

MEMORIAS
DEL
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

LA INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
DE LAS
MEDICIONES GEOFÍSICAS
APLICADAS A LA PROSPECCIÓN

T O M O V

POR

JOSÉ CANTOS FIGUEROLA
INGENIERO DE MINAS



CON UN PRÓLOGO

DEL

EXCMO. SR. D. JOSÉ GARCÍA SIÑERIZ
DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

MADRID
TIP.-LIT. COULLANT
MANTUANO, 49
1953

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.

PRÓLOGO

El tomo de la «Interpretación geológica de las Mediciones geofísicas» que prologamos es el quinto de los editados por el Instituto Geológico y Minero de España. En él se recoge, como en los precedentes, la labor desarrollada por la Sección de Geofísica Aplicada de nuestro Instituto, bajo la dirección de su Jefe actual, D. José Cantos. Este tomo lo integran veinte investigaciones geofísicas, que agrupadas por métodos son: nueve eléctricas, seis sísmicas, cuatro gravimétricas y una magnética.

Al prologar esta obra experimento una doble satisfacción: la de haber hecho su redacción un antiguo y querido discípulo y colaborador durante los dos últimos decenios en que fui Jefe de la mencionada Sección, y la de haber podido comprobar que, con mi paso por dicha jefatura, formé una verdadera Escuela, que empieza a dar sus valiosos frutos.

En las técnicas utilizadas últimamente se han introducido algunos perfeccionamientos, que son el tema de un capítulo. En él se trata de la variante dada al método del sondeo sísmico de refracción. También se destaca la ventaja de la utilización de la línea acumulativa de las resistividades en los sondeos eléctricos, modificación con la que se han obtenido magníficos resultados.

En esta obra se recopilan diez investigaciones hidrológicas; de ellas, se efectuaron siete por el método eléctrico; dos por el gravimétrico y una por el sísmico. La importan-

cia para la economía nacional de estas investigaciones es extraordinaria, ya que caso de efectuarse las obras proyectadas, como consecuencia de las mismas, permitirán llevar el agua a poblados sedientos y campos secos.

En Alicante se efectuó, por el método eléctrico, una investigación que tuvo por objeto situar, en profundidad, el contacto del Eoceno con las formaciones secundarias. Aquella varía de 30 a 70 m. en la zona indicada como de más probable éxito hidrológico.

La doble investigación hidrológica, por los métodos gravimétrico y eléctrico, solicitada por la Hermandad de Labradores de Ciudad Real, permitió situar las antiguas vaguadas bajo el Mioceno y los aliviaderos de este embalse subterráneo, con lo que se delimitan las zonas más aconsejables para la perforación de los pozos.

Una de las provincias típicas por sus necesidades hidrológicas es la de Almería, la cual tiene puestas sus esperanzas en las aguas subterráneas. En esta provincia, y por el método eléctrico, se ha podido ubicar sobre el Estrato cristalino un amplio pantano natural subterráneo, que comprende los pueblos de Abla, Ablucena y Fiñana, y en otra investigación posterior se ha descubierto una serie de formaciones, entre Agua Dulce y Dalías, que han de servir de base para importantes obras hidrológicas.

Es preocupación continua de nuestras autoridades la solución del problema del agua en Los Monegros, zona típica por sus precipitaciones escasas y de régimen desigual. En ella se ha efectuado un amplio estudio, con más de cien sondeos eléctricos, que han permitido fijar las zonas de más probabilidades de éxito en los alumbramientos, así como deducir la clase de agua que se encontrará, que, en muchos casos, sólo será útil para riegos.

También es conocida la escasez de agua en la zona comprendida por San Pedro del Pinatar, Cartagena y las sierras de Villora y Altaona; en ella, y por el método gravimétrico, se ha podido identificar una laguna subterránea extensa.

En estos momentos de pleno desarrollo industrial, es

fundamental la organización de trabajos encaminados al aumento de las reservas de materias primas, y entre ellas las de carbón. Por ello creyó oportuno esta Dirección, proyectar siete investigaciones del Carbonífero; de ellas, cuatro por el método sísmico, dos por el gravimétrico y una por el eléctrico.

Se efectuó una investigación sísmica en Cistierna para determinar los espesores de los terrenos terciarios y secundarios que recubren el supuesto Carbonífero. Por ella se dedujo que el Carbonífero está a una profundidad superior a los 630 m., y en la zona cercana de Prado a más de 540 metros.

De la doble investigación sísmica de Avilés y Cancienes se dedujo que existen pocas probabilidades para que se encuentre el Hullero productivo en las zonas de los afloramientos devonianos.

También se ha tenido un cuidado especial en la zona de Guardo, para continuar los trabajos iniciados en las investigaciones publicadas anteriormente. Por los métodos sísmico, gravimétrico y eléctrico se han podido determinar las zonas de acercamiento del Carbonífero a la superficie.

Es de importancia extraordinaria para la industria andaluza la posible prolongación de la cuenca carbonífera de Peñarroya, por la parte sur de la gran falla del Guadalquivir, en la zona de Bujalance. Con este fin se hizo una investigación por el método sísmico, primera de una serie proyectada, por la que se da como posible profundidad del techo del Paleozoico, de 330 a 600 metros. Por medio de un sondeo que se realiza en la actualidad se comprobará si existe o no el Carbonífero productivo.

Con el fin de descubrir zonas carboníferas totalmente nuevas, debajo de amplias extensiones ya conocidas del Terciario, se ejecutó un estudio gravimétrico al N. de la ciudad de Palencia, con el que se ha trazado el relieve de las diversas formaciones del subsuelo, que requieren una investigación sísmica para su identificación. En el período de trabajo que comprende las investigaciones publicadas en este tomo, se hicieron: una por el método sísmico, y otra

por el eléctrico, para la investigación de filones metálicos.

Una zona típica por su tradición de minas metálicas es la del Llano del Beal; según muchos mineros y geólogos encierra todavía grandes cantidades de galena, de importancia considerable para nuestra economía. Esta circunstancia fue motivo suficiente para efectuar el estudio eléctrico, que puso de manifiesto las profundidades a que están el techo de la caliza triásica y el Estrato cristalino, labor previa para la fijación de las posibles labores en el Llano del Beal.

Las minas de plomo de Linares necesitan una serie de reconocimientos para continuar su investigación y preparación. Entre los más interesantes está la fijación de la profundidad y configuración del Paleozoico y granito, que en la parte investigada tiene la forma de un valle suavemente ondulado, con inclinación al SSO. y profundidad de 240 a 300 metros.

Con esta obra esperamos llegue a conocimiento de organismos análogos de otros países la interesante labor realizada, en el campo de la Geofísica Aplicada, por el Ingeniero Sr. Cantos, cuya labor ya es conocida internacionalmente, tanto por los viajes de estudio efectuados como por los artículos científicos que ha publicado sobre tan interesantes temas.

JOSÉ GARCÍA SIÑBRIZ

CAPÍTULO PRIMERO

PRÓLOGO DEL AUTOR

Cuando hace ya 24 años entré en el Instituto Geológico y Minero de España, a formar parte de su entonces de reciente formación Sección de Geofísica Aplicada, no podía sospechar los límites de importancia que podría llegar a alcanzar esta rama de la ingeniería. Hoy ya no nos asusta saber que se pueden gastar con éxito económico más de 300 millones de dólares en un año, y entonces era motivo de severas críticas el que se hubiesen podido gastar 25.000 pesetas en una prospección de tanteo, si no se había conseguido el éxito completo y definitivo.

El fundador de nuestra Sección fue el Excmo. Sr. D. José García Siñeriz, cuya labor ha quedado impresa primeramente en un tratado de geofísica que fue la obra de más éxito del Congreso Internacional de Geología en Pretoria, en 1927, y posteriormente en cuatro grandes tomos, cuyo contenido son las investigaciones geofísicas realizadas bajo su dirección como Jefe de la Sección y con la ayuda del personal técnico de la misma.

Desde que entré en ella, hace ya tantos años, vengo colaborando con él intensamente en la totalidad de las prospecciones efectuadas; primeramente, en 1929, como

ingeniero auxiliar; poco más tarde como Jefe de campo; posteriormente, en 1940, como 2.º Jefe de la Sección, y desde 1947 como Jefe de la misma hasta la fecha.

De esta forma se han ido realizando hasta más de 70 investigaciones de importancia, perfeccionando de año en año los métodos empleados.

En este tomo V de los publicados, y que me ha correspondido el honor, como Jefe de la Sección, de componer, se incluyen 19 trabajos en los que se han aplicado los métodos sísmico, gravimétrico, magnético y eléctrico.

En ellos han colaborado conmigo los ingenieros de Minas Sres. Borrego y Gea, el primero como Jefe de campo, y ambos de notable laboriosidad y preparación. El ayudante de Minas Sr. Targhetta, cuya labor como geólogo de la Sección es ya bien conocida en nuestro Instituto; y como complemento indispensable los ayudantes Sres. Mora, Rubio y Melián, que además de efectuar las mediciones geofísicas con los aparatos, a ellos les corresponde la responsabilidad de los complicados cálculos hasta la obtención de los gráficos, base para la interpretación de los resultados de campo. Sin este conjunto no se hubiese conseguido nada parecido a lo obtenido durante tantos años de trabajo.

Antes de empezar la descripción de las investigaciones que figuran en este tomo, diremos algo sobre las modalidades e instrumentos con que se han aplicado cada uno de los métodos.

CAPÍTULO II

LOS MÉTODOS APLICADOS

Durante la etapa de investigaciones a que se refieren los trabajos motivo de esta obra, se han seguido empleando los mismos métodos que en los anteriormente publicados. Pero si bien los métodos fueron los mismos, no han sido totalmente iguales las modalidades en ellos seguidas, como indicaremos a continuación, por separado.

Método sísmico

En la mayor parte de las prospecciones que se citan se ha aplicado este método en la ya conocida forma del «sondeo sísmico» de refracción, fundado, como ya expliqué en otra ocasión (*), en la extinción de la energía sísmica, por tanto de su onda, a una distancia del barrenado función de la profundidad a que se transmite. Se parte en general de un barrenado común, como origen de línea y contralínea;

(*) «El sondeo sísmico de prospección», J. Cantos (Rev. de Geofísica, n.º 10).

pero algunas veces también se han extendido las estaciones en forma de líneas contrarias, partiendo de barrenos diferentes, situados a distancia convenida de acuerdo con la profundidad del horizonte principal a determinar. Esta modalidad tiene la ventaja de obtener la profundidad del contacto principal con mayor exactitud. La fórmula aplicada en ambos casos fue la conocida:

$$H = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

Otra modalidad aplicada en Baños de la Encina se debe al autor de este libro, que dio cuenta de ella en una comunicación dirigida al Congreso Internacional del Petróleo, en La Haya (*). En líneas generales se trata de lo siguiente:

EL MÉTODO DE CAMPO.—Consiste en dejar fijos los sismógrafos, desplazando las explosiones en línea recta y en ambos sentidos, para poder construir una línea dromocrónica con su contralínea correspondiente aplicando los datos suministrados. La virtud principal del procedimiento consiste en las posibilidades de interpretación de las dromocrónicas obtenidas, pues con el mismo número de sismogramas se pueden deducir muchas más consecuencias que por el método ordinario de origen común a toda la línea, y al mismo tiempo comprobar los resultados suministrados por aquél; por consiguiente, sirve para confirmar interpretaciones dudosas.

(*) José Cantos: «Une modalité d'application et d'interprétation de la méthode sismique.»

J. Cantos: «Comprobación por sondeo mecánico de una prospección sísmica en Miajadas». Revista de Geofísica, núm. 33, 1950.

J. Cantos: «La investigación sísmica en Baños de la Encina (Jaén)». Revista de Geofísica, núm. 37, 1951.

LAS DROMOCRÓNICAS.—Las dromocrónicas se pueden dibujar en diferentes formas, pero para simplificar los gráficos se las suele dibujar partiendo ambas de un eje común (fig. 1).

En esta última representación habrá que tener en

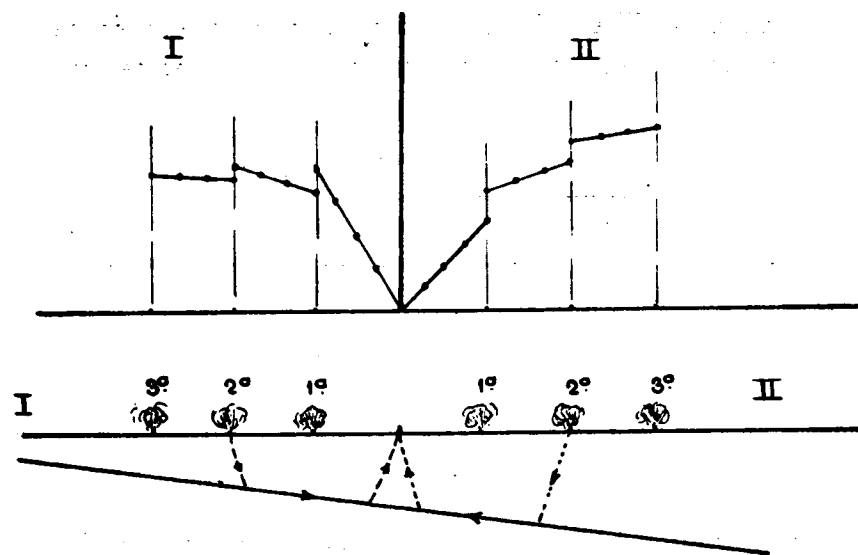


Fig. 1.

cuenta que el avance del rayo sísmico resulta contrario a la marcha de la línea dromocrónica correspondiente.

Pues bien, hecho el gráfico de esta manera resulta lo siguiente:

LOS ESCALONES DE LAS DROMOCRÓNICAS Y LAS VELOCIDADES APARENTES.—Cada grupo de sismogramas puede ser interpretado como se ha hecho en el caso de una línea sísmica ordinaria hasta la fecha; pero estos distintos grupos adolecen entre sí de que el recorrido del rayo sísmico, incluso para puntos de la misma distancia, ha sido diferente. Por

ejemplo, véase la figura 2. Cuando el contacto es inclinado, el recorrido EMM'4 corresponde a la misma distancia epicentral D que el E'NN'1, pero es diferente y produce distinto tiempo que aquél, dando lugar a un escalón en la dromocrónica. Estos escalones han sido el factor principal de nuestra interpretación. En efecto, cuando son ascendentes (línea II, fig. 1) indican que el rayo sísmico ha tardado más en llegar para la misma distancia epicentral,

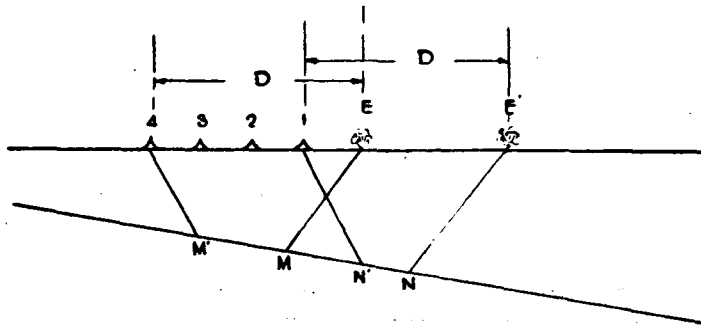


Fig. 2.

al avanzar el barreno y alejarse de los sismógrafos. Por consiguiente, está afectado por una estratificación o contacto de terrenos descendentes. Al revés ocurre en la contralínea I, que produce escalones descendentes.

VELOCIDADES APARENTES.—Como las velocidades aparentes obtenidas en la dromocrónica para los distintos tramos resultan aumentadas si el rayo sísmico ha sido ascendente y disminuídas si ha sido descendente, no olvidemos que tal como se muestran los diferentes parámetros de muestra dromocrónica, están en posición contraria al avance de las explosiones. Por ejemplo (fig. 1), en la línea I sube el terreno hacia la izquierda y avanza el rayo sísmico de cada explosión en sentido descendente y los paráme-

tros parciales o velocidades de cada tramo aparecen disminuídas.

VALOR DEL ESCALÓN.—Veamos ahora la importancia de este escalón y cómo su valor en tiempo puede ser utilizado para una comprobación del perfil del terreno obtenido por el método ordinario de cálculo.

La profundidad en el barreno, aplicando la fórmula corriente para capas inclinadas, es:

$$H = \frac{tV_1 - D \operatorname{sen}(i - \alpha)}{2 \cos i \cdot \cos \alpha} = \frac{D [1 - \operatorname{sen}(i - \alpha)]}{2 \cos i \cdot \cos \alpha}$$

cuando el rayo sísmico es ascendente por el contacto en cuestión (figura 3), y

$$h = \frac{tV_1 - D \operatorname{sen}(i + \alpha)}{2 \cos i \cdot \cos \alpha} = \frac{D [1 - \operatorname{sen}(i + \alpha)]}{2 \cos i \cdot \cos \alpha}$$

cuando avanza de A a E, o sea, en sentido descendente; t es el tiempo correspondiente al codo de la curva; V_1 , la velocidad verdadera de la capa superior; i , el índice de

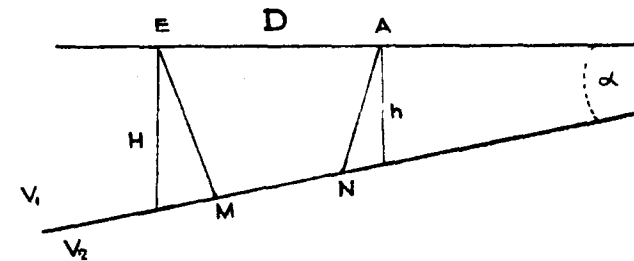


Fig. 3.

refracción, y α inclinación del contacto. Las fórmulas nos dan la profundidad en el barreno. Apliquémoslas a un ejemplo de capa descendente con relación al avance de las explosiones. Llamemos S_1, S_2, S_3, S_4 a la posición de los sismógrafos de la línea y E_1, E_2 a la posición de las explosiones. El trabajo se ordena en forma tal (fig. 4) que la

distancia mayor epicentral $E_1 S_4$ del primer barreno es igual a la menor $E_2 S_1$ del segundo, y así sucesivamente para todas las demás explosiones de la línea. Pero al dibujar la dromocrónica se manifiesta el mencionado escalón, debido, como hemos dicho, a que el recorrido E_1, MN, S_4

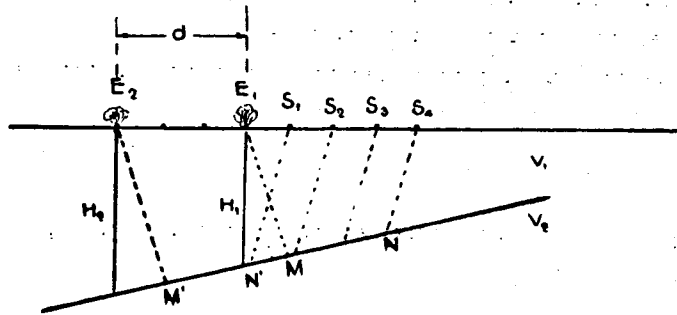


Fig. 4.

es en este caso menor que el $E_2, M' N', S_1$ en longitud y tiempo. Llamemos T_1 y T_2 a estos tiempos y H_1 y H_2 a la profundidad en cada barreno, tomada en el sentido de la vertical.

