, p. 177.—Estudios hidrogeológicos (Madrid), H. Bentabol, p. 209; J. García del Castillo y C. Rubio, p. 241; R. S. Lozano y M. A. Aravaca, p. 265; R. Adán de Yarza, p. 297.—Aguas y pozos de los barrios bajos de Madrid, L. Mallada, p. 321.
- TOMO XXIX** (1908) Geología de Murcia, M. Pato y Quintana, p. 1.—Estudios hidrogeológicos (Toledo), C. Rubio, E. Villate y A. Kindelan, p. 159.—Estudios hidrogeológicos (Guadalajara), M. Alvarez Aravaca, p. 227.—Estudios geológico-mineros (Guadalajara), E. Naranjo, p. 281.—Explosión de gases no inflamables en una mina, D. de Cortázar, p. 303.—Minas de tungstato de hierro en término de Casayo (Orense) y de Montoro (Córdoba), L. Mallada, p. 315.—Mapa topográfico de Murcia, M. Pato.—Mapa de la cuenca del Tajo (Toledo), C. Rubio, E. Villate y A. Kindelan.
- TOMO XXX** (1909) Hidrología del Tajo (Madrid), C. Rubio, A. Kindelan, p. 9.—Hidrología del Llobregat (Barcelona), L. Santamaría, A. Marín, p. 31.—Yacimientos de petróleo y azufre en Cádiz, L. Mallada, p. 53.—Hidrología subterránea en Villena (Alicante), L. Vidal, R. Sánchez Lozano, p. 67.—Con siete láminas de estudio hidrológico de Madrid, Cuenca, Barcelona, Villena y Zaricejo.—Hidrología subterránea del Llano de Barcelona, C. Rubio, A. Kindelan, p. 93.—Hidrogeología del Tajo, M. Alvarez Aravaca, p. 103.—Hidrología superficial y subterránea de Gerona, H. Bentabol, p. 129.—Alumbramiento de aguas de Nebreda para la villa de Lerma (Burgos), R. S. Lozano, p. 209.
- TOMO XXXI** (1910) Congreso internacional de geología, Estocolmo (1910), R. Adán de Yarza y C. Rubio, p. 5.—Congreso internacional de Geología práctica de Dusseldorf (1910), R. Sánchez Lozano y A. Gálvez Cañero, p. 187.—14 láminas relativas a Escandinavia, Spitzberg, etc.
- TOMO XXXII** (1911) Estudio geológico-minero de la Guelaya (Marruecos), C. Rubio, página 33.—Aguas minero-medicinales de Vallfogona de Riucorp, J. Almera, p. 95.—La intensidad de la gravedad, M. Barandica, p. 101.—Mamíferos y aves del Cuaternario de la Península Ibérica, E. Harlé, p. 135.—Datos hidrogeológicos de Guadix y Baza (Granada), M. Aravaca, p. 165.—Terremotos de Murcia en 1911, R. Sánchez Lozano y A. Marín, p. 179.—Estado de la minería en Murcia, R. Adán de Yarza, p. 215.—Minas de Calafatita de Benahadux (Almería), A. Marín, p. 223.—Publicaciones de la Comisión del Mapa Geológico de España (1893-1909), p. 243.—Hidrología subterránea, p. 255.—H. Bentabol. Informe sobre probabilidades de encontrar aguas subterráneas en Adahuesca (Huesca), p. 259.—Aguas subterráneas de Riudoms (Tarragona), H. Bentabol, p. 273.—21 láminas relativas a topografía, geología y minería de la zona española de Marruecos, mapa gravimétrico de España, Calafatita de Benahadux, etc.
- TOMO XXXIII** (1912) Geología de Toledo, L. Mallada, E. Dupuy de Lôme, p. 9.—Sondeo en la cuenca carbonífera de Guardo (Palencia), R. S. Lozano, p. 103.—Microfotografía de colores en las rocas, D. Orueta, p. 117.—Cavernas de la cuenca del río Iregua (Logroño), J. Garín, p. 123.—Cavernas de Vizcaya, A. Gálvez Cañero, p. 151.—Criaderos de wolfram en Oliva y Zainos (Badajoz), J. Sacristán, p. 199.—Hidrología subterránea, p. 205.—Hidrología subterránea de la cuenca del río de Almería, R. Sánchez Lozano, p. 207.—Aguas subterráneas de Buñol (Valencia), M. Alvarez Aravaca, p. 219.—Tres láminas relativas al mapa geológico de la provincia de Toledo, sondeo en la mina «La Constancia» de Cervera de Río Pisuerga (Palencia) y microfotografía en colores.
- TOMO XXXIV** (1913) Sondeos para investigar la prolongación de senos hulleros, L. de Adaro, p. 9.—Costa de la provincia de Lugo, P. H. Sampelayo, p. 81.—