Se deduce de la mencionada fórmula que:

$$T_1 = \frac{1}{V_1} [2 H_1 \cos \alpha \cos i + D \sin (i - \alpha)]$$

y

$$T_2 = \frac{1}{V_1} [2 H_2 \cos \alpha \cos i + D \sin (i - \alpha)].$$

El valor del escalón es:

$$\begin{aligned} T_1 - T_2 &= \frac{1}{V_1} [2 H_1 \cos \alpha \cos i - 2 H_2 \cos \alpha \cos i] = \\ &= \frac{2 \cos \alpha \cos i}{V_1} (H_1 - H_2). \end{aligned}$$

Pero $H_1 - H_2 = d \cdot \operatorname{tg} \alpha$, siendo d la distancia $E_1 E_2$ entre explosiones, luego el escalón:

$$\Delta T = T_1 - T_2 = \frac{d \operatorname{sen} \alpha \cos i}{V_1} = \frac{2 d \operatorname{sen} \alpha \sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}}{V_1}$$

Este valor está determinado en la dromocrónica, así como V_1, V_2 es la velocidad verdadera de la capa subyacente, que calculamos nosotros como la componente vectorial de los dos parámetros correspondientes a las velocidades aparentes obtenidas en las líneas de sentido opuesto y tomados sobre la misma distancia horizontal (*).

En la figura 5 se ha hecho gráficamente la composición de los parámetros V y V' , aparentes, resultando un vector

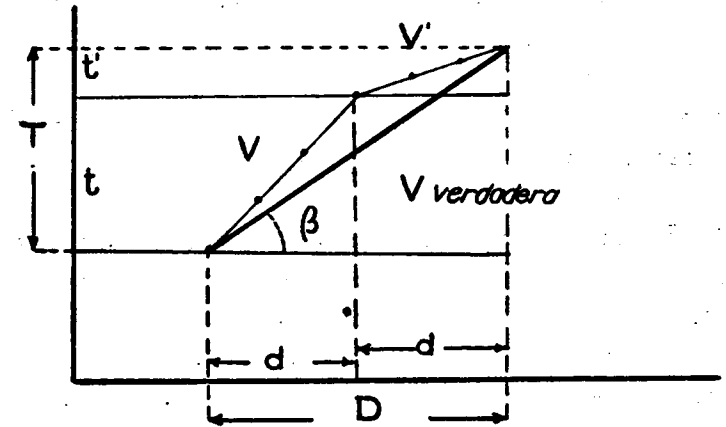


Fig. 5.

V verdadera de inclinación β , cuyo valor es el siguiente con relación a las cifras conocidas:

(*) Heiland aplica en lugar de este método la fórmula

$$V \text{ verdadera} = 2 \cos \alpha \frac{V \times V'}{V + V'}$$

que hemos comprobado da resultados muy parecidos en la práctica, pero es algo más complicado el cálculo.

$$V \text{ verdadera} = \cotg \beta = \frac{D}{T} = \frac{d+d'}{t+t'}$$

luego es de muy fácil cálculo esta componente.

Por todo lo anteriormente expuesto, resulta que de la fórmula ΔT se puede deducir el valor del ángulo α de inclinación del contacto.

Cuando las capas o contactos son poco inclinados, resulta más práctico calcular el desnivel geológico que se produce para ella a cada cambio de la explosión, o sea:

$$H_2 - H_1 = \frac{(T_2 - T_1) V_1}{2 \cos \alpha \cos i} = \frac{\Delta T \cdot V_1}{2 \cos \alpha \sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}}, \quad [A]$$

y haciendo $\cos \alpha = 1$ cometemos un error muy pequeño.

Cuando el desplazamiento se hace en sentido ascendente del contacto geológico la fórmula resulta la misma, pues al restar, se elimina en ambos casos $D \sin (i + \alpha)$ o $D \sin (i - \alpha)$.

FÓRMULA DEL DESNIVEL O ESCALÓN PARA LA PRIMERA EXPLOSIÓN DE AMBAS LÍNEAS.—Algo más complicado resulta el cálculo del valor del escalón producido entre la primera explosión de una línea y la primera de la contralínea correspondiente. Para empezar, observemos que el escalón de tiempo se produce en sentido contrario al que esperábamos, suponiendo que la capa o contacto en cuestión no ha cambiado de buzamiento. En la figura 6 vemos como ejemplo un grupo de línea y contralínea de la investigación realizada en Miajadas.

Siguiéndola de izquierda a derecha, los escalones son ascendentes, menos el equivalente a la misma distancia de la primera explosión de ambas líneas, cuyo tiempo es 0,125 segundos a la derecha y 0,128 segundos a la izquierda. Luego, contrario en este caso o descendente.

LINEA V Dirección N-35°-O

LINEA VI Dirección S-35°-E

MIAJADAS

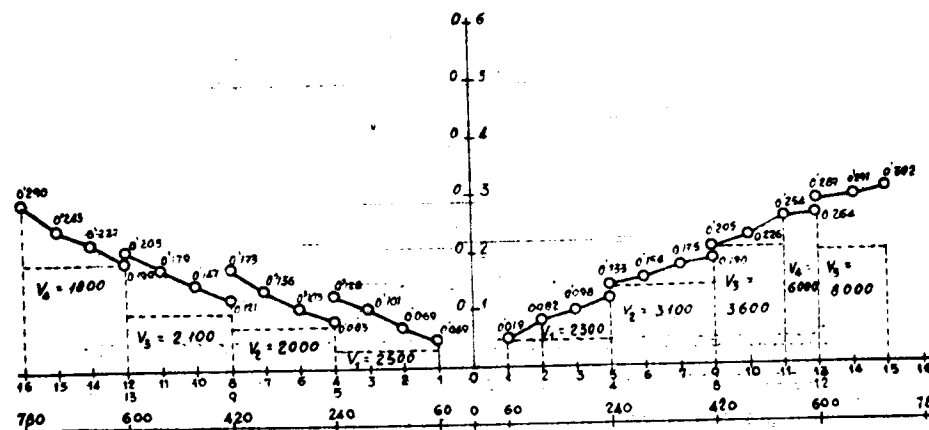


Fig. 6.

Volvamos a las fórmulas del tiempo para cada capa inclinada. El correspondiente a la línea V (izquierda), por avanzar el rayo sísmico en sentido descendente, es de:

$$T_1 = \frac{1}{V_1} [2H_1 \cos \alpha \cos i + D \sin (i + \alpha)]$$

y el de la línea VI (derecha), por avanzar en sentido ascendente, será:

$$T'_1 = \frac{1}{V_1} [2H_2 \cos \alpha \cos i + D \sin (i - \alpha)].$$

De donde

$$\Delta T = T_1 - T'_1 = \frac{1}{V_1} [1 \cos \alpha \cos i (H_1 - H_2) + D (\sin (i + \alpha) - \sin (i - \alpha))],$$

y entonces

$$H_1 - H_2 = \frac{(T_1 - T'_1) V_1 - D [\sin (i + \alpha) - \sin (i - \alpha)]}{2 \cos \alpha \cos i}$$

Pero

$$\operatorname{sen}(i + \alpha) = \frac{V_1}{V'_2} \quad \text{y} \quad \operatorname{sen}(i - \alpha) = \frac{V_1}{V''_2},$$

siendo V'_2 y V''_2 las velocidades aparentes que nos da la dromocrónica, y sustituyendo valores

$$H_1 - H_2 = \frac{(T_1 - T'_1) - DV_1 \left(\frac{1}{V'_2} - \frac{1}{V''_2} \right)}{2 \cos \alpha \cos i} = \frac{\left[\Delta T - \left(\frac{D}{V'_2} - \frac{D}{V''_2} \right) \right] V_1}{2 \cos \alpha \sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2}}, \quad [B]$$

fórmula en la que todos los factores son conocidos, a excepción, como en la anterior, de la inclinación α , que se calcula por aproximación de los demás escalones de la línea, influyendo muy poco el error producido entre los límites en que se suele operar.

Esta fórmula nos da directamente con su signo el desnivel de la capa o contacto a determinar. Por ejemplo; en la figura 6 se puede observar, siguiendo el perfil completo de izquierda a derecha, que el escalón de tiempo correspondiente a la primera explosión de ambas líneas es contrario al resto de los escalones; pero aplicada la fórmula, el signo de $H_1 - H_2$ resulta el mismo, o sea, el que le corresponde a un contacto cuyo buzamiento no ha cambiado de sentido. Al final damos un ejemplo.

CÁLCULO CUANDO LAS SUPERFICIES DE CONTACTO NO SON PARALELAS.—El método es sencillo cuando se parte de un primer contacto inclinado, que si está cerca de la superficie se aplican las velocidades superficiales V_1 y V_2 , y si está profundo se aplicarán en las fórmulas las velocidades que se manifiestan encima y debajo de él; V_5 y V_6 , por

ejemplo. Pero si existen dos contactos de inclinación diferente, entonces el problema se complica y habrá que considerarlo de otra forma.

La profundidad del primer horizonte en el emplazamiento de los barrenos I y I' se determina por la fórmula ordinaria; y suponiéndole regularmente inclinado en toda la extensión de las líneas se calcula al escalón Δt , que le corresponde por la inclinación, de este horizonte, sustituyendo entonces en la fórmula [A] ($h_2 - h_1$), V_1 y V_2 ya conocidos. Entonces

$$\Delta t = \frac{2(h_2 - h_1) \cos \alpha \sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2}}{V_1}$$

La diferencia entre el escalón medido en la dromocrónica ΔT y, éste, Δt , nos dará un valor $\Delta t'$ que aplicado de nuevo a la misma fórmula, pero ahora con las velocidades del fondo V_3 y V_4 , nos dará

$$h'_2 - h'_1 = \frac{\Delta t' \cdot V_3}{2 \cos \alpha \sqrt{1 - \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^2}}$$

que es el suplemento de desnivel, con el que podremos situar la capa inferior que nos interesa.

PRÁCTICA DEL PROCEDIMIENTO.—En una prospección de este tipo es de la máxima importancia simplificar las operaciones aun en detrimento de la exactitud, ya que a la postre son numerosas e imprevistas las causas de error que nos reserva el subsuelo. Por ejemplo: nosotros aplicamos ordinariamente como fórmula de profundidad en capas subhorizontales:

$$H = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V}{V_2 + V}},$$

en la que V_2 es la velocidad aparente obtenida para la capa

cuya profundidad buscamos y V la velocidad media que corresponde desde el origen de la línea al codo de la curva dromocrónica. No explicaré aquí las razones de esto último; únicamente diré que la experiencia de veinticuatro años de prospecciones de campo nos han demostrado que no se cometen errores apreciablemente mayores que considerando la profundidad y potencia de cada uno de los tramos calculados uno por uno desde la superficie.

De esta forma se obtiene la profundidad de la capa en los barrenos extremos que han producido el codo de la curva, que en el ejemplo de la figura 11 se encuentran a 2.100 metros de distancia entre sí, con lo que conoceremos la inclinación y marcha del citado horizonte.

Una vez dibujado el perfil del subsuelo de este modo, haremos el cálculo de los desniveles de un extremo a otro, partiendo de los escalones de tiempo y aplicando las referidas fórmulas [A] y [B]. En general, cuando la inclinación de la capa es pequeña, coincidirá la suma de estos desniveles con el desnivel total primeramente obtenido, lo que servirá de satisfactoria comprobación.

Cuando la diferencia sea excesiva, debido a la mucha inclinación del contacto, entonces la media aritmética entre las profundidades, en los barrenos extremos, será con gran aproximación la correspondiente al punto medio del emplazamiento de los sismógrafos, y nos referiremos solamente a este resultado puesto que los errores en cada barreno extremo se compensarán parcialmente, como veremos también a continuación.

ERRORES QUE SE COMETEN. - Hemos dicho que cuando las capas o contactos a determinar son poco inclinados aplicaremos, para simplificar, la fórmula ordinaria

$$H = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} \text{ con } V_2 = \text{velocidad aparente,}$$

porque el error que se comete para la profundidad en el barreno es pequeño cuando $\alpha < 5^\circ$.

En efecto, la profundidad en el barreno para capas inclinadas es

$$H = \frac{D - D \sin(i - \alpha)}{2 \cos i \cos \alpha} = \frac{D}{2} \cdot \frac{1 - \sin(i - \alpha)}{\cos i \cos \alpha}$$

Si sustituimos en ella $\cos i$ por $\cos(i - \alpha)$, resulta

$$H = \frac{D}{2} \cdot \frac{1 - \sin(i - \alpha)}{\cos(i - \alpha) \cos \alpha} = \frac{D}{2} \cdot \frac{1 - \sin(i - \alpha)}{1 - \sin^2(i - \alpha)} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

Pero como $\frac{V_1}{V_2} = \sin(i - \alpha)$ cuando el rayo sísmico es ascendente y

$\frac{V_1}{V_2} = \sin(i + \alpha)$ cuando es descendente, resulta:

$$H = \frac{D}{2} \cdot \frac{1 - \frac{V_1}{V_2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \approx \frac{D}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

Por lo tanto, para capas de 5° de inclinación, por ejemplo, introducimos en la fórmula dos errores. Uno al hacer $\cos \alpha = 1$ en lugar de 0,9961, con lo que se disminuye la profundidad en un 4 por 1.000 de diferencia, que naturalmente consideramos despreciable.

El otro proviene de sustituir en el divisor de la fórmula $\cos i$ por $\cos(i - \alpha)$ o $\cos(i + \alpha)$; pero siendo $\alpha = 5^\circ$, como el valor de i en las prospecciones corrientes varía entre 20° y 30° , resulta que afecta a la profundidad con un error máximo inferior al 4,5 por 100, también tolerable.

Además, volviendo a la práctica del método, en general hallaremos la profundidad en los lugares de dos explosiones simétricamente emplazadas con relación a los sismógrafos, por consiguiente a la misma distancia del punto medio de estos receptores (fig. 7).

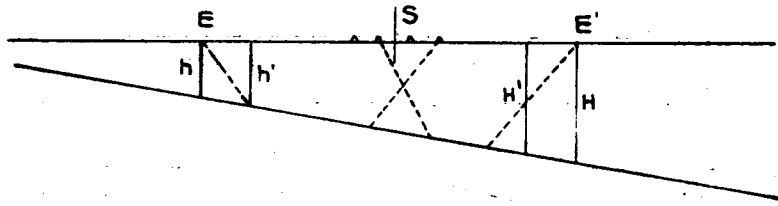


Fig. 7.

En ese caso $ES = E'S$ y la profundidad en S será

$$H_s = \frac{H + h}{2}$$

Pero, en realidad, las dos profundidades halladas vienen afectadas por un error e y e' , tal que $H' = H + e$ y $h' = h + e'$, como ya dijimos, puesto que $\cos i < \cos(i - \alpha)$ y $\cos i > \cos(i + \alpha)$.

Por lo tanto, al obtener la media de estos valores aproximados, resulta:

$$H_s = \frac{H' + h'}{2} = \frac{H + e + h + e'}{2} = \frac{H + h}{2} + \frac{e' - e}{2}$$

El error total que afectará a la profundidad en los receptores se reduce a la semidiferencia entre los errores cometidos en los barrenos simétricos. Con un sencillo cálculo, como ejemplo, veríamos que con inclinaciones del contacto de hasta 12° a 14° se producen diferencias de profundidad en el centro de los sismógrafos muy tolerables.

Cuando los barrenos desde donde se ha producido el

codo de la dromocrónica correspondiente a una misma capa se encuentra a diferente distancia D y D' del punto medio de los receptores, como ocurre a veces, entonces la profundidad en este punto no será

$$\frac{H + h}{2}, \text{ sino } \frac{DH + D'h}{D + D'}$$

como es fácil comprobar.

Añadiremos aún que la virtud principal del método está en que sus escalones, concordando con el resultado de las velocidades aparentes obtenidas, nos indican con gran claridad la marcha del contacto en cuestión, y las demás operaciones se realizarán parcial o totalmente, según las circunstancias y exigencias de cada trabajo.

Y diremos para terminar que este método llega a su máxima utilidad precisamente cuando pierde la exactitud por irregularidades imprevistas del subsuelo, como fallas, anticlinales del horizonte prospectado, pues en el método ordinario de explosiones desde un origen común, las velocidades aparentes obtenidas pueden ser confundidas con las verdaderas de supuestos tramos de distinta composición, y con este método los escalones nos llamarán más claramente la atención sobre el accidente para no cometer tal equivocación.