Sales potásicas en Cataluña, C. Rubio y A. Marín, p. 173.—Cuéncia hídrica del Guadalbarbo, L. Mallada y A. Carbonell, p. 231.—Los gases combustibles en las aguas minerales, E. Hauser, p. 257.—La tectónica en relación con las aguas minero-medicinales, R. Sánchez Lozano, p. 295.—Lignitos. Cuenca cretácea de Berga, L. Suárez del Villar, página 367.—Nueve láminas: cortes, planos y rías de Asturias, regiones potásicas catalanas.

TOMO XXXV Congreso Geológico Internacional del Canadá. XIIª Sesión, 1913.—(1914) Idea general del Canadá, p. 17.—Temas discutidos, p. 63.—Expedición geológica a Ontario, Sudbury, Cobalt, Porcupine, p. 115.—Reservas mundiales de carbón, pág. 191.—Seis láminas, yacimientos mineros, mapas y mapamundi.

TOMO XXXVI Formación vealdense en el Pirineo, P. Palacios, p. 9.—El Jurásico superior de Lérida, L. Vidal, p. 17.—Geología de Alicante, P. Novó y Chicarro, p. 57.—Meridiana geográfica de Santander, R. Aguirre, página 149.—Trabajos mineros romanos de Arditurri, Oyarzun, F. Gascue, p. 219.—Situación de la antigua Ojasso, F. Gascue, p. 231.—La Sierra de los Filabres (Almería), A. Sierra, p. 239.—Fósiles de Galicia. Fauna paleozoica de Lugo, P. H. Sampelayo, p. 277.—Hidrología subterránea.—Aguas subterráneas del río de Ahnería, R. Sánchez Lozano y A. Marín, p. 300.—17 láminas, geología de Lérida, Alicante, Filabres, Serón, Villaodrid y Lugo.

TOMO XXXVII Sondeo de Caldones (Asturias), M. Ruiz Falcó, p. 1.—Regiones petrolíferas de Andalucía, J. Gavala, p. 27.—Regiones petrolíferas en la Extremadura portuguesa, P. Choffat, p. 215.—Regiones petrolíferas en Huidobro (Burgos), J. Gavala, p. 265.—Afloramiento de basalto en el Cretáceo de Navarra, P. Palacios, p. 275.—Yacimientos prehistóricos de Lugo y Madrid, P. H. Sampelayo, p. 279.—Nueve láminas, sondeo de Caldones, regiones petrolíferas de Andalucía y Huidobro.

TOMO XXXVIII Constitución estratigráfica del Moneayo, P. Palacios, p. 3.—Geología de Marruecos.—Zona de Ceuta, E. Dupuy de Lôme y J. Milans del Bosch, p. 30.—Zona de Tetuán, E. Dupuy de Lôme y J. Milans del Bosch, p. 77.—Zona Atlántica, E. Dupuy de Lôme y J. Milans del Bosch, p. 120.—Zona de Melilla, A. del Valle y P. Fernández Iruégas, p. 171.—Los minerales de Guelaya, A. del Valle y P. F. Iruégas, p. 255.—Las rocas hipogénicas de Marruecos, A. Marín, p. 275.—Hidrogeología, Dupuy de Lôme y P. Novó y Chicarro. En Alicante, p. 375. En Lorca (Murcia), p. 47. En Cieza, p. 425.—14 láminas, mapas mineros de Marruecos, Alicante, Lorca y Cieza.