EJEMPLOS. —Damos en las figuras 8 y 9 dos ejemplos de la investigación de Baños de la Encina. Por razones puramente económicas no se realizó la repetición de las posiciones extremas de los receptores, como en el trabajo de Miajadas, y se determinaron los escalones gráficamente.

En la fig. 8, líneas I y II, se manifiestan las dromocrónicas sin resultar apreciables estos escalones en las curvas, lo que demuestra la horizontalidad del subsuelo, y se comprueba también por las velocidades del Mioceno $V_2 =$

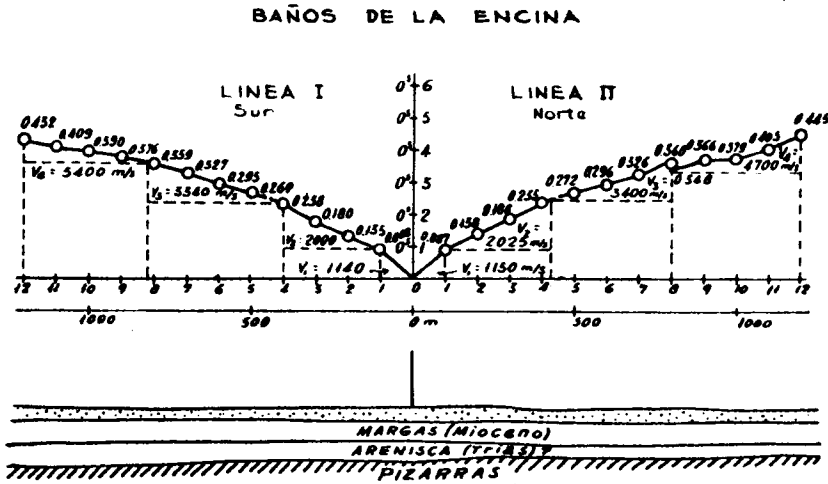


Fig. 8.

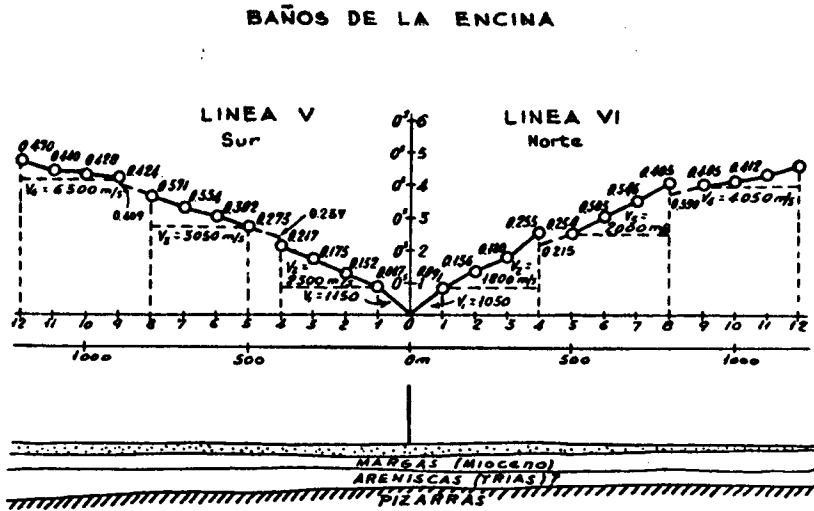


Fig. 9.

= 2.000 y $V_2 = 2.025$ y del supuesto Triás $V_3 = 3.340$ y $V_3 = 3.300$ m/s., prácticamente iguales.

Al llegar al fondo antiguo se produce un escalón pequeño descendente hacia el Sur, por lo tanto, el rayo sísmico

traviesa el último contacto en sentido ascendente hacia el Norte (y descendente hacia el Sur), lo que produce la diferencia de velocidad aparente $V_4 = 5.400$, en la I, y $V_4 = 4.500$, en la II.

El resultado, que se dibuja en forma de perfil debajo de su correspondiente dromocrónica, de acuerdo con las profundidades calculadas por la fórmula ordinaria, indica que el terreno baja desde la tercera explosión de la línea II, situada al Norte, a la tercera explosión de la I, al Sur, unos 29 metros en total. Por otra parte, se ha producido un solo escalón de tiempo en toda la dromocrónica, entre las explosiones segunda y tercera de la línea II de 0,012 segundos. Pues bien, aplicando las citadas fórmulas resulta que:

$$H - H' = \frac{0,012 V_3}{2 \cos \alpha \sqrt{1 - \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^2}}$$

siendo en este caso $V_3 = 3.360$ (Triás) y $V_4 = 4.820$ (Paleozoico) velocidades verdaderas, calculadas por vectores.

Haciendo las operaciones resulta $H - H' = 28$ metros, casi igual a los 29 m. obtenidos directamente.

En la fig. 9 vemos otro ejemplo: el de las líneas V y VI de la misma investigación.

Se observa en ellas que existe una inclinación muy apreciable, tanto del contacto antiguo como de los más modernos, por eso también la gran diferencia entre las velocidades aparentes obtenidas.

La profundidad del Paleozoico en el tercer barrenos de la V es de $H = 325$ y en el tercero de la VI de $H' = 225$ metros, con 100 m. de diferencia. Al hacer la comprobación aproximada se consideraron en las fórmulas los valores de V_1 y V_2 para los cuatro barrenos centrales, y únicamente V_3 y V_4 para los dos extremos (a pesar de estar también afectados por V_1 y V_2).

El resultado fue el siguiente, observando los escalones de Norte a Sur (en la fig. 9, de derecha a izquierda) y haciendo $\cos \alpha = 1$:

Primer escalón: 0,015 segundos, aplicando velocidades $V_1 = 3.360$ m/s (Trías) y $V_2 = 4.820$ m/s. (Paleozoico):

$$H_1 - H_2 = \frac{+ 0,015 \cdot 3360}{2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{3360}{4820}\right)^2}} = + 35 \text{ m.}$$

Segundo escalón: 0,040 seg. aplicando $V_1 = 1.100$ y $V_2 = 2.000$ m/s. (margas miocenas):

$$H_1 - H_2 = \frac{+ 0,040 \cdot 1100}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{1100}{2000}\right)^2}} = + 26 \text{ m.}$$

Tercer escalón (central, de línea VI a línea V):

$$\frac{\left[-0,038 - \left(\frac{400}{2300} - \frac{400}{1800}\right)\right] 1100}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{1100}{2000}\right)^2}} = + 6,5 \text{ m.}$$

Cuarto escalón:

$$\frac{+ 0,020 \cdot 1100}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{1100}{2000}\right)^2}} = + 13 \text{ m.}$$

Quinto escalón:

$$\frac{+ 0,015 \cdot 3360}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{3360}{4820}\right)^2}} = + 35 \text{ m.}$$

La suma algebraica de estos escalones ha sido:

$$35 + 26 + 6,5 + 13 + 35 = 115,5 \text{ m.}$$

que consideramos, con bastante aproximación, como el desnivel total del contacto Trías-Paleozoico entre los barrenos extremos número 3 de ambas líneas. Como por la fórmula ordinaria resultó ser de 100 metros, la diferencia obtenida es de sólo 15,5 metros; por consiguiente, se con-

firman, entre ciertos límites aceptables, los resultados obtenidos por los métodos corrientes.

Los aparatos empleados para estas investigaciones fueron en parte los de «Askania», de registro independiente, pero también se estrenaron unos nuevos construidos en Madrid por el Instituto «Torres Quevedo», similares en su funcionamiento, pero mucho más manejables por ser considerablemente más ligeros.

Por último se ha empezado a emplear, en período de ensayo, un nuevo sismógrafo electromagnético, ideado y construido en los talleres de este Instituto por nuestro ingeniero Sr. Borrego, lo que permitirá implantar en el futuro el registro central con las grandes ventajas que ello significa.

Método gravimétrico

En los últimos años no hemos empleado más instrumento gravimétrico que el gravímetro estático «Nörgaard», bien conocido, y sobre cuyo funcionamiento no creemos necesario volver. Con él se han realizado, entre otras muchas, las investigaciones que se citan en este volumen. Pero ya hemos empezado a emplear un nuevo modelo americano; marca «Atlas», que tiene considerables ventajas sobre el anterior. Es de mejores condiciones de trabajo, por estar metido el balancín en una cámara termostática, con lo que se evitan no solamente las correcciones de temperatura, sino los errores que estas variaciones producen cuando son excesivamente rápidas.

En resumen, resulta de mayor exactitud de lecturas sin ser de mayor apreciación teórica, y además es de una velocidad de trabajo muy superior.

El método lo hemos aplicado exclusivamente en la determinación de estructuras en las siguientes prospecciones incluídas en este tomo:

En Guardo, para la confirmación del paso de un anticlinal sísmico.

En San Javier y en Torrevieja, para el descubrimiento de una cubeta hidrológica de gran interés, complementado con una serie de deducciones referentes a su aislamiento con relación a las aguas del mar.

En Ciudad Real, para lo mismo, con deducciones similares, pero contrarias en cuanto a su interés hidrológico, referente al aislamiento de las aguas del Guadiana, como se explica en el informe.

En Palencia, con la doble finalidad de determinar, por una parte, anticlinales ocultos del Primario, con la esperanza de encontrar al Carbonífero a profundidades asequibles y, por otra, posibles cubetas hidrológicas.

En Bilbao se intentó, en una pequeña investigación de ensayo, descubrir el paso del anticlinal que ha dado lugar a tan magníficos yacimientos.

Método eléctrico

Aunque aparentemente no se ha modificado mucho este método en la última etapa de trabajos, sin embargo, es en el que esencialmente se han cambiado más los procedimientos, consiguiendo con ello un considerable mayor rendimiento, además de haberse mejorado y perfeccionado las mediciones del subsuelo.

Esto se debe a que gracias a la continua labor de verdadera investigación, en la que colabora todo el personal de la Sección de Geofísica, y, en este caso especial, a su-

gerencias de mis fieles colaboradores Borrego y Gea, se han empleado en los trabajos comprendidos en este volumen sistemas de interpretación de las curvas de resistividad, cuyos resultados han sido considerablemente mejores. Se trata de hacer intervenir en la interpretación, además de la curva corriente de resistividad, la línea quebrada acumulativa de los valores de la misma. Los ángulos de ésta indican con mayor claridad y exactitud los contactos de terrenos que se pretende localizar. La fig. 10 es un ejemplo cuyos resultados han sido comprobados. Se

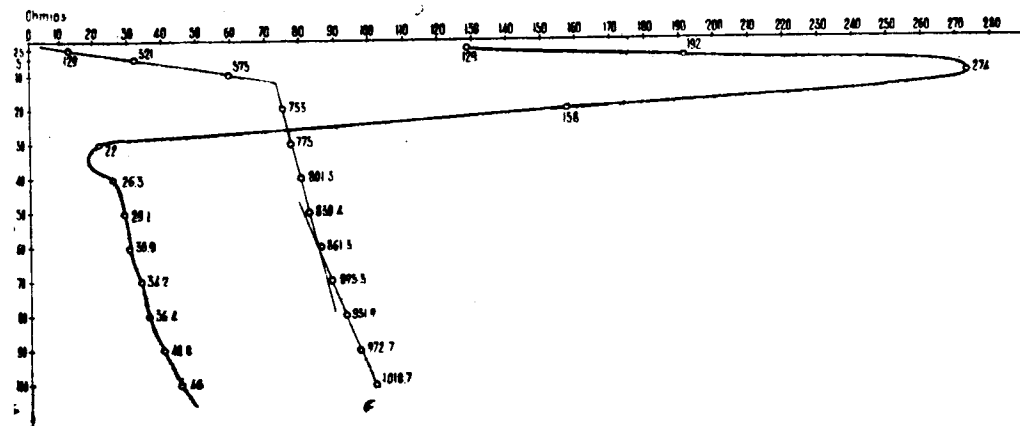


Fig. 10.

trata de unas pruebas realizadas en la vega del Guadiana, en Badajoz. Por el método clásico de la curva de inflexión, quedaba indeterminado el contacto Diluvial-Mioceno, entre los 15 y los 25 metros. Por la curva acumulativa se calculó en 12 metros. La realidad ha dado 11,5 metros.

El procedimiento de campo ha sido en general el de perfiles de sondeos eléctricos, complementados sus resultados individuales con perfiles de resistividades a profundidades convenidas, según el problema a resolver. De esta

forma se han determinado estructuras, contactos de terrenos y fallas, además de la profundidad de los contactos y niveles de interés hidrológico o minero.

Las prospecciones de San Javier, Torrevieja, Almería y otras, son ejemplos de la forma en que ha sido empleado el método.

Método magnético

Éste ha sido aplicado exclusivamente en una investigación de ensayo sobre los yacimientos de hierro de Bilbao, con los mismos variómetros de «Askania», empleados ya en trabajos anteriores. Son muy sensibles, pero los minerales de esa zona han resultado con un magnetismo demasiado débil para poder ser diferenciados de las demás rocas de la formación, por lo que se ha incluido en la obra, como investigación tipo del método magnético, aunque las conclusiones no hayan sido de positivo interés.

Consideraciones sobre el funcionamiento de nuestra Sección de Geofísica

Desde hace muchos años, casi desde el principio del funcionamiento de nuestros equipos, han sido criticados nuestros procedimientos especiales de aplicación de los métodos geofísicos. La crítica resulta tan fácil como injusta, si se nos pretende comparar con la mayor parte de los grandes equipos americanos, que dedicados casi exclusivamente al petróleo, no trabajan de la misma forma. Veamos las diferencias:

Nuestro equipo sale al campo con sus propios geólo-

gos especialistas, con la consideración de geofísico-geólogos, que van interviniendo y modificando el plan de trabajo a raíz de los resultados de los estudios, constantemente complementados entre sí, de geología y de geofísica. El equipo con el que nos pretenden comparar, sale al campo con un relativo desconocimiento de la geología, cuyos problemas pretende resolver. Cubre la extensa zona de perfiles sísmicos o gravimétricos y da una interpretación simplista de unas líneas del mismo valor físico. En resumen, interpreta unos accidentes o estructuras teóricos, que tiene que volver a recoger un geólogo profundamente especializado en geofísica, que es el que realmente termina o modifica la interpretación, de acuerdo con la geología vista o supuesta del terreno. Este procedimiento es caro, pues se cubren a ciegas grandes extensiones de terreno. Como ejemplo diré que un solo equipo sísmico de reflexión de ese tipo, que funciona para la S. N. P. A. en la región de Pau (Francia), cobra unos 13.000.000 de francos mensuales. En cuanto a su bondad, no dudamos de ella, puesto que conocemos perfectamente esos métodos, pero nuestros presupuestos nos sitúan a considerable distancia de poderlo hacer.

Nosotros nos basamos en la geología general de la zona. Nuestros geofísico-geólogos hacen la geología y distribuyen de paso el trabajo geofísico. Los demás elementos de la sección, ingenieros y ayudantes, realizan la labor geofísica de campo, y hacen un avance de interpretación los ingenieros de campo de la misma. Luego el jefe de la sección recoge los datos y, de acuerdo con la geología sobre la que ha intervenido, corrige, modifica y redacta el informe definitivo. No pretendemos sea perfecto el sistema, pero cada uno tiene que adaptarse a los elementos que posee.

ASPECTO ECONÓMICO.—Al llegar a este punto entramos de lleno en el aspecto económico de la prospección. No se puede dudar que sería muy factible, y quizá lo mejor, el que fuese el geólogo por delante y que no entrase el geofísico hasta que aquél no hubiese terminado su labor.

El equipo de instrumentos entraría entonces en funcionamiento cubriendo a la máxima densidad toda la superficie a prospectar. Esto es, como hemos dicho, lo que se hace más corrientemente. ¿Pero dónde dejamos el factor tiempo y el coste de una proporción elevada de estaciones geofísicas no indispensables? Este sistema, que se emplea principalmente en las investigaciones petrolíferas, deja de ser económico en las locales de hidrología subterránea y demás problemas mineros a que solemos hacer frente.

No hay que olvidar, en términos generales, que en la geofísica aplicada el aspecto económico es el factor principal de toda prospección. No solamente se emplea, llenando un vacío que existía entre el geólogo y el sondista, sino que este enlace se realiza para abaratar y acelerar el final de la labor de aquél, hasta conseguir el descubrimiento del mineral.

Aquí recordaremos una vieja anécdota de la Universidad de Montreal, en la que uno de sus miembros, dijo en una reunión científica: «Un día llegará en el que el geólogo vaya por delante; el geofísico le seguirá con sus aparatos; detrás aparecerá el ingeniero con su tren de sondeo y sus coronas de diamantes; y por último aquellos hombres que alegremente se llevarán la mayor parte de los dólares». Y un financiero que le escuchaba dijo: «Perfectamente dicho, hay que mandar siempre por delante al hombre más barato».

El cuento es bien expresivo; donde el geólogo no tenga problemas, sobraría el geofísico, que es más caro, pero

que entra en acción cuando aquél pierda sus capas o su estructura bajo terrenos de recubrimientos que le impiden actuar. Y apoyado en el dictamen del geofísico vendrá el sondista para confirmar el descubrimiento (o para descubrir su error, pues nada hay infalible). Pero aun durante el sondeo se recurrirá a la testificación geofísica, para abaratarlo con sus métodos especiales y resolverle graves problemas cuando aquél no consiga un buen testigo mecánico.

Aquí los incrédulos dirán: el geólogo puede muy bien estudiar el terreno y dar paso al sondista para que confirme sus deducciones. Pero entonces ¿qué hacen los EE. UU., que gastaron en 1948 la cifra de 125.000.000 de dólares y 300.000.000 de dólares en 1951 en prospecciones geofísicas? ¿Lo han gastado por pura investigación científica? Sin duda que en los negocios no existe eso.