TOMO XXXIX La Serranía de Grazalema (Cádiz), J. Gavala, p. 1.—La región hídrica de Burgos, R. Sánchez Lozano, p. 145.—El molibdeno en Granada y Almería, J. M.ª Rubio y J. Gavala, p. 165.—El turbal de Roquetas (Almería), J. M.ª Rubio, p. 195.—Yacimiento aurífero de Rodalquillar, A. Marín y J. Milans Bosch, p. 209.—Criaderos de azufre de Benamaurel (Granada), G. O'Shea y E. Dupuy de Lôme, p. 229.—Yacimiento de carbonato de magnesia en España, E. Dupuy de Lôme y C. F. Maquieira, p. 253.—Yacimiento de minerales fósiles en Rincón de Ademuz (Valencia), E. Dupuy de Lôme y C. Fernández de Caleyá, p. 297.—Sales potásicas de Cataluña, C. Rubio y A. Marín, p. 349.—Hidrología subterránea de Almería, J. M.ª Rubio, p. 385.—Yacimiento de lignito en Arenas del Rey, Jatar y Jayena (Granada), A. Alvarado, p. 421.—Operaciones en Palencia, Barruelo, San Sebastián, Palma de Mallorca, por la Comisión de Meridianas, p. 433.—Los terrenos secundarios del Estrecho de Gibraltar, E. Dupuy de Lôme y J. Milans del Bosch, p. 561.—30 láminas correspondientes a Grazalema, Burgos, Roquetas, Benamaurel, Ademuz, Cataluña, Arenas del Rey y Gibraltar.

TOMO XL
(1919)

Los terrenos mesozoicos de Navarra, P. Palacios, p. 3.—Formación cambriana en el Pirineo Navarro, P. Palacios, p. 159.—El cretáceo y el eoceno de Guipúzcoa, V. Kindelan, p. 165.—La Serranía de Ronda, D. Orueta, p. 201.—Índice geográfico de publicaciones del Instituto Geológico.—Índice alfabético de autores del Instituto Geológico.—Láminas. Geología: Navarra, Guipúzcoa, Pásajes y Gadetavia. Fotografías panorámicas y de fósiles.

Tercera Serie

TOMO XLI
(1920)

Los yacimientos catalanes de bauxita, P. H. Sampelayo, p. 1.—Versión española de la obra de Suess «La Faz de la Tierra», P. Novó y Chicarro, p. 149.—Los terremotos de Alicante y Murcia en 1919, V. Kindelan y J. Gorostizaga, p. 247.—La prolongación oriental de la cuenca de Belmez, A. Carbonell, p. 279.—El carbonífero de Tamajón (Guadalajara), L. Pérez Cossío, p. 311.—Zona oriental de Málaga: Estratigrafía y yacimientos metalíferos, A. Alvarado, p. 385.—Rocas ornamentales de la Serranía de Ronda, E. Rubio, p. 423.—Yacimientos de hierro de Riaza (Segovia), J. Milans del Bosch, p. 449.—Ocho láminas: Bauxitas catalanas.—Cuenca carbonífera de Belmez.—Carbonífero de Guadalajara.—Sondeos de Retiendas.—Mapa minero de Nerja.—Rocas de Ronda.—Criaderos de hierro de Riaza.