La realidad es que en los EE. UU. se han perforado en 1951, solamente para petróleo, que consume casi la totalidad de la mencionada cifra de prospección geofísica, la cantidad de 51.500.000 metros lineales de sondeos, de los cuales la mayor parte han resultado improductivos. Pues bien, sin el empleo de la geofísica, no solamente no se hubiesen descubierto centenares de campos petrolíferos ocultos a gran profundidad bajo terrenos más modernos sin manifestación exterior alguna que guiase al geólogo, sino que en la determinación y delimitación de estos campos, después de descubiertos, hubiesen tenido que realizar probablemente doble número de sondeos para llegar a los mismos resultados. Y más aún: estos sondeos, gracias a los métodos geofísicos aplicados en su interior, han de ser más económicos, por ahorrar, total o parcialmente, el testigo mecánico, y han de dar muchos de ellos mejores frutos, como no es de esta obra explicar.

Deben de bastar estas cifras, unidas a que el costo de esos 51.500.000 metros de sondeos significan una cifra del orden de cincuenta mil millones de pesetas, para dar una idea de lo que puede significar disminuirla en una proporción importante; o lo que es parecido, conseguir con la misma cantidad una mayor proporción de sondeos productivos. El hecho es que en los EE. UU., en 1938, trabajaban 200 equipos sísmicos y 50 equipos gravimétricos, entre otros; en 1948, la cifra se eleva a 525 sísmicos y 125 gravimétricos, y en 1951 pasan ya de 600 el número de equipos sísmicos, habiendo disminuído el de gravimétricos a menos de 100. En resumen, sabemos que la cifra global de prospecciones geofísicas se ha mucho más que duplicado en 13 años, y que desde el año 1947 al 1951 ha pasado de 105 a 300 millones de dólares, consumidos anualmente, y, por último, también podemos asegurar, que en aquel reino del dinero y en este campo de la minería, los dólares no se «gastan» sino que se «colocan» a un buen interés.

Pero dejemos a un lado a ese mundo de los dólares y pasemos a describir nuestras pequeñas prospecciones de aguas subterráneas y de otros minerales de interés económico.

CAPÍTULO III

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA, POR EL MÉTODO ELÉCTRICO DE PROSPECCIÓN, EN ALICANTE

La investigación realizada por la Sección de Geofísica del Instituto Geológico en las zonas próximas a Alicante, por el método eléctrico de corriente continua, ha tenido por objeto descubrir depósitos de agua subterránea procedentes de las sierras próximas. Estas aguas que se buscan son diferentes de las que se encuentran en el nivel hidrostático, muy próximo a la superficie, ya conocido en la región por pozos que tienen agua a los cinco metros de profundidad y que generalmente es salobre.

Los niveles que se trata de buscar se encuentran más profundos y deben hallarse en el contacto del Eoceno con las formaciones subyacentes de edad secundaria. Además, la existencia de una gran falla que se extiende de Norte a Sur, cuyo paso ya es conocido próximamente, hace pensar en la posibilidad de que las aguas que proceden de las partes más altas busquen su paso a través de ella, siendo de mucho interés no solamente conocer su situación en diferentes puntos, sino también su resistividad aparente, de la cual habremos de deducir su interés hidrológico.

A continuación se da cuenta de la forma cómo se ha desarrollado el trabajo y de sus conclusiones, que han sido, sin duda, de interés.

I. Reseñas geográfica y geológica

SITUACIÓN.—El estudio eléctrico en cuestión se ha circunscrito a dos zonas que, en el plano general, denominamos A y B. La primera queda comprendida en la llanura de San Juan de Alicante, en el paraje conocido por El Pantanet, y la segunda en la vega de Villafranqueza, enlazadas ambas superficialmente por el cañón de la Balsa. (Véase el mencionado plano.)

Las razones fundamentales para la elección de esas zonas en este estudio de orientación han obedecido, entre otras, al hecho comprobado por estudios geológicos anteriores, de que existe una importante falla que desciende desde los altos de Buxit y sigue, teóricamente, el contacto de las formaciones cretácea y eocena, internándose en la vega de Villafranqueza. Su paso está recubierto por los depósitos modernos y atraviesa posiblemente bajo la misma población de Alicante hasta el mar. Esta falla, que debe ser lógicamente un curso interno de las aguas que se infiltran desde dichos altos y desde otros de la sierra que se extiende hacia el SO., por el Chapitel, la sierra de Llofría y la de Portel. Además, el citado cañón de la Balsa puede y debe coincidir con un paso interno y transversal que pone en comunicación hidrológica las dos zonas.

Por otra parte, es presumible también la existencia de una barrera estratigráfica impermeable de capas secundarias, a juzgar por la constancia de unos asomos triásicos encontrados en nuestras excursiones geológicas a uno y

otro lado de la citada capital e indicados en el plano. Dicha barrera pudiera hacer el papel de dique interno, que además de embalsar las citadas aguas dulces, constituyese su separación de las saladas procedentes del mar.

En virtud de tales antecedentes, se ha planeado dicho estudio de sondeos eléctricos, en términos que pudieran confirmar y calibrar la importancia de esta premisa, para lo cual se establecieron las líneas de sondeos en direcciones, en general, transversales al curso de esas presumibles corrientes subterráneas. El número de las mismas, y las circunstancias de cada sondeo, se detallan en el lugar correspondiente de esta Memoria.

Descripción geográfica.

La configuración del suelo en los alrededores de Alicante, sin ser extremadamente accidentada, presenta determinados contrastes. Tiene, desde luego, estrecha relación, como es natural, con la constitución geológica y con los fenómenos de erosión que a la misma corresponden. Así resulta que las planicies y vegas están en general representadas por las formaciones modernas o cuaternarias, y las lomas y cerros, por el contrario, por terrenos más antiguos, algunos de los cuales presentan alterada su originaria posición por la intervención de accidentes tectónicos.

Desde el punto de vista topográfico, hay una zona central, que es la más accidentada, con alturas superiores a 100 metros sobre el nivel del mar, y otra marginal de cotas bastante menores. A la primera corresponden la Sierra Grosa, Loma Redonda y El Garvinet, cuya prolongación al NE. son los cerretes de Las Paulinas y El Calvario, así como el pequeño cordal de la misma orientación que sigue el curso de la falla por Villafranqueza. A la segunda zona pertenecen las vegas y tierras bajas que se inclinan con

suave pendiente hacia el mar, partiendo de cotas de 60 metros.

Con altitudes superiores a 100 metros aparecen también otros asomos en el paraje denominado Los Gallos, al SO. de la población, y con altitudes intermedias se manifiesta la extensa meseta de San Vicente de Raspeig y otras por el estilo, aisladas entre sí por la erosión, en la zona de Tangel, todo lo cual constituye un conjunto topográfico muy variado, aunque sin exageradas diferencias.

Las partes altas de la zona central referida son estribaciones evidentes de las sierras que al Norte se extienden con los nombres de sierras de Boter, Llofría y Buyot, con altitudes superiores a 300 metros, que constituyen la zona principal de captación de aguas pluviales, origen de las que interiormente han de circular conducidas por cursos internos hacia la aludida falla y partes bajas de la zona de nuestro estudio.

Desde el punto de vista hidrográfico, resulta la zona de Alicante de muy reducida importancia: está representada por pequeños cauces o torrenteras de régimen intermitente, que sólo conducen las aguas invernales y las procedentes de las épocas de tormentas, conservando sus lechos completamente secos la mayor parte del año o, cuando más, con pequeñas charcas derivadas de débiles corrientes subálveas. Sólo se puede anotar, como más importante, el denominado río Seco, que baja de los altos de Chapitel y Monegro, pasa muy próximo al límite septentrional de la parte representada en el plano y desemboca entre San Juan de Alicante y Campello, pero también es de régimen muy variable.

Reseña geológica.

Las formaciones que la zona comprende, enumeradas de menor a mayor edad, son como sigue:

CUATERNARIA.

DILUVIAL.—El Cuaternario está representado en nuestra zona de estudio por el Diluvial exclusivamente. Sus tongadas, de origen clástico, están dispuestas con ligera pendiente uniforme hacia el mar. Se extiende en dos zonas, una al SO. de Alicante, comprendiendo parte de la población, con un entrante al NE. que llega hasta el pie de Loma Redonda y el caserío de Los Ángeles. La otra constituye la gran llanura que empieza en El Pantanet y sigue por la zona de San Juan, con entrantes asimismo hacia Tangel y Villafranqueza. Sus cotas de nivel están comprendidas entre el mar y la curva de 60 metros.

Está integrado el terreno por capas alternantes de detritus margo-sabulosas y cantos rodados de naturaleza calcárea, corrientemente con espesores crecientes hacia la costa. En algunos lugares, como en el entrante del citado caserío de Los Ángeles, en la vega de Villafranqueza y en la de Tangel, los materiales son acentuadamente margosos y de tinte claro, por estar recubriendo formaciones eocenas y cercanos a las calizas cretáceas, de las cuales provienen gran parte de dichos materiales de arrastre. En cambio, en la zona de San Juan, los horizontes miocenos, de arenosas tongadas y colores pardos, imprimen un tono más oscuro a la formación.

Considerada asimismo como perteneciente a la edad cuaternaria, aunque por su facies y algunas conchas mal conservadas que hemos hallado pudiera ser más antigua, se extiende desde la Cruz del Siglo, en el mismo Alicante,



hacia San Vicente de Raspeig, el Rebosar y La Bayona Baja, una meseta o terraza formada por unos bancos sensiblemente horizontales o ligeramente ondulados de naturaleza calcárea; constituyen a veces lechos muy compactos que en diferentes lugares se explotan como piedra de construcción. Aparece, en otros, en forma de conglomerado brechoso, y los más como una costra alterada por la actuación de las aguas pluviales. Su espesor es variable, pero tiene extensiones notables donde rara vez excede de un par de metros de potencia y cubre corrientemente las capas cretáceas, con las cuales está en manifiesta discordancia estratigráfica. En su contacto con éstas, precisamente, es donde en muchos lugares se explota la creta que emplean en la región para la obtención de pinturas, mezcladas con los ocres y otros óxidos procedentes de algunas minas de hierro de la sierra.

TERCIARIA.

MIOCENO.—Como horizonte inmediato inferior geológicamente, existe un nivel de molasas y calizas margo-sabulosas, sin duda miocenas, que coronan diversas alturas y se internan bajo los montes cuaternarios con inclinación de unos 10° y buzamiento hacia el mar. Se presentan con espesores variables y tinte pardoamarillento. Constituyen la Sierra Grosa, el cerro del Castillo de Santa Bárbara y son fundamento, en parte, de la capital. Forman superficialmente una especie de istmo en la Colonia de Vista Hermosa, para unirse a las de Loma Redonda y del Garbinet. Aparecen también en forma de manchas superficialmente aisladas, pero unidas seguramente bajo los terrenos modernos, por los cerros de El Rincón de Santana y Las Paulinas, para repetirse en El Calvario, donde los bancos sabulosos se convierten en verdaderos conglomerados o

gonfolitas, los cuales, por su disgregación, imprimen un aspecto especial a la formación.

Se apoyan dichas capas miocenas directamente sobre las eocenas, en manifiesta discordancia, siendo la inclinación de las primeras bastante uniforme, generalmente del orden de 10 a 12° con el horizonte y su buzamiento hacia el mar.

Consideramos todas las manchas enumeradas como correspondientes a un mismo tramo, seguramente el Helveciense, por haber hallado en ellas la misma variedad de fósiles, el *Clypeaster pyramidalis* y varios *Pecten*, en la región de Vista Hermosa y Loma Redonda. Además, porque seguida la marcha de los bancos, se prolongan hasta El Calvario.

En el Castillo de Alicante y Sierra Grosa, acusa potencias superiores a 100 m., pero en los altos de Loma Redonda, Las Paulinas y El Calvario es poco superior a 5 m., con aumento gradual hacia la vega. Según datos obtenidos en el sondeo mecánico de El Pantanet, su espesor atravesado fue de 54 metros.

EOCENO.—Está representado por el tramo Luteciense y formado por una serie de bancos alternantes entre sí de caliza blanca de fractura astillosa, margas sabulosas pardo oscuras y a veces amarillentas, en bancos compactos y otros formados por multitud de apretados Nummulites.

Todos los bancos siguen la misma disposición fajeada y, en algunos sitios, como en el paraje denominado de La Cruz, al Sur de Villafranqueza, están fuertemente replegados y apretados. Este mismo repliegue, aunque no tan pronunciado, se aprecia en el camino de Los Ángeles a Vista Hermosa; pero seguidos a lo largo de las zonas de Garachico y Tangel, pierden intensidad sus bucles, en

términos tales que aparece la alineación de las capas, sin variar de dirección en longitudes kilométricas, sin más que ligeras inflexiones. Otra particularidad es la de que, a medida que se acercan hacia dicha zona septentrional, disminuyen de potencia y su colorido se hace cada vez más claro y confundible con los bancos cretáceos. No hay lugar a duda, sin embargo, porque a los bancos eocenos se les ve atravesar la carretera en la zona de Garachico, para constituir el flanco oriental de la primera loma al O. de Tangel, y en ésta se halla la misma variedad numulítica que en la zona de Villafranqueza. A partir de este límite se oculta la formación bajo el terreno cuaternario, para reaparecer en el término de Campello y sierra de la Ballestera, muy al NE. de nuestro interés inmediato.

SECUNDARIA.

CRETÁCEO.—Completamente separado hacia el NO. de las formaciones precedentes, y como formando una barrera, aparecen repentinamente unos bancos fuertemente levantados, con inclinaciones de unos 70° a uno y otro lado, según el lugar de observación, pero más frecuentemente hacia el mar. Se observan en manchones aislados. En la propia población de Alicante soportan la costra donde se alza la Cruz del Siglo; constituyen los cerros denominados Los Gallos y forman los bancos margo-arcillosos de la Rabasa. Pasada la costra, que los recubre en dichos sitios, reaparecen próximos al Km. 3 de la carretera de San Vicente de Raspeig con inclinaciones también de 70 a 80° y más consistentes, para seguir constituyendo la cresta de Villafranqueza. Luego se ocultan nuevamente por la costra de Seguins y vuelven a asomar hacia el camino de Fombuena, en dirección algo girada hacia el NO., pero con la misma fuerte inclinación de las zonas anteriores.

Bajo la costra de Seguins, y en una extensión importante, se explotan las crestas terrosas y claras de estos bancos, en una potencia aproximada de dos metros, por medio del sistema de galerías y pilares, teniendo las galerías por techo dicha costra y por suelo la parte dura de las mismas capas de creta.

Lo mismo que ocurre a la formación eocena, se cubren estos bancos por los terrenos de arrastre en la Bayona Baja y Borrachinas, no señaladas en el plano, para reaparecer al cruzar el río Seco, desde donde siguen hacia la sierra en extensión continuada y considerable. Entre estas dos formaciones últimamente expuestas se interpone la falla de que hemos hecho mención al comienzo de estas notas.

TRIÁSICO.—Como elemento más antiguo de esta formación secundaria, y aunque con representación muy escasa, pero interesante a los efectos del estudio hidrológico, hemos de señalar unos asomos de margas yesosas localizadas en dos lugares opuestos de la ciudad de Alicante: uno de ellos coincide precisamente con el borde común superficial de los terrenos Diluvial y Mioceno, frente a la playa de Albufereta, y el otro corresponde a la zona donde se alzan los asomos cretáceos denominados Los Gallos, al NO. de la población.

No hemos encontrado fósiles en dichas margas, sin duda porque su manifestación es poco extensa, unido a tratarse de un horizonte del Triás de fauna muy escasa. Pero dada su facies característica y semejante a las manifestaciones del mismo terreno en El Chapitel y otros puntos de la sierra, clasificados anteriormente, no dan lugar a dudas y debemos considerarlas como pertenecientes al Keuper o tramo superior de dicho terreno.

Tales asomos, en esta zona baja y próxima a la costa, tienen, como hemos dicho, importancia extraordinaria a

nuestro juicio, por ser posibles testigos de la presunta barrera interna que puede servir de retención de las aguas subterráneas o incluso tener la virtud de separarlas de las salobres del mar. En los cuatro cortes geológicos representamos la disposición posible de dicha barrera.

En cuanto a esta formación, es difícil conocer su marcha interna, siquiera sea de un modo aproximado, pero sus manifestaciones exteriores, tan cerca de la costa y tan relativamente alejada de los otros asomos, sugieren la idea, de que en el fondo han de estar unidas, constituyendo el substratum de todas las demás formaciones que venimos enumerando, circunstancia que reputamos de gran importancia para el estudio hidrológico que se inicia con esta investigación eléctrica.

TECTÓNICA.

No es posible formar juicio completo de la tectónica de esta comarca con la simple observación de los accidentes de una zona tan reducida como es la de la que nos ocupa. Sin embargo, los datos recogidos han permitido confeccionar los cortes geológicos que incluimos, los cuales dan una idea muy aproximada de lo que puede ser la estructura interna de la misma. En ellos aparecen pliegues disimétricos con fallas interpuestas, dislocaciones y desplazamientos que revelan la existencia de trastornos de muy distinta naturaleza, con movimientos verticales y empujes laterales muy diversos.

Desde luego, se caracterizan dos movimientos esenciales, uno de carácter alpino, que plegó los estratos secundarios y eocenos en dos tiempos, con la interposición previa o simultánea de la falla en el segundo de ellos. El otro movimiento afectó principalmente al tramo Helveciense del Mioceno, después de consolidadas y deformadas las

capas del anterior, puesto que aparecen sus respectivas capas en completa discordancia estratigráfica y debió de obedecer a una gran depresión, produciendo la caída de los estratos hacia el mar, tal como los observamos en la actualidad.