TOMO XLII
(1921)

Neorología: D. Lucas Mallada, D. de Cortázar, p. XV.—Publicaciones de D. L. Mallada en el Instituto Geológico, p. XXV.—Geología de Marruecos, A. Marín, p. 1.—Geología Norte-Marroquí, E. Dupuy de Lôme y J. Milans del Bosch, p. 27.—Hidrología del Rif Oriental, A. del Valle y P. Iruégas, p. 143.—Geología de las Chafarinas, A. Marín, p. 224.—Xexauen, J. Milans del Bosch, p. 251.—Los lignitos y pizarras bituminosas de Rubielos de Mora (Teruel), J. Gavala, p. 263.—Las canteras de Vallecas (Madrid), H. Obermaier, P. Wernert y J. Pérez de Barradas, p. 303.—Aguas subterráneas en el terciario de la bahía de Cádiz, J. Gavala, p. 333.—Meridianas de Huelva, Riotinto, Bilbao, Puertollano, Granada, Teruel, Hiendelaencina, Sevilla, Jerez, Vitoria, Pamplona, Santa Cruz de Tenerife, Las Palmas (Canarias) y Córdoba, Geología de Beni-Said (Rif), A. del Valle y P. F. Iruégas, p. 396.—Geología de Monte Mauro (Beni-Said), A. Marín, p. 399.—Láminas: Mapa de la Península Norte-Marroquí.—Cortes transversales.—Mapas hipsométrico, pluviométrico e hidrográfico del Rif Oriental.—Pozos existentes en la llanura del Garet.—Hidrogeología de las llanuras del Garet y el Guerruau.—El terreno entre Tetuán y Xexauen.—Mapa del Puerto de Santa María y Puerto Real.—Mapa de Rubielos de Mora (Teruel).—Geología de Beni-Said.

TOMO XLIII
(1922)

Petrografía de Sierra Almirajara, de Sierra Nevada y las Alpujarras, D. de Orueta, p. 1.—Las blendas de Cartagena, R. Guardiola, p. 159.—Procedimiento óptico para estudio de minerales isotropos y maclas múltiples, D. de Orueta, p. 197.—Sondeo en el carbonífero de León, R. de Urrutia, p. 217.—Límite de manchas arcaicas en los confines de Huelva con el Alemtejo, E. Dupuy de Lôme, P. Novó, p. 233.—Caracteres ópticos de los feldespatos triclinicos, D. de Orueta, p. 277.—Métodos del Instituto Geológico sobre petrografía cuantitativa, E. Rubio, p. 299.—Formación y composición de los fosfatos del Norte de África y de España, L. Menéndez Puget, p. 329.—Láminas: Geología de Sierra Almirajara.—Corte de la Sierra de Cartagena.—Estratos primarios de Asturias y León.—Estratigrafía de Guardo, Brañuelas y Sabero.—Recubrimientos.—Manchas fronterizas con Portugal.



- TOMO XLIV (1923)** La cuenca potásica de Cataluña, A. Marín, p. 3.—Sales de la cuenca potásica de Cataluña, L. M. Puget, p. 79.—Sondeos en la cuenca potásica de Cataluña, A. de Larragán, p. 101.—Los fosfatos del N. de África y del levante de España, P. H. Sampelayo, p. 211.—Yacimientos de fosfato de cal del protectorado francés en Marruecos, J. Miláns del Bosch, p. 255.—Tectónica y formaciones filonianas de plomo en la región E. de Sierra Morena, A. de Alvarado, p. 297.—Deslinde del Eoceno en Guipúzcoa, J. Mendizábal, p. 447.—Láminas: Cuenca potásica de Cataluña y corte.—Valle del Cardoner (Suria) y cortes 2 al 5.—Corte del yacimiento.—Sondeos en Puigreig, Aviñó y en Mongay.—Potasímetro Puget.—Riqueza de las muestras de los tres sondeos y distribución del tiempo.—Cortes de los sondeos de Cardona, Castellfullit, Balsareny y Torá.—21 microfotografías de fosfatos.—Los criaderos de fosfatos de Marruecos.—Trincheras de reconocimiento en Uad-Zem. Geología de Villanueva del Río.—Filones de El Mimbres, San Miguel y filón principal de la Cruz, Grupo minero «Virgen de Araceli».—Filón de los Guindos.—Minas del Centenillo. Filón Mirador.
- TOMO XLV (1924)** La edad de la tierra por la radioactividad, J. Meseguer, p. 3.—El Carbonífero oculto bajo el Secundario de Palencia y Santander, E. Dupuy de Lôme y P. de Novo, p. 23.—Topografía glacial del macizo del Trampal-Calvitero (Héjar), J. Carandell, p. 73.—Zona argentífera en Somosierra, R. F. Aguilar, p. 97.—Los yacimientos de azufre en Murcia y Albacete, J. Meseguer, p. 131.—Métodos del Instituto Geológico sobre petrografía cuantitativa, E. Rubio, p. 215.—El pantano de Bárcena y Posada en el río Sil, P. H. Sampelayo, p. 233.—Las cuencas del Navia y del Ibiás, P. H. Sampelayo, p. 251.—Sotos de Urroz.—Embalses en la Regata Leutz, J. Gavala, p. 263.—Pantano de Lerate, J. Gavala, p. 285.—Aprovechamiento de aguas torrenciales en Canarias, A. Marín y J. Mendizábal, p. 303.—Cuenca hidrológica de la Sierra de Mijas, E. Dupuy de Lôme, p. 315.—Abastecimiento de aguas de Sevilla, J. Gavala y J. Miláns del Bosch, p. 341.—Láminas: el Carbonífero oculto bajo el Secundario de Palencia y Santander.—Espesores y cortes geológicos que cubren el Carbonífero.—La zona argentífera de Somosierra.—Serrata de Lorca.—Coto menor de Hellín.—Minas de Cenajo.—Cuenca del Sil y cortes.—Pantano de Lerate. Plano y cortes.—Aguas torrenciales de Canarias. Lámina micrográfica.—Hidrología de la Sierra de Mijas, manantiales y corte.—Cuenca del Guadaira, manantial de Zacatín, cañada de Fuensanta.
- TOMO XLVI (1926)** Necrología. Orueta, por V. Kindelan, p. IX.—Esquistos bituminosos de Ribesalbes (Castellón), P. H. Sampelayo y M. de Cincúnegui, p. 1.—Yacimientos manganesíferos de Huelva, J. Hereza, p. 165.—Restos fósiles de tortugas, J. R. Bataller, p. 145.—Petrografía sideral, J. Meseguer, p. 179.—Cuenca del Tajo (Guadalajara), V. Kindelan, p. 197.—Prospección geofísica, J. Miláns del Bosch, p. 215.—Láminas: Ribesalbes.—La mina «Concha».—Cuenca neogénica del Vallés-Penedés.—Cuenca del Tajo (Guadalajara).
- TOMO XLVII (1.ª parte) (1926)** Congreso Geológico Internacional. XIV Sesión. Madrid, 1926.—Memoria acerca del mismo, E. Dupuy de Lôme.—Introducción, Reseña histórica y Organización.—El Congreso de Madrid, p. 81.—Excursiones, p. 259.
- TOMO XLVII (2.ª parte) (1926)** Tectónica cántabro-asturiana, E. Cueto, p. 7.—La cuenca terciaria del Ebro, A. Marín, p. 111.—Terciario continental ibérico, J. Royo, p. 129.—Vertebrados del cretáceo español, J. Royo, p. 169.—Posibles depósitos de hidrocarburos en terrenos azufreros del SE. de España, V. Kindelan, p. 177.—Foco del megasismo japonés de 1923, V. Inglada, p. 215.—Sismo del Bajo Segura de 1919. Coordenadas del foco, V. Inglada, p. 247.—Fracturas metalizadas de Andújar, A. de Al-