La razón de los dos tiempos en que dividimos el levantamiento de las capas secundarias y eocenas representadas, obedece a que la dirección general de sus respectivas capas es concordante, confundándose incluso el paso de una a otra; pero, mientras las capas cretáceas aparecen a todo lo largo de sus afloramientos con inflexiones de gran radio y desarrollo suave, las del Eoceno, por el contrario, presentan zonas no sólo intensamente replegadas en el sentido de su dirección, sino en el de su pendiente también, lo que se interpreta como dos periodos de empuje: uno de orientación NO.-SE., común a las dos formaciones y a toda la zona, y otro de dirección N.-S., que dio lugar a la mencionada falla y afectó principalmente a la zona situada a Levante de ella.

Del conjunto de tales trastornos resulta una estructura en forma de cubeta interna y alargada en la misma dirección de las capas, cuyo fondo pudiera ser el horizonte triásico, con un borde hacia el interior limitado por el Cretáceo y la falla, y con el otro hacia la costa, con la barrera triásica y el fondo de esta misma formación.

Puede haber, en consecuencia, tres niveles de agua esenciales y en cierto modo embalsados: uno correspondiente a las aguas freáticas en el contacto de las formaciones diluvial y miocena, que es el que corrientemente se explota en la localidad; otro en el del Mioceno con el Eoceno, al que alcanzan también algunos pozos actuales, y un tercero, que consideramos como el más interesante, se encuentra después de atravesadas las capas eocenas y en

su contacto con el Triás. Este último puede recoger, y en cierto modo embalsar, las aguas procedentes de la sierra, encauzadas interiormente por la mencionada falla principal, o de Busot.

Por estas razones el interés máximo del estudio geofísico iniciado no decae, entre tanto no se averigüe el espesor del aludido tramo de capas eozenas, que probablemente sobrepasará poco de los 200 metros. Pero esto sería motivo de nuevas campañas de prospección y con ayuda del método sísmico, no empleado aquí hasta la fecha.

II. La investigación eléctrica

El método empleado en esta prospección ha sido el eléctrico de corriente continua, con los aparatos «Siñeriz», contruídos en los talleres de este Centro.

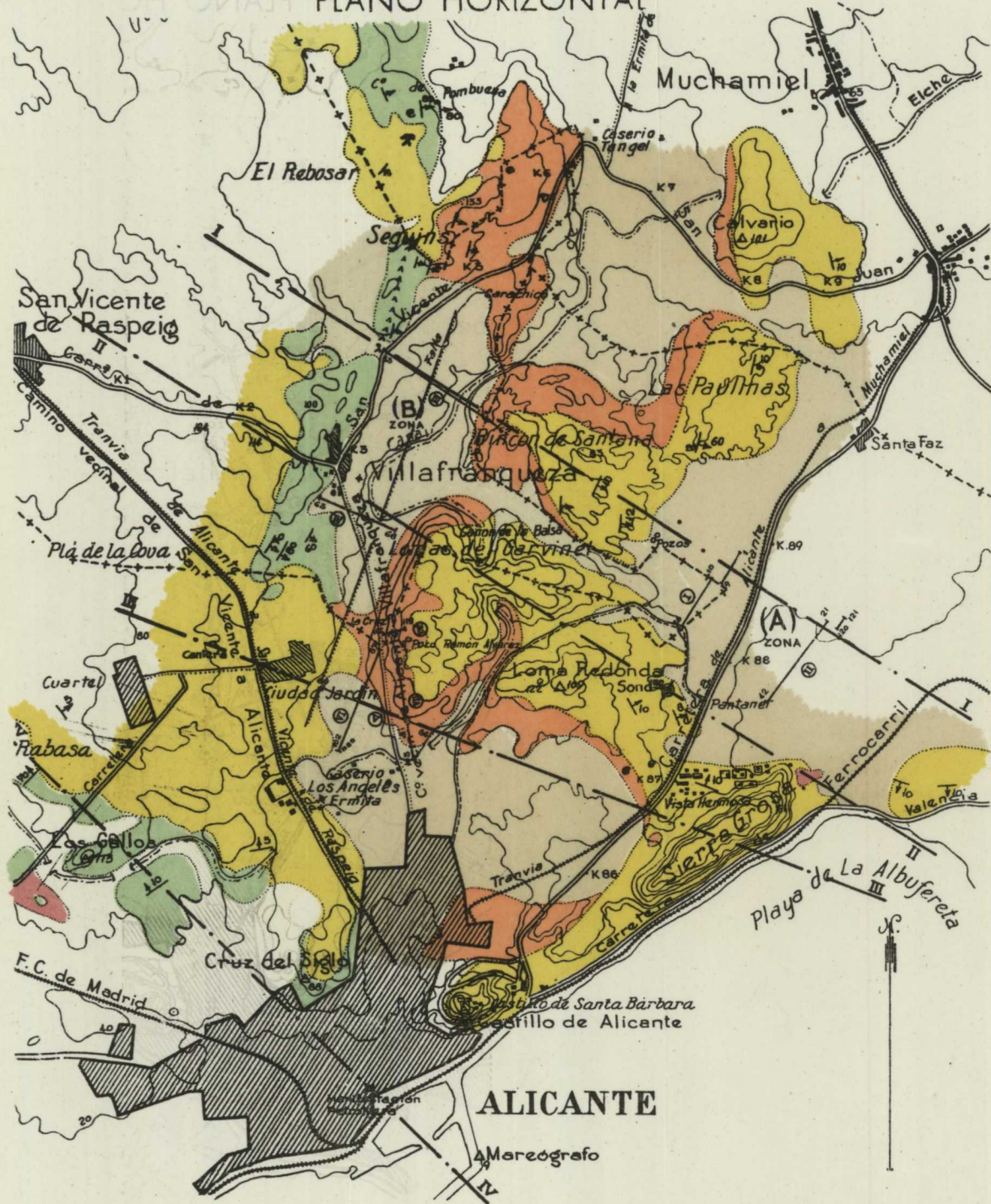
Para llevar a cabo el plan propuesto se han realizado varios perfiles de sondeos eléctricos, de forma que cruzan el paso teórico de la ya mencionada falla, cuya traza no es posible fijar a simple vista, por hallarse recubierta en la zona que nos ocupa por terrenos cuaternarios.

Se han hecho en conjunto ocho perfiles con un total de 121 sondeos eléctricos. La profundidad de éstos ha sido variable, según nos imponen las características del terreno. En general de 100 a 110 m., pero llegando en alguna ocasión a los 250 metros.

El método seguido ha sido el mismo que el empleado en los trabajos anteriores: con los valores obtenidos para las resistividades aparentes se han dibujado los correspondientes gráficos de resistividad y profundidad que han

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA POR EL MÉTODO ELÉCTRICO
DE PROSPECCIÓN, EN ALICANTE

PLANO HORIZONTAL



EXPLICACIÓN

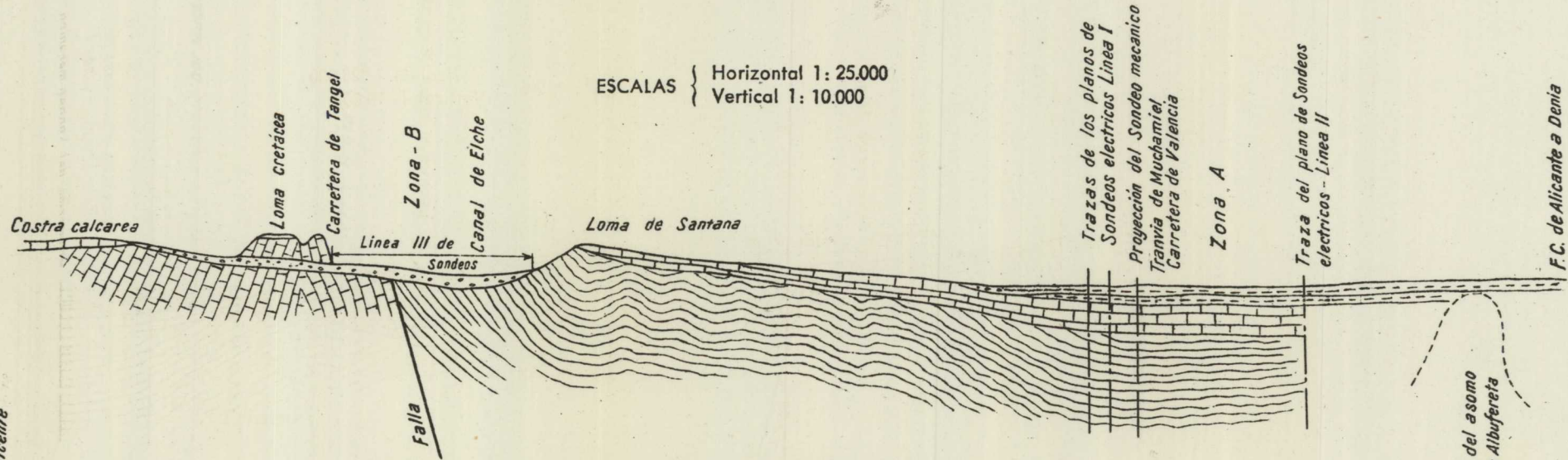
- CUATERNARIO
- MIOCENO
- EOCENO
- CRETÁCEO
- TRIÁS
- FALLA

ESCALA 1:50.000

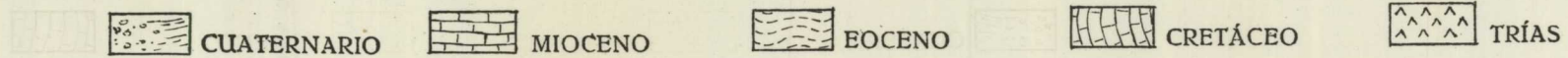
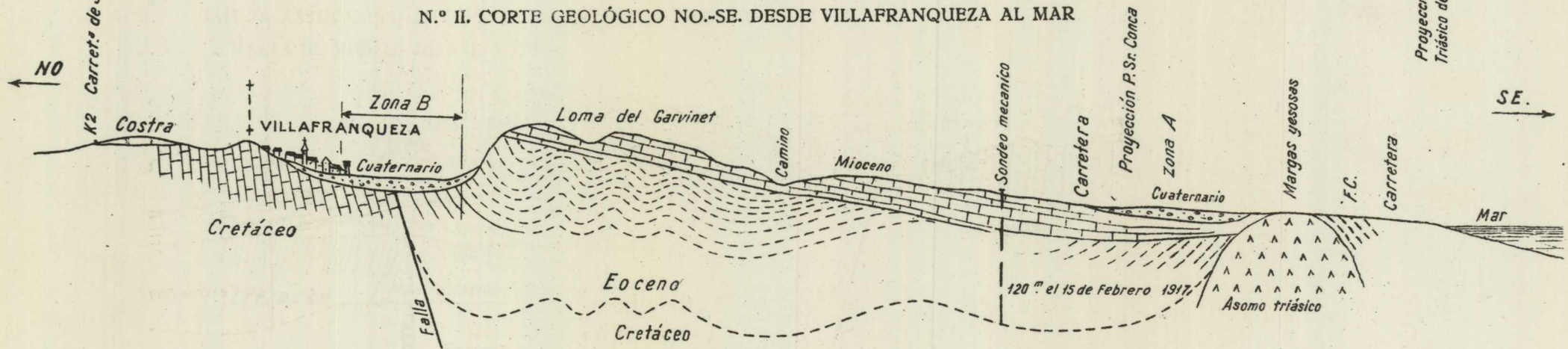
INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA POR EL MÉTODO ELÉCTRICO DE PROSPECCIÓN, EN ALICANTE



N.º I.—CORTE GEOLÓGICO NO.-SE., SEGÚN LA LÍNEA DE SONDEOS ELÉCTRICOS
N.º III. ZONA B



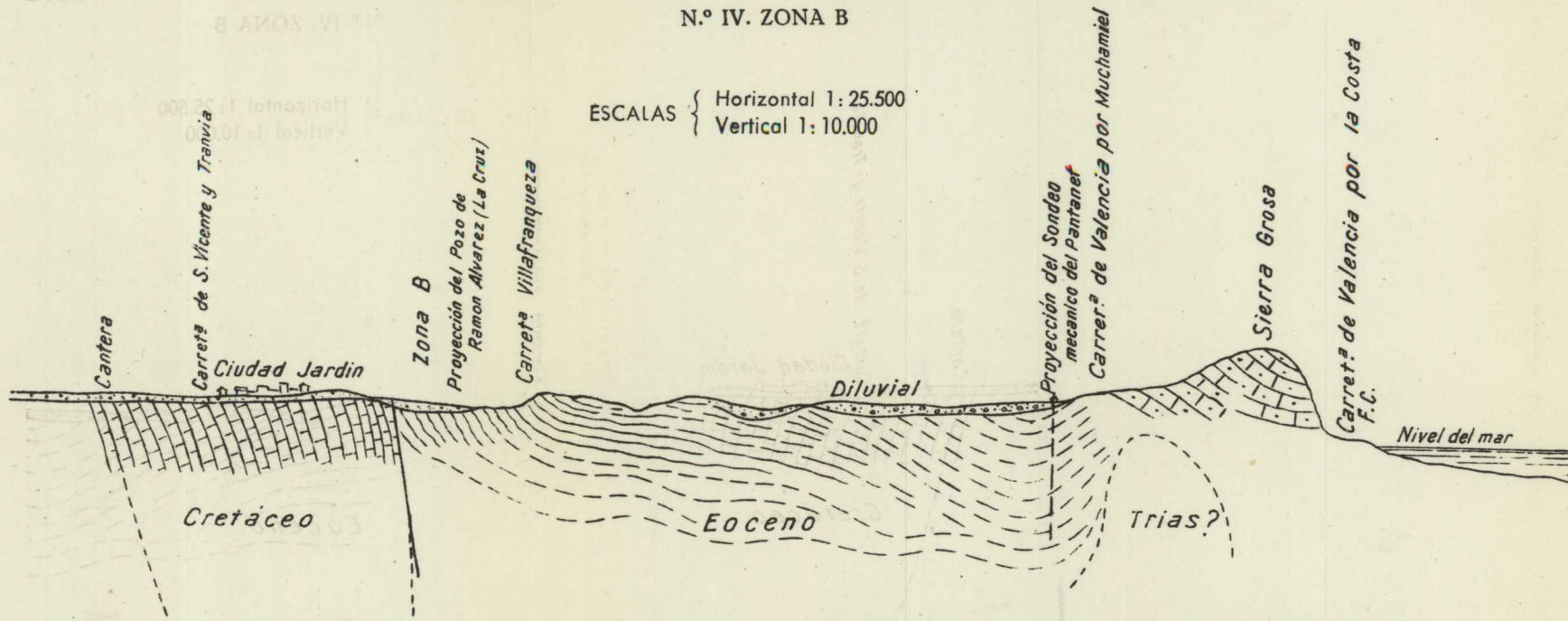
N.º II. CORTE GEOLÓGICO NO.-SE. DESDE VILAFRANQUEZA AL MAR



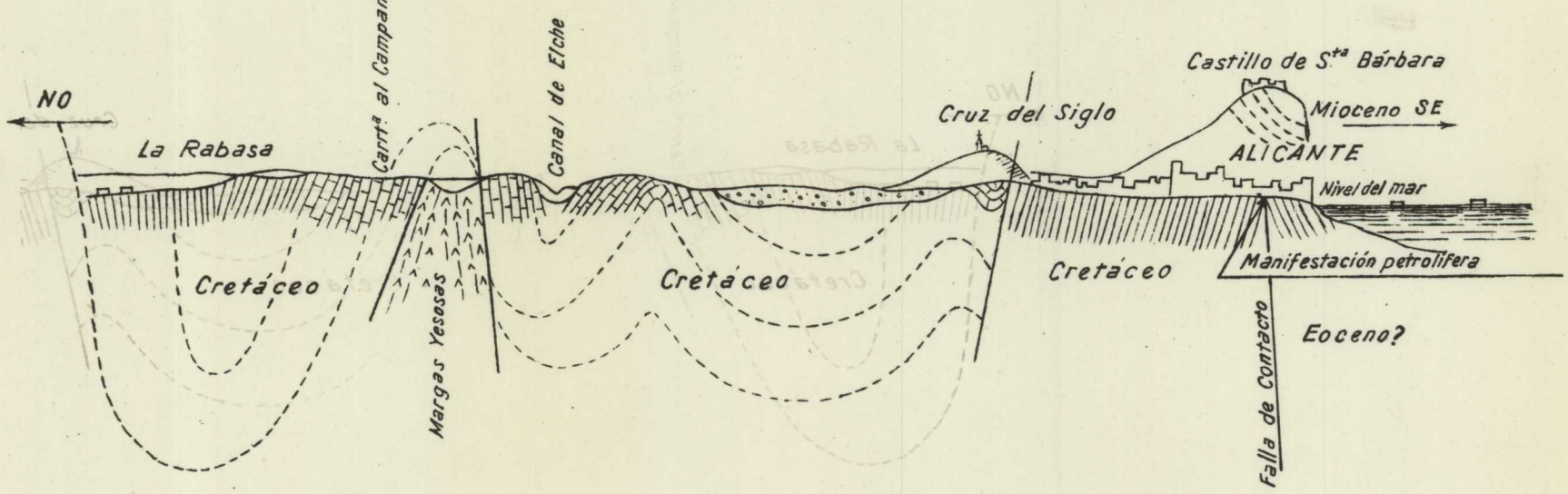


N.º III.—CORTE GEOLÓGICO NO.-SE., SEGÚN LA LÍNEA DE SONDEOS ELÉCTRICOS

N.º IV. ZONA B



N.º IV.—CORTE GEOLÓGICO DESDE «LA RABASA» HASTA EL MUELLE DE ALICANTE



sido ordenados en las láminas según su posición relativa en el campo (*).