- varado, p. 265.—Foraminíferos terciarios de Córdoba, A. Carbonell, p. 281.—Estudio petrográfico de la provincia de Córdoba para la interpretación de la línea tectónica del Guadalquivir, A. Carbonell, p. 289.—Vertebrados terciarios de Córdoba, A. Carbonell, p. 299.—*Archeocynthidos* de la Sierra de Córdoba y análisis tectónico, A. Carbonell, p. 309.—Fósiles vertebrados en el Plioceno de Logroño, E. Carvajal, p. 317.—Sobre anomalías de la gravedad en España y compensación isostática probable, G. Sans Huelin, p. 335.—Estudio geofísico de la cuenca potásica de Cataluña, M. Barandica, J. G. Siñeriz, J. M. del Bosch, R. Gil y G. Sans Huelin, p. 349.—Anomalías de la gravedad y constitución geológica de España, M. Barandica y J. M. del Bosch, p. 381.—Génesis de criaderos metalíferos, P. Fábrega, p. 405.—Estratigrafía y mamíferos miocenos de Nombrevilla (Zaragoza), F. H. Pacheco, p. 439.—Láminas: Región cántabro-asturiana.—Cuenca del Ebro entre Fayón y Caspe.—Región Sureste de Logroño y corte.—La cuenca potásica de Cataluña.—Alrededores de Nombrevilla.
- TOMO XLVIII (1.ª parte) (1927)** La Potasa, A. Marín.—Prólogo, introducción y orígenes.—Cuenca de Alsacia, p. 65.—Criaderos de Alemania, p. 103.—Cuenca española, p. 149.—Yacimientos potásicos, p. 287.—Láminas: Cuenca potásica de Alsacia.—Cuenca alemana.—Cuenca de Cataluña con cinco cortes.
- TOMO XLVIII (2.ª parte) (1927)** La Potasa, A. Marín.—Explotación de minas potásicas, p. 10.—Tratamiento de las menas.—La potasa como abono.—La potasa en la industria química.—Producción y mercado.
- TOMO XLIX (1927)** Necrología, D. Daniel de Cortázar, por V. Kindelan, p. I.—Reorganización del Instituto, p. XXI.—Mapa geológico. Memoria de la Hoja de Cantillana, J. Gavala, p. 1.—Geología y tectónica andaluza, A. Carbonell, p. 81.—Cádiz y su bahía, J. Gavala, p. 217.—Zona diamantífera de Carratraca (Málaga), E. Rubio, p. 247.—Hundimientos de la Frontera (Cuenca), V. Kindelan, A. Alvarado y A. Larragán, p. 267.—Importancia minera de la zona española de Marruecos, A. Marín, p. 287.—Formación geológica de Cabo de Agua, A. del Valle, p. 321.—Láminas: Minas de la Reunión.—Corte A-B.—Cortes transversales.—Pozo n.º 5.—Cuenca del Biar (corte).—Fósiles del Biar y de Cantillana.—Mapa y corte geológico.—Estuario del Guadalete: época de su excavación y época actual.—Croquis geológico de Carratraca.
- TOMO L (1928)** Métodos Geofísicos de Prospección, J. García Siñeriz.—El método gravimétrico, p. 5.—El magnético, p. 92.—El eléctrico, p. 183.—El sísmico, p. 314.—Láminas: Plano geológico de Villanueva de las Minas. Cortes geológicos de Villanueva de las Minas.—Sondeo eléctrico.—Corte del Pozo n.º 7 y perfiles eléctricos.—Plano de Piedra de la Sal. Curvas equipotenciales.—Curvas de equirresistividad.—Conclusiones geofísicas.—Investigación gravimétrica.—Líneas isógamas.—Líneas isodinámicas de la intensidad horizontal y vertical.—Líneas de la misma declinación.
- TOMO LI (1929)** Geología del Estrecho de Gibraltar, J. Gavala, p. 1.—Cuenca potásica del NO. de España, A. Marín, p. 71.—Sales potásicas de Navarra, A. del Valle, p. 87.—Yacimientos de plomo, cinc y aznres, A. Alvarado, p. 109.—El fosfato de Sierra de Espuña, J. Gorostiza, p. 133.—Yacimientos prehistóricos de Madrid, J. Pérez Barradas, p. 153.—Los combustibles líquidos nacionales. Estadísticas, L. Montesino, p. 323.—Estudio geofísico de la falla del Guadalquivir, J. G. Siñeriz, p. 367.—XV.º Congreso Geológico de Pretoria, J. G. Siñeriz y J. Mendizábal, p. 401.—Láminas: Mapa tectónico de Gibraltar.—Cuenca potásica de Cataluña.—Corte teórico de las Salinas de Olaz.—Corte de Sierra Espuña.—Mapa geológico de Sierra Espuña.—Fósiles, cerámica y hachas prehistóricas de Madrid.