Sobre cada uno de ellos se han marcado los cambios de terreno que corresponden a los niveles que consideramos con mayor cantidad de humedad y de estos niveles se han tomado los mínimos, no absolutos, sino elegidos según un criterio propio, de acuerdo con el conjunto de observaciones eléctricas realizadas y con la geología de las zonas investigadas, que se han considerado como arcillas húmedas. Por lo tanto, sobre ellas tendremos las máximas posibilidades de encontrar agua.

En las láminas obtenidas para cada perfil se han marcado los niveles arcillosos y húmedos según van apareciendo en profundidad, puesto que en su contacto se podrá haber almacenado agua aprovechable. En planta se han marcado con un trazo continuo las zonas que, por su resistividad relativa, se consideran como de mayor afluencia de agua subterránea y que por consiguiente determinan los niveles hidrológicos subterráneos más probables.

Veamos a continuación el resultado obtenido para cada uno de los perfiles efectuados:

PERFIL I.—El perfil I está situado en el lugar denominado el Pantanet, de la llanura de San Juan de Alicante y va orientado en dirección NNE. Consta de 20 sondeos situados de 40 en 40 m. de distancia mutua, abarcando por tanto una longitud de 800 m. En él se manifiestan varios contactos húmedos que se han relacionado a lo largo del perfil. Teniendo en cuenta las resistividades aparentes relativas y también los valores mínimos que, como hemos

(*) Tanto en éste como en los sucesivos trabajos no se publican más que algunos gráficos, por no aumentar innecesariamente el volumen de esta obra.

dicho, son un factor a tener en cuenta en la interpretación, aunque con las consiguientes reservas, interpretamos que la zona de mayor influencia de agua subterránea es la comprendida entre los sondeos 7 y 12.

En el lugar del sondeo núm. 9, por ejemplo, se determinan dos posibles niveles de agua.

PERFIL II.—Está situado en el mismo llano citado, 500 metros a Levante del ferrocarril, tiene la misma dirección NNE. que el anterior y consta de veintitrés sondeos numerados del 21 al 42 y del 120 al 121, que se han efectuado de 40 en 40 m. de distancia. En ellos se manifiestan niveles acuíferos similares, probablemente correspondiendo a las mismas corrientes subterráneas.

La zona de mayor interés por su extensión es la comprendida entre los sondeos 21 y 30. En el número 28, por ejemplo, se indica un horizonte de interés hacia los 25 metros de profundidad, y a los 75 metros, otro.

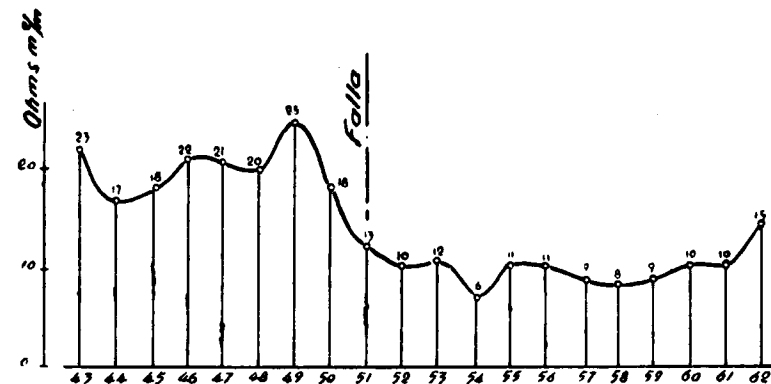
PERFIL III.—Consta de 20 sondeos situados equidistantes de 50 en 50 m. Su dirección es ONO. y cruza la vega de Villafranqueza, por donde se supone el paso de la falla.

En casi todos se manifiestan niveles húmedos, pero la zona de mayor interés hidrológico se encuentra comprendida entre los sondeos 51 y 61, donde además de indicarse en los gráficos dos o tres posibles horizontes acuíferos, se manifiestan éstos hacia las resistividades mínimas del perfil. Por ejemplo: en el sondeo 56, se aprecian varios niveles: dos de ellos entre los 5 y los 20 m., y el otro entre los 35 y 45 m. de profundidad. (Véanse los gráficos de sondeos.)

En cuanto a la determinación del paso de la falla, se ha adoptado el criterio de estudiar las variaciones apreciadas en un horizonte de poca resistividad, cuya situación, según la posición topográfica de los sondeos, oscila entre

los 30 y los 70 m. de profundidad. Los valores mínimos obtenidos para este horizonte se han dibujado en un gráfico, y delimitan dos zonas características del perfil. En efecto, todos los sondeos emplazados a Poniente del número 51 aparecen con resistividades del orden de 18 a 25 ohms. m^2/m . y los situados a Levante del mismo con resistividades de 8 a 10 ohms. m^2/m . Por consiguiente resulta, que el paso teórico de la falla se encuentra en el sondeo número 51, que corresponde al punto de cambio o de inflexión de la curva que nos proporciona las resistividades de una superficie u horizonte geológico, cuya profundidad desde la superficie varía entre los 30 y 70 m. de profundidad.

Se ha dibujado, a continuación, la curva obtenida:



Superficie de resistividades del Perfil III.

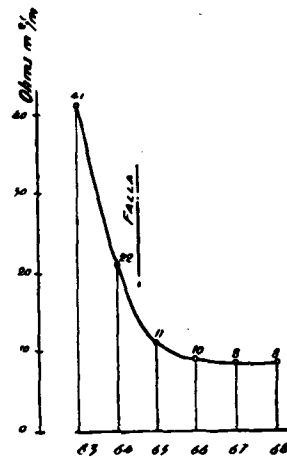
Como se puede observar en ella, el punto de inflexión corresponde aproximadamente con el sondeo número 51 y es precisamente el lugar donde hay que esperar mayor afluencia de agua.

PERFIL IV.—Cruza la misma vega de Villafranqueza, algo más al S., orientado en dirección E.-O. próximamente.

Consta de seis sondeos, situados de 50 en 50 m. de distancia mutua.

Los lugares donde se manifiestan las resistividades más bajas son los correspondientes a los números 65, 66, 67 y 68. Los dos primeros situados más al Oeste indican claramente un cambio de terreno. (Véanse los gráficos.)

Aplicando a este perfil el mismo procedimiento del anterior y tomando en este caso el horizonte casi horizontal correspondiente a los 30 m. de profundidad, resulta el siguiente gráfico:



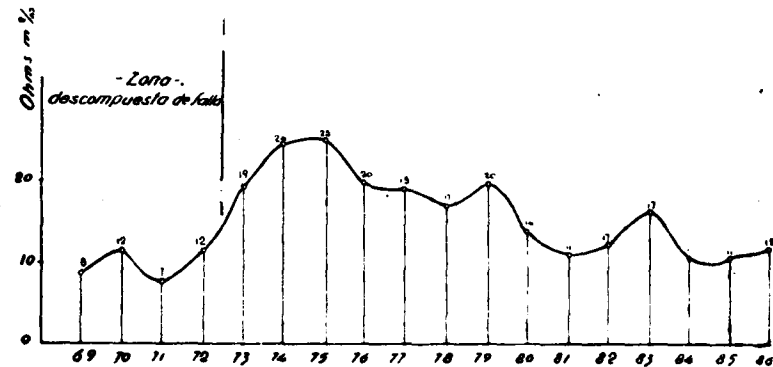
Superficie de resistividades del Perfil IV.

Se observa que el punto de inflexión de la curva se encuentra entre los sondeos 64 y 65, y ese punto se considera como paso teórico de la falla y, por lo tanto, el mejor lugar para un alumbramiento de agua.

Tal resultado parece el más probable, ya que al Oeste de ella los terrenos atravesados son cretáceos, en general calizos y de mayor resistividad, y los situados al Este de edad eocena, principalmente arcillosos y, por tanto, de menor resistividad.

Tanto en el perfil anterior como en éste, los terrenos situados a Levante del paso teórico están descompuestos y afectados por la humedad de la falla, pues así se manifiesta en los sondeos eléctricos.

PERFIL V.—Se ha emplazado al Sur del anterior, en dirección transversal a la misma vega. Tiene próximamente dirección E.-O. y consta de 20 sondeos, numerados del 69 al 86. Su distancia relativa es la misma que en los anteriores. Por dificultades topográficas no se pudo prolongar más hacia Poniente, resultando que no se ha llegado a cortar el



Superficie de resistividades del Perfil V.

paso teórico de la misma falla de los otros dos. Sin embargo, estudiando en igual forma los niveles comprendidos entre 30 y 60 metros de profundidad, se ha podido delimitar el lugar donde termina la zona descompuesta o afectada por la misma falla, que llega hasta el sondeo 72. Por consiguiente, la zona de mayor afluencia de agua está al Oeste de este sondeo, así como el paso teórico del citado accidente. La curva correspondiente de resistividades nos lo indica así y además pone de manifiesto que en el extremo levante existe otro pequeño cauce subterráneo, coin-

ciendo con la prolongación de un barranquito que se extiende de Norte a Sur en ese extremo del perfil.

PERFIL VI.—Está comprendido en el citado valle de Villafranqueza. Tiene orientación N.-S. y consta de 16 sondeos eléctricos, emplazados de 50 en 50 metros de distancia.

En concordancia con los resultados obtenidos para el perfil n.º V, se extiende todo él sobre terrenos descompuestos afectados por la falla, cuya traza teórica queda más al Oeste. Las resistividades que se obtienen para los horizontes comprendidos entre 30 y 60 m. son del orden de 5 a 7 ohmios m²/m. En la mayor parte de los lugares donde se han efectuado los sondeos se alumbraría agua a poca profundidad. Por ejemplo, en los núms. 87, 88, 89 y 90 se cortará probablemente un nivel de agua a los 30 metros.

PERFIL VII.—Está próximo al anterior, situado más a Levante, y se extiende en dirección NO. Consta de 14 sondeos, numerados del 103 al 116.

Por sus resultados se comprueba que su emplazamiento está totalmente fuera de la influencia de la falla, que queda mucho más a Poniente. Las resistividades obtenidas para los niveles comprendidos entre 30 y 60 m. son del orden de 17 y 18 ohmios, a excepción del n.º 104, que indica un horizonte acuífero entre los 20 y los 40, que debe corresponder con la prolongación del mismo barranquito mencionado en el perfil V.

PERFIL VIII.—Con el fin de comprobar en cada investigación el buen funcionamiento de los aparatos eléctricos, y al mismo tiempo de verificar la magnitud de sus medidas en determinados problemas ya conocidos, se ha realizado un perfil que hemos llamado n.º VIII y que consta de los sondeos 117, 118 y 119. Los resultados han sido plenamente satisfactorios. En efecto, en el pozo que coincide

con el sondeo 118, apareció a los 1,5 m. de profundidad un contacto húmedo, pero que no dio agua aprovechable por tratarse del contacto de la cubierta detrítica con la roca firme.

El nivel actual del agua se encuentra próximamente a los 7,5 m., pero porque a los 14 m. se encuentra la capa explotada, que tiene cierta presión. Esta capa se manifiesta igualmente en nuestro gráfico a los 15 metros.

El sondeo 119 se encuentra a un nivel topográfico dos metros más alto. A los 10 m. se puede interpretar un nivel que debe corresponder al actual de las aguas del pozo. A los 18,5 se marca en el gráfico otro manto acuífero, que probablemente es el mismo de los 14,5 m. del pozo. El sondeo n.º 117 indica que a partir del recubrimiento de tierras de labor se atraviesan terrenos muy húmedos que pueden contener agua explotable, pero sobre todo se encontrará a la profundidad de 12,5 m., en que se manifiesta la capa más profunda encontrada en los otros dos sondeos. Es también importante el detalle de que las resistividades obtenidas en el sondeo 117 son muy pequeñas en comparación con las de los otros dos, y esto se interpreta como producido por la proximidad a la mencionada falla. En efecto, observando el plano horizontal vemos que el sondeo 117 es prolongación del perfil VI, comprendido totalmente en los terrenos descompuestos afectados por la falla y manifestándose con bajas resistividades; así como el sondeo número 118 corresponde con la prolongación del perfil VII, siendo sus mediciones eléctricas del mismo orden; estos dos sondeos se encuentran a Levante de la falla y fuera de la zona que hemos llamado de su influencia.

La curva de resistividades que se dibuja al final del trabajo es la correspondiente al nivel hidrológico situado entre los 12,5 y 18,5 m. de profundidad, según el sondeo.

III. Conclusiones

De la presente investigación eléctrica se deducen las siguientes conclusiones:

1.º Que complementando la mencionada prospección con el estudio geológico, se descubre la existencia de una falla, cuyo paso teórico a lo largo de la vega de Villafranqueza está indicado por las mediciones eléctricas y queda determinado por los sondeos n.º 51 del perfil III, los números 64 y 65 del perfil IV y pasa, además, por un punto situado a Poniente del sondeo n.º 69 del perfil V, a unos 100 m. aproximadamente del mismo.

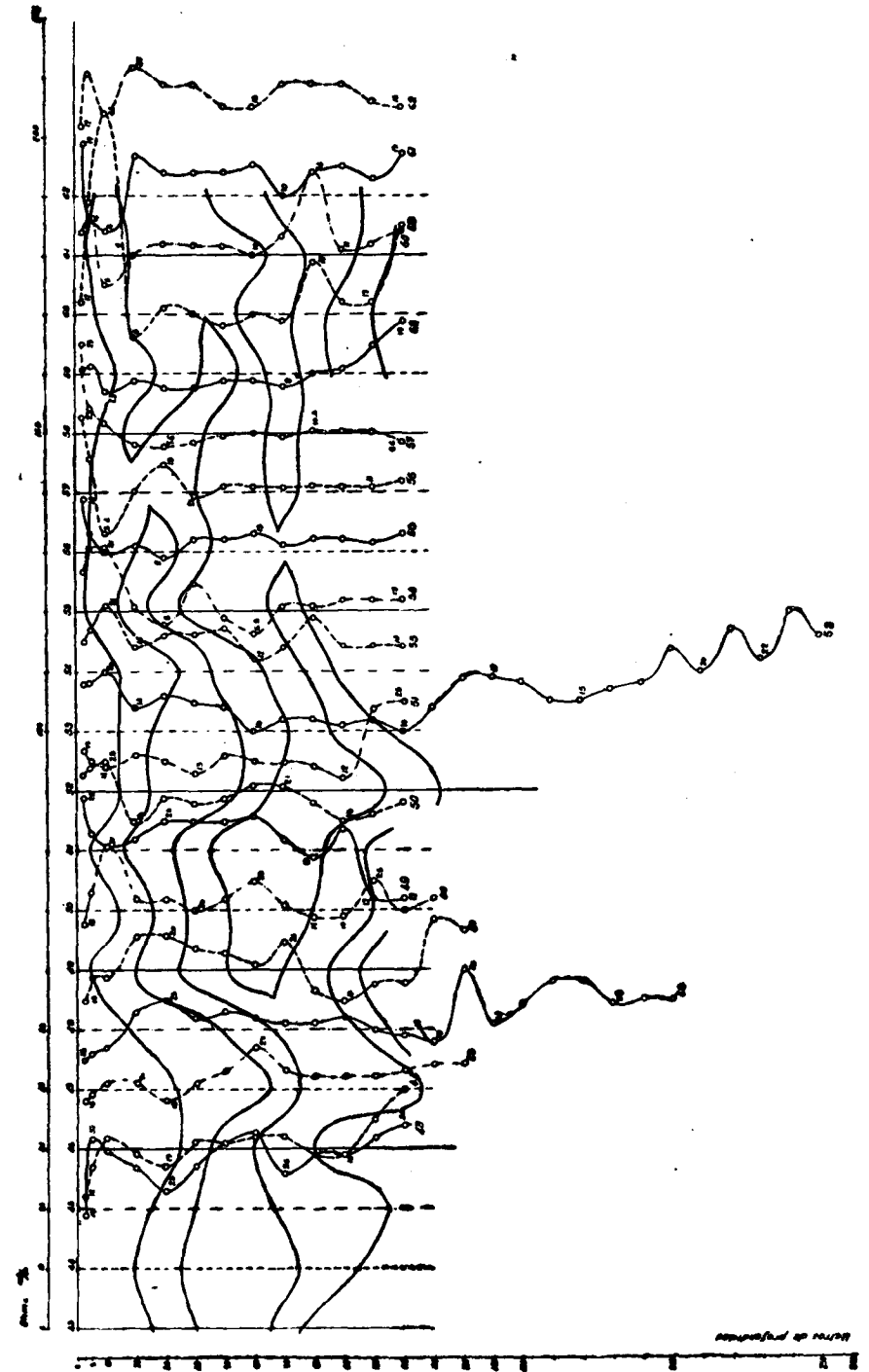
2.º Que la línea de máximo interés hidrológico es la que se marca eléctricamente como traza teórica de la falla y, además, las zonas próximas a ella situadas a Levante.

3.º Que en la llanura cuaternaria de San Juan de Alicante, donde se extienden los perfiles I y II, se manifiesta un paso de agua subterránea transversal a la falla, en forma de 2 ó 3 mantos comprendidos entre los 25 y los 80 metros de profundidad.

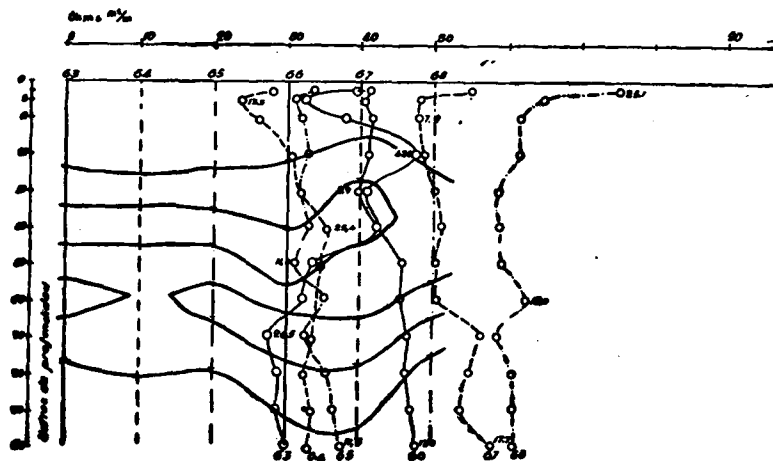
4.º Que los sondeos 81 y 82 del perfil V y 104 del VII indican una línea de menor resistividad coincidente con la prolongación de un barranquillo de dirección N.-S., donde probablemente se podrá alumbrar agua, aunque no queramos dar importancia al detalle, por carecer de datos suficientes.

En resumen: el estudio eléctrico efectuado ha descubierto una extensa zona en el valle de Villafranqueza, donde se podría alumbrar agua de pozo a profundidades de 30 a 70 metros.

PERFIL N.º III



PERFIL N.º IV



CAPÍTULO IV

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA EN CIUDAD REAL, POR LOS MÉTODOS ELÉCTRICO Y GRAVIMÉTRICO

A propuesta de la Sección de Aguas subterráneas del Instituto Geológico y Minero de España, y como consecuencia de haber solicitado la Hermandad de Labradores de Ciudad Real la ayuda de este Centro, para un posible alumbramiento de agua en el mismo término municipal, la Sección de Geofísica ha realizado una investigación de la zona, de la que damos cuenta a continuación. Se han empleado dos métodos distintos de prospección: el gravimétrico y el eléctrico. El primero, con el fin de determinar las vaguadas antiguas bajo el Mioceno y los posibles escapes subterráneos del agua de una supuesta cubeta. El segundo, para conocer hasta un cierto límite la profundidad del contacto del Primario con los terrenos más modernos. Veremos a continuación cómo la investigación ha sido de gran utilidad, pues se descubren varias zonas donde los alumbramientos hidrológicos; por medio de pozos, tienen las mayores posibilidades de éxito.

I. Reseñas geográfica y geológica

Reseña geográfica.

La zona objeto de este trabajo, situada alrededor de la capital, ocupa una superficie de unos 15 Km. de lado, o sean 225 kilómetros cuadrados, dentro de la cual se han distribuido las líneas de sondeos eléctricos y los polígonos gravimétricos, en la forma que en adelante se indica.

Próximo a ella, por el Norte y el Oeste, pasa el río Guadiana. Por el Sur y Este hemos llevado nuestra investigación hasta siete u ocho kilómetros de distancia de la capital.

La configuración topográfica de la región es casi llana en su mayor parte, constituida por los alrededores de Ciudad Real y Miguelturra, y ondulada en sus bordes. Sus relieves oscilan entre la cota 600 metros del río Guadiana y el cerro de la Atalaya, con 714 metros de altura sobre el mar. La llanura de Ciudad Real-Miguelturra se encuentra comprendida entre las líneas de nivel de 620 y 640. A partir de esta última se inician las más destacadas altitudes de la zona, como son, además del mencionado cerro de la Atalaya, el de Palos, con 626 m.; el del Despeñadero, con 670 m.; Peñalagua, con 680 m., y la Sierra de Miguelturra, con 674 m. de cota.

Afecta pues, la superficie en conjunto, la disposición de una cubeta, con fondo suave y bordes poco pronunciados.

Hidrologicamente está representada por la cuenca del Guadiana, cuyo cauce discurre de Levante-Poniente por la región septentrional, a unos diez kilómetros de la población.

En cuanto al régimen subterráneo, su primer nivel hidrológico está determinado por muchos pozos distribuidos en toda la llanura y cuya profundidad oscila entre los seis y los diez metros, y el segundo nivel hidrológico oscila entre los quince y los veinte metros.

Reseña geológica.

La mayor extensión de la zona está representada por el Mioceno superior o caliza pontiense, recubierta por tierra vegetal de la misma constitución. Dicha caliza, que indefectiblemente aparece en cuanto se profundiza alrededor de un metro en la tierra que la recubre, es de naturaleza margosa y su potencia oscila entre uno y cuatro metros. En algunos lugares aflora en bancos compactos que han dado motivo al establecimiento de canteras.

Bajo estas capas de caliza aparecen las margas y arcillas con espesores variables. Luego algunas tongadas sabulosas y lentejones de arena que corresponden al primer manto acuífero de origen freático, al que suelen llegar las norias.

La disposición estratigráfica de la formación terciaria es completamente horizontal, o ligeramente inclinada hacia el centro de la cuenca, si se trata de los bordes. Está circundada superficialmente por varios asomós silurianos que alternan con otros eruptivos, probablemente en forma de chimeneas con derrame o reborde exterior. (Véase el plano general y cortes geológicos que acompañan.)

Las capas silurianas están casi en su totalidad constituidas por la cuarcita ordovicense, compacta y fuerte en la mayor parte de los lugares observados, y con tránsito a las areniscas de tinte ferruginoso en otros; intercaladas a veces con ligeros lechos pizarreños. Sus direcciones son en extremo variables, debido sin duda al hecho de haber

sido atravesadas, con posterioridad a su plegamiento, por las mencionadas rocas hipogénicas, las cuales no sólo han embebido parte de las mismas al penetrar en su masa, sino que las obligaron parcialmente a adaptarse a su cráter o salida, cuando no cabalgan sobre las propias rocas volcánicas en posiciones diversas.

Sin embargo, hay en ellas una tendencia de orientación herciniana con buzamientos opuestos, representativos de pliegues diversos, consecuencia de los primeros levantamientos y debidos a esfuerzos tangenciales. Pero se ven alterados siempre en las cercanías de los mencionados asomos eruptivos. Dicha orientación se define, netamente, en la zona NO., carretera de Las Casas, donde los estratos atraviesan el Guadiana en forma anticlinal con dirección hacia el asomo basáltico del kilómetro 177 de la carretera de Ciudad Real a Toledo, que por cierto conserva aún restos de cuarcita sobre su masa. Pasando este accidente hacia Levante, vuelven a recuperar su primitiva dirección.

En la región SO. y meridional ocurre lo propio: las cuarcitas siguen con dicha orientación general herciniana; siguen su marcha regular en el cruce de la carretera con el límite municipal de Ciudad Real y Poblete, y se manifiesta en posición alterada al topar con las masas hipogénicas de Aozcollar. En las cercanías del Guadiana y fábrica de harinas de Alarcoz, se muestran potentes y casi verticales, correspondiendo sin duda con una falla que coincide con el paso del río, ya que, en su margen derecha, se normalizan de nuevo los estratos.

Las rocas eruptivas, profusamente manifiestas en toda la región, forman en nuestra zona una serie de chimeneas aflorando en círculo alrededor de la capital, las cuales, en unión con los asomos paleozoicos, completan la aparente

disposición de cubeta apta para ser recipiente hidrológico. Son rocas modernas, de naturaleza básica.

Como consecuencia de la distribución de dichos asomos hipogénicos y silurianos, es posible la existencia de una cubeta impermeable o cuenca hidrológica explotable, y cuya disposición y condiciones se ha descubierto, como veremos más adelante, con la aplicación de los dos métodos geofísicos mencionados.

El agua almacenada ha de tener cierto artesianismo, dada la configuración de la zona, aunque no contamos con que tenga presión suficiente para llegar hasta el nivel de la superficie. Veremos también, por los resultados geofísicos, cómo la mencionada cuenca subterránea queda separada de las aguas del Guadiana, aunque no se debe descartar la posibilidad de que, a través de los propios estratos antiguos que sirven de barrera impermeable, existan fallas que sirvan de conducto para aportaciones de interés a la cuenca de la capital.

II. Investigación gravimétrica

Para la prospección gravimétrica se ha empleado en este trabajo el gravímetro «Nörgard», poniéndose de nuevo de manifiesto las buenas condiciones de funcionamiento de este aparato, cuando las temperaturas no son excesivamente elevadas, ni sus cambios demasiado bruscos. De los gravímetros de que dispone este Centro, se ha empleado el de mayor temperatura de trabajo, que en este caso es el de 18°, por haberse realizado las mediciones de campo en época relativamente calurosa.

En estas condiciones se han efectuado en la mencionada zona hasta 124 estaciones gravimétricas distintas, dis-

tribuídas en forma de polígonos cerrados, partiendo radialmente del casco de la población; pero si se tienen en cuenta las numerosas repeticiones realizadas para el cierre de polígonos, el número de estaciones medidas es mucho mayor.

La estación base que lleva el número 1 y se repite al principio y final del trabajo diario, se ha situado junto al kilómetro 186 de la carretera de Madrid a Ciudad Real, por Toledo, y su altitud sobre el nivel del mar es de 626,5 metros.

Para las correcciones de Bouger (B) y al aire libre (H) se han empleado las fórmulas de costumbre impresas en los estados de cálculo, aplicando para la acción del terreno una densidad igual a 2.

Antes de llegar a las anomalías que han de ser interpretadas geológicamente, se han hecho, como siempre, además de las mencionadas correcciones, la temperatura, la de deriva y la de latitud.

Para que todas las anomalías obtenidas tengan un valor positivo, se ha partido del valor de la gravedad en un punto arbitrario que corresponde al valor $\gamma_0 = 978,756$ mgls. Como puede observarse en los estados de cálculo donde aparecen las anomalías de la gravedad obtenidas, que figuran en la última columna, éstas han resultado ser en general del orden de 4 a 8 miligals., variando entre los límites máximo de 0,72 mgls. en la estación número 50 y 11,8 mgls. en la núm. 34.

La distribución de las estaciones se ha hecho formando los polígonos siguientes:

POLÍGONO I.—Parte del Km. 186 sobre la carretera de Toledo. Se extiende hacia el Norte por la misma carretera hasta el cruce con el camino de las Monjas. Sigue por este camino hasta las proximidades del pueblo de Las Casas y

vuelve por la carretera de este mismo pueblo hasta su punto de partida.

POLÍGONO II.—Parte de un punto de la carretera de circunvalación de la capital, en la entrada de la Fuensanta; sigue la carretera del mismo nombre hasta el Km. 5; por el camino de las Olivas hasta cerca de Miguelturra y vuelve desde este pueblo por la carretera de Ciudad Real hasta el punto de partida.

POLÍGONO III.—Parte del cruce de la carretera de circunvalación con la de Puertollano, se extiende hacia el Oeste sobre la carretera de Navalpino, hasta el camino de Poblete; sigue por este camino en dirección SE. hasta alcanzar la carretera de Almadén, cerca del mencionado pueblo y vuelve por esta misma carretera hasta el punto de partida.

POLÍGONO IV.—Comienza en la citada carretera de circunvalación en su cruce con la de Carrión y Daimiel; sigue la misma carretera hasta el Km. 245; luego continúa por el mencionado camino de la Torre, hasta llegar al de los Mártires, por donde vuelve a su punto de partida.

Con los valores de las anomalías encontradas, que son las que figuran en el correspondiente mapa gravimétrico, se han trazado las curvas isanómalas a la equidistancia de un mgl. Después de un estudio de los resultados en conjunto, se ha decidido considerar en la zona como valores altos los superiores a la curva de 8 mgls. marcándose sobre el plano en azul; los comprendidos entre la 8 y la 4 como valores medios, marcándose la superficie en rojo; por último, los menores de 4 como valores bajos, tiñéndose esta zona de amarillo.

En cuanto a la interpretación geológica, teniendo los terrenos antiguos que forman la cubeta mayor densidad que la capa terciaria en general, resulta que los valores

mínimos han de indicar en principio los lugares profundos de la cuenca; por consiguiente, a golpe de vista se ve que las aguas de una pequeña cuenca que se dibuja en forma muy irregular alrededor de Ciudad Real, y que comprende a la capital, tiene su salida, no hacia el Guadiana, sino en dirección SE., precisamente por las proximidades de Miguelturra, y aunque se sale de los límites de nuestra zona de prospección, parece evidente que sus aguas vierten subterráneamente a la cuenca del río Jabalón.

Por otra parte, de acuerdo con esta interpretación, existe, a 5 Km. al NO. de la ciudad, una pequeña cubeta, donde sería interesante realizar sondeos de reconocimiento, con probabilidades de encontrar aguas artesianas, aunque no hay que contar con que sean surgentes a la superficie.

Prolongación de esta pequeña cubeta es otra menor aún cuyo centro se encuentra unos 2 Km. al NNO. de Ciudad Real. La salida de las aguas de ambas cubetas se hace por un estrechamiento subterráneo situado a muy poca distancia al Oeste del casco de la población, con dirección N.-S., pero pasado este lugar su curso debe doblar en seguida en el sentido de Miguelturra.

Al SO. de la misma capital existe otra pequeña cubeta, alargada en dirección O.-E., donde los alumbramientos de agua tendrían probabilidades de buen éxito y en condiciones económicas. Lugar apropiado sería el de la estación gravimétrica núm. 95, o un punto situado a un kilómetro más al ENE., donde se tendría la ventaja de que concurrirían además en él parte de las aguas procedentes de las mencionadas cubetas del NO. y NNO. de la ciudad.

III. La investigación eléctrica

Como ya se indicó al principio del informe, con el fin de conocer la profundidad del contacto antiguo del Primario con los terrenos superpuestos, además de confrontar los resultados del estudio gravimétrico, se ha empleado el método eléctrico de prospección. El sistema utilizado ha sido el de los sondeos eléctricos de corriente continua, distribuidos en forma de dos perfiles que cruzan diametralmente la ya mencionada zona. Sus estaciones se han espaciado en estos perfiles a distancias muy variables según los lugares; a veces a 100 m., y otras hasta 500 metros entre sí. La profundidad de investigación alcanza a veces hasta los 150 m. (Véase el plano geológico, con los perfiles eléctricos.)

PERFIL I.—Tiene dirección ENE.-OSO.; sigue las carreteras de Daimiel a Ciudad Real y de Ciudad Real a Navalpino; consta de 49 sondeos y alcanza una longitud de 16 Km. En él se observa lo siguiente (véanse los gráficos):

Los cuatro primeros sondeos se han colocado directamente sobre las cuarcitas, y aparte de ciertos contactos más o menos resistentes en su seno, que no tienen ningún interés en este estudio, no se aprecia en ellos más que un nivel de resistividad mínima correspondiente al contacto del recubrimiento superficial descompuesto. En el resto de las medidas eléctricas, hasta los 110 metros de profundidad a que alcanzan los cuatro sondeos, se observa un incremento rápido de la resistividad aparente, a medida que disminuye la influencia relativa de las capas superiores.

La inclinación de esta línea en los gráficos, relacionada con los gradientes de resistividad, ha sido un dato de la

mayor importancia para la interpretación. En ella se ha tenido en cuenta, que si bien se habla en general de las cuarcitas del fondo, a veces son sustituidas por pizarras de la misma edad, pero de mayor conductividad eléctrica.

Siguiendo la marcha de los gráficos, de acuerdo con estas normas, hemos marcado una línea que indica la supuesta marcha del contacto del terreno terciario con el primario, y por tanto el fondo de la cuenca que ha de contener agua explotable. Sin embargo, añadiremos la advertencia de que cabe la posibilidad que este contacto que se marca sea el de algún horizonte moderno de resistividad parecida a las pizarras; pero en el caso de ser cierta esta hipótesis, no significaría ningún grave inconveniente, pues desde el punto de vista hidrológico lo probable es que el contacto geológico que se indica sirva de asiento o contenga algún nivel de agua, que es lo que se trata de buscar.

En los sondeos 5 y 6 se manifiestan los dos niveles que pueden indicar el fondo de la cuenca; el primero hacia los 45 m., y el segundo hacia los 75 metros. De todas formas ambos deben ser horizontes hidrológicos. En los sondeos 7 y 8 aparece más claro el nivel buscado, que se manifiesta a los 75 y 90 metros respectivamente. En los sondeos 9, 10, 11, 12, 13 y 14 se aproxima el contacto antiguo a la superficie, llegando a estar a 40 m. de profundidad, lo que concuerda con la proximidad de un afloramiento situado al Norte de éstos. Luego aumenta su profundidad hasta los 105 m. en el núm. 22, y se sostienen en profundidad de este orden hasta la capital. A través de ésta continúa de nuevo el mismo perfil con los sondeos 31 y 32, lugares de profundidad máxima en esta prospección, puesto que pasa de los 150 metros. Luego disminuye la profundidad hasta el n.º 45, en el que el Primario se encuentra a los 75 m., y termina el perfil en el 49, situado sobre cuarcitas.

El lugar más interesante de este perfil es sin duda el del emplazamiento del sondeo 31, donde la profundidad máxima es inferior a los 150 metros, pero que corresponde con la única salida que tienen las aguas de las ya mencionadas cubetas del NO. y NNO. de Ciudad Real, de acuerdo con el estudio gravimétrico.

PERFIL II.—Consta de 24 sondeos numerados del 50 al 73, que se adaptan a las carreteras de Las Casas a Ciudad Real, y desde esta capital a Miguelturra.

La orientación del perfil es próximamente NO.-SE., y tiene una longitud de 13 kilómetros. Los sondeos 51 y 50 están sobre cuarcitas, y en ellos se marca, como en los situados sobre la misma roca, el horizonte superficial descompuesto y más o menos húmedo.

A medida que se profundiza aumenta la resistividad, llegando a valores del orden de más de 700 m²/m.

El estudio de estos sondeos, situados sobre la misma roca cuyo contacto buscamos en profundidad, ha sido indispensable para la interpretación de los demás gráficos.

El contacto antiguo baja rápidamente en esta zona, puesto que en el sondeo 54 ya se manifiesta a los 140 metros de profundidad, luego disminuye hasta unos 100 metros, para pasar de los 150 en los sondeos 65 y 66, coincidiendo también con el paso hidrológico deducido del trabajo gravimétrico.

En los números 67 y 68, situados muy cerca del casco de la población, disminuye la profundidad, para pasar de nuevo, a los 150 m. en los 72 y 74 de Miguelturra.