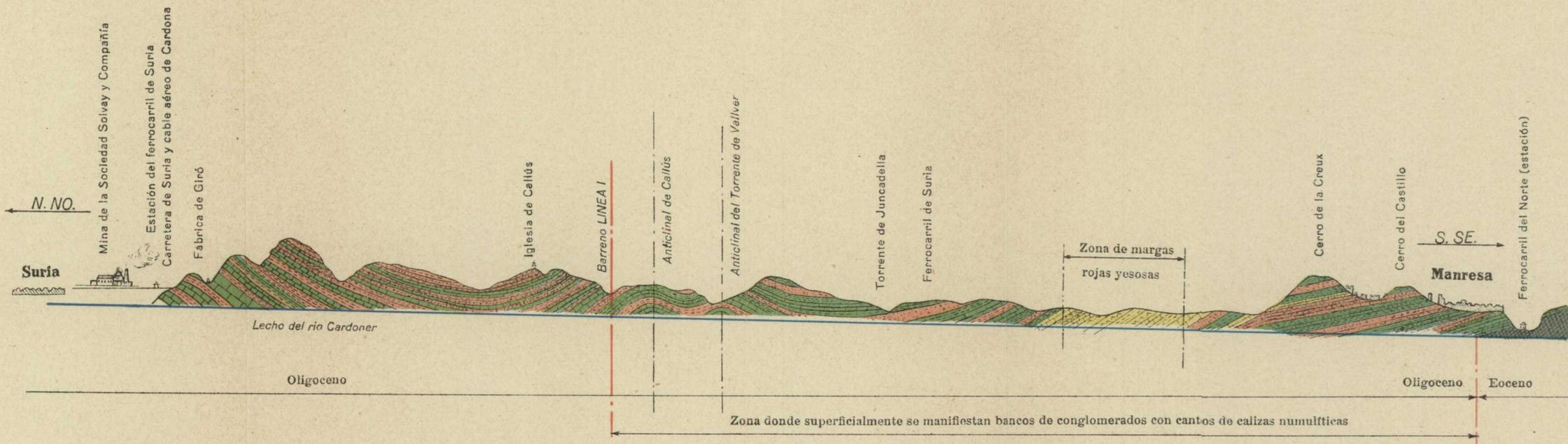
TOMO LII
(1930)

Biografía de D. César Rubio, por L. de la Peña, p. VII.—Prólogo, p. XI.—Aprovechamiento de aguas en las islas Canarias, J. Gavala y E. Goded, p. 1.—Las rocas eruptivas de la mancha granítica al E. del Besós, M. San Miguel de la Cámara, p. 105.—Criaderos con estannina de la provincia de Cáceres. Estudio con el material del Instituto, Enrique Rubio y S. Piña, p. 159.—Vegetales fósiles del Carbonífero español, M. Ruiz Falcó y R. Madariaga, p. 199.—Las *Spiriferina* de las colecciones paleontológicas del Instituto, J. R. Bataller, p. 225.—Pizarras bituminosas. Datos obtenidos en el sondeo núm. 1 de Puertollano, A. de Alvarado y L. Menéndez Puget, p. 251.—El terremoto de Montilla, A. Carbonell T.-F., p. 293.—Nota sobre el Triásico de Alicante M. de Cincúnegui, p. 333.—Noticia sobre el hallazgo del *Aspidiscus cristatus* Lamark, en el Cenomanense de España, F. Gómez Lluca, página 345.



INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN LA ZONA POTÁSICA DE CALLÚS

CORTE GEOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO SEGÚN UN PLANO VERTICAL ENTRE SURIA Y MANRESA, SOBRE EL NIVEL DEL RÍO CARDONER



Escala { Horizontal 1:50.000
Vertical 1:10.000