No debemos dejar de hacer resaltar que entre estos dos se manifiesta una pequeña elevación subterránea del terreno antiguo, determinada en el 73 con 115 m. de profundidad, lo que no nos produce extrañeza, ya que coincide

con la prolongación de un afloramiento siluriano situado al NE. de Miguelturra.

Sobre los gráficos se ha seguido con línea gruesa continua el contacto primario buscado, y en los sondeos, cuya interpretación puede ofrecer duda, se marcan los dos niveles que se consideran más probables.

IV. Resumen comparativo de los dos métodos geofísicos empleados

El método gravimétrico ha dado la forma de las cubetas o zonas de mayor interés hidrológico; el eléctrico la profundidad de su fondo primario, hasta un límite máximo de 150 m. Ha sido de gran interés comprobar que los sondeos eléctricos donde se manifiesta el fondo más profundo coincide en términos generales con los valores gravimétricos mínimos, como era de esperar.

Así, por ejemplo:

Las estaciones gravimétricas

Núm 23 = 5, mgl.

-- 25 = 6,3 --

-- 24 = 7,3 --

valores mínimos en un trozo de perfil, coinciden con los sondeos

54 = 140 m. prof.

56 = 145 --

55 = 125 --

todos de profundidad relativamente grande en el perfil a que corresponden.

La estación gravimétrica 32 = 7,14 mgl. se corresponde en el sondeo 66, que a los 150 m. no llega a alcanzar el contacto antiguo. Este punto es de gran importancia, pues

es el posible paso de las aguas procedentes de la doble cubeta del NO. de Ciudad Real.

Estas aguas siguen su curso subterráneo hacia el Sur pasando por las estaciones gravimétricas

63 = 6,8 mgl.

99 = 6,0 --

100 = 6,3 --

coincidiendo con los sondeos 31 y 32, en los que tampoco se ha llegado al fondo con 150 m. de profundidad.

Por último, el sondeo 74, en el que tenemos motivos para sospechar como lugar de la máxima profundidad para el contacto antiguo, se encuentra junto a la estación número 50 que da un valor de 0,7 mgl.

Las estaciones de gravímetro núms. 101 = 10,4 mgl. y 102 = 9,6 mgl. de relativamente elevado valor, en contra de lo que se esperaba en esa zona cerca de la capital, corresponden con los sondeos eléctricos 29 y 30, en los que se manifiesta el Primario o roca hipogénica a los 85 y 90 m., respectivamente, de profundidad.

V. Conclusiones

Del conjunto de la doble prospección gravimétrica y eléctrica se deduce lo siguiente:

1.º Que existen en la zona estudiada superficies relativamente extensas donde hay posibilidades de alumbrar agua económicamente hasta la superficie.

2.º Que la zona de mayor interés es la comprendida entre las líneas isanómalas 4 y 8 mgl. que se marca en rojo en el mapa gravimétrico y situada al NO. y NNO de la capital.

3.º Que las aguas de estas cubetas tienen su única

salida subterránea, parcial o total, hacia los mojones kilométricos 0,500 y 1.000 de la carretera de Ciudad Real a Las Casas.

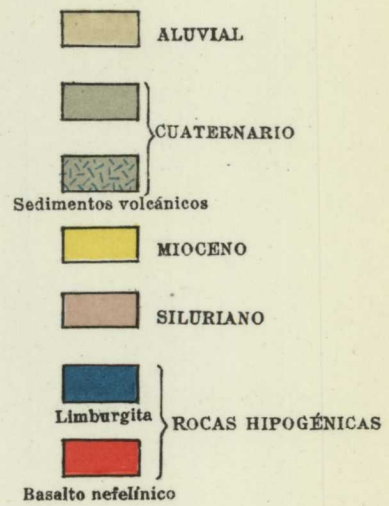
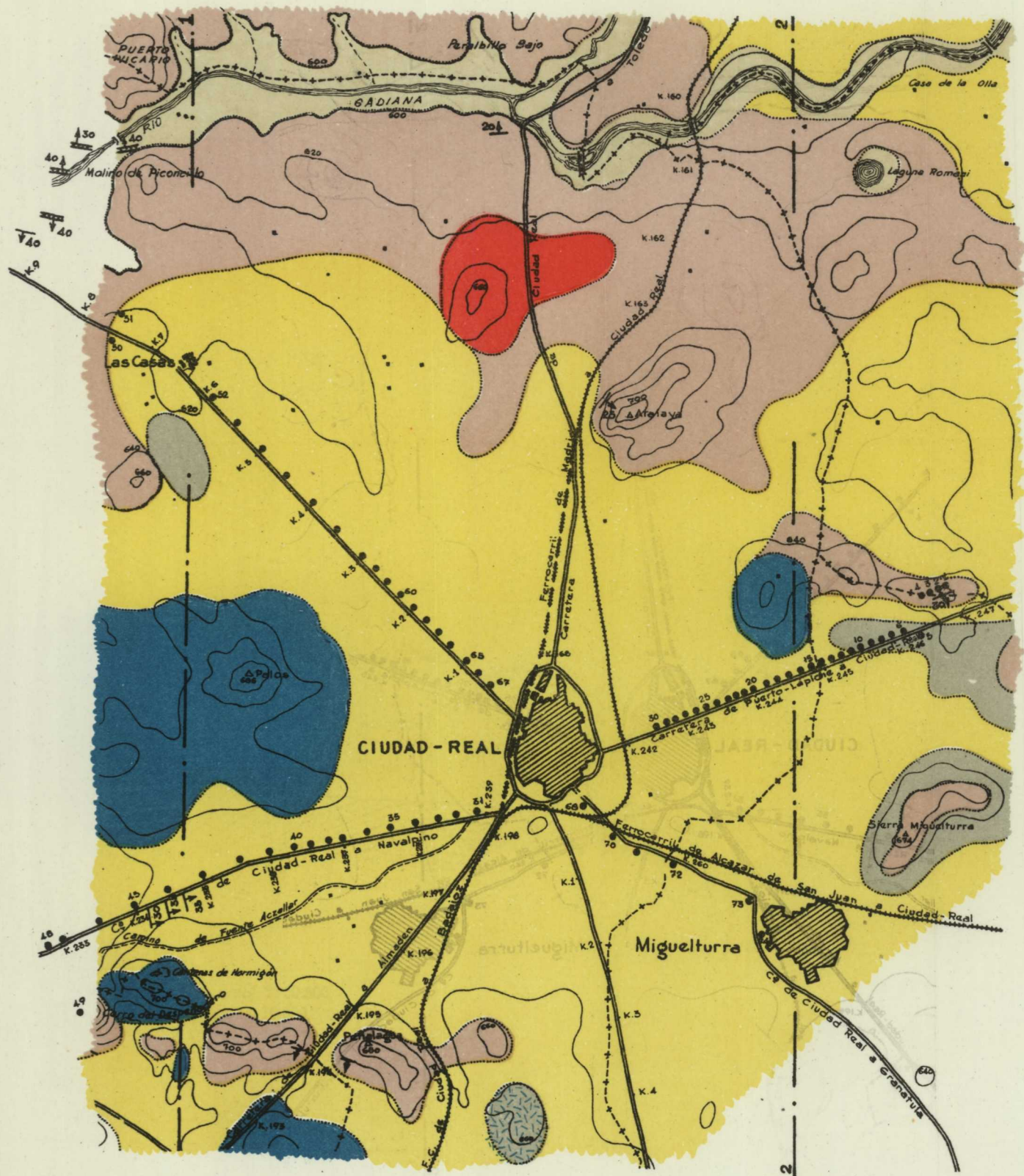
4.º Que las aguas de estos vasos subterráneos tienen su salida principal hacia un sector del pueblo de Miguelturra, que se ha dibujado en el mismo mapa mencionado, para desembocar en la cuenca del río Jabalón.

5.º Que hay otra pequeña cubeta alargada al SO. de la capital, cuyo conocimiento consideramos de mucho interés.

6.º Por último, se recomiendan varios sondeos mecánicos de prospección. Los S 1, 2, 3 y 4, marcados en el mapa gravimétrico, que deberán proyectarse para profundidades de 150 a 200 m.; y el S 5, situado al SE. de la capital, cuya profundidad pudiera pasar de 200 m., debiéndose proyectar para 250 m., aunque en realidad no sepamos a qué profundidad se encuentra el Primario en ese lugar.

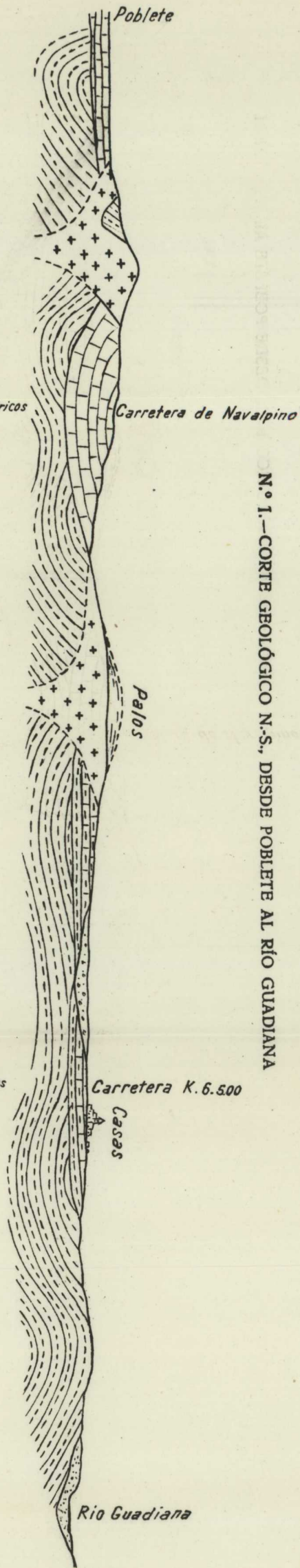
INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA
EN CIUDAD REAL

PLANO GEOLÓGICO Y
SONDEOS ELÉCTRICOS



INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA EN CIUDAD REAL

N.º 1.—CORTE GEOLÓGICO N.-S., DESDE POBLETE AL RÍO GUADIANA



N.º 2.—CORTE GEOLÓGICO N.-S., DESDE MIGUELTURRA AL RÍO GUADIANA



EXPLICACIÓN

	Aluvial
	Diluvial
	Mioceno
	Siluriano
	Rocas hipogénicas

ESCALAS }
 Horizontal 1: 50.500
 Vertical 1: 10.000

Nivel del mar

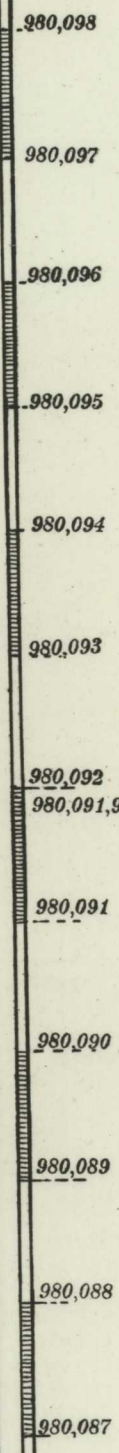
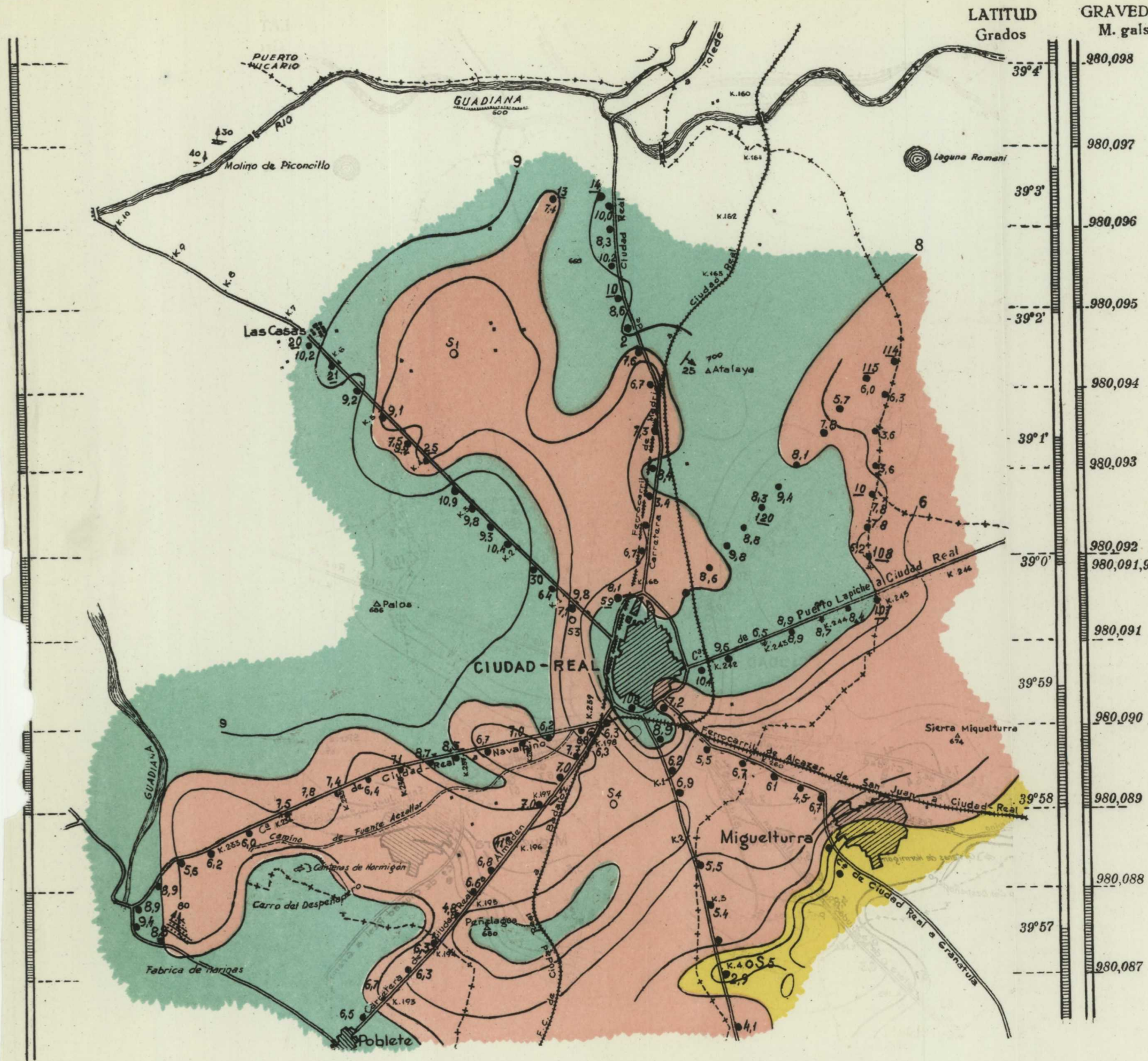




LATITUD Grados GRAVEDAD M. gals.

INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA EN CIUDAD REAL

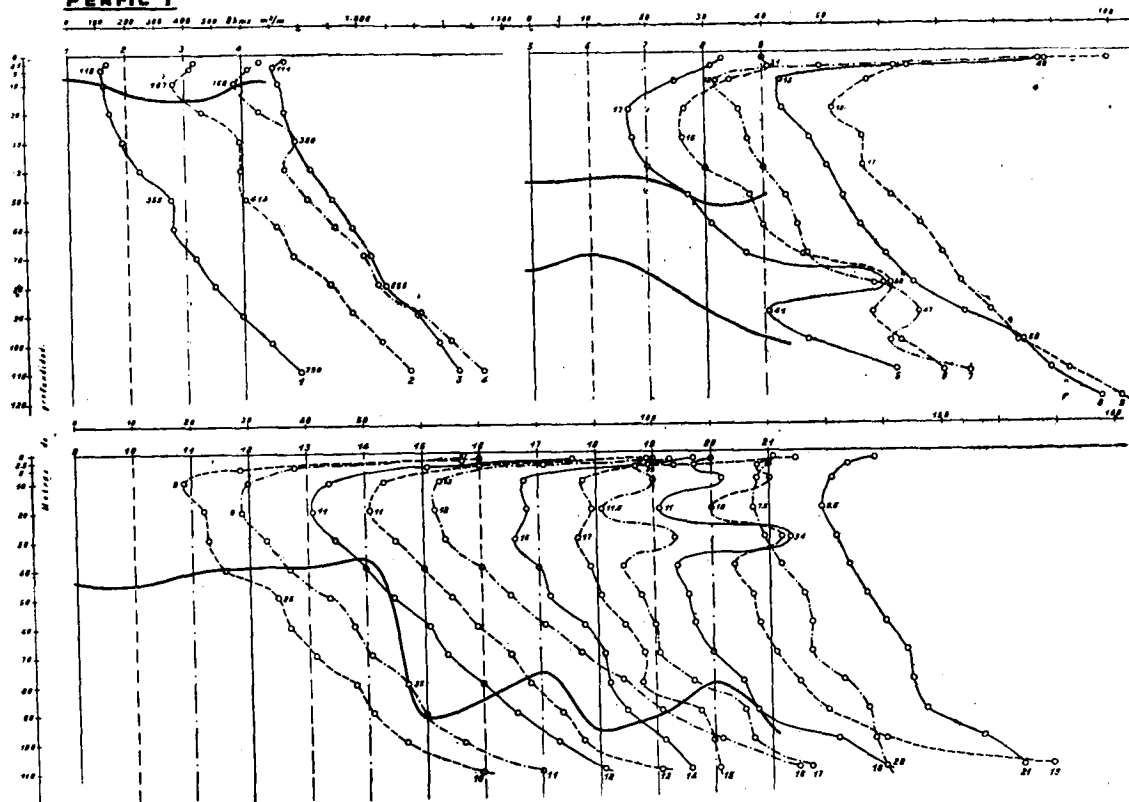
PLANO GRAVIMÉTRICO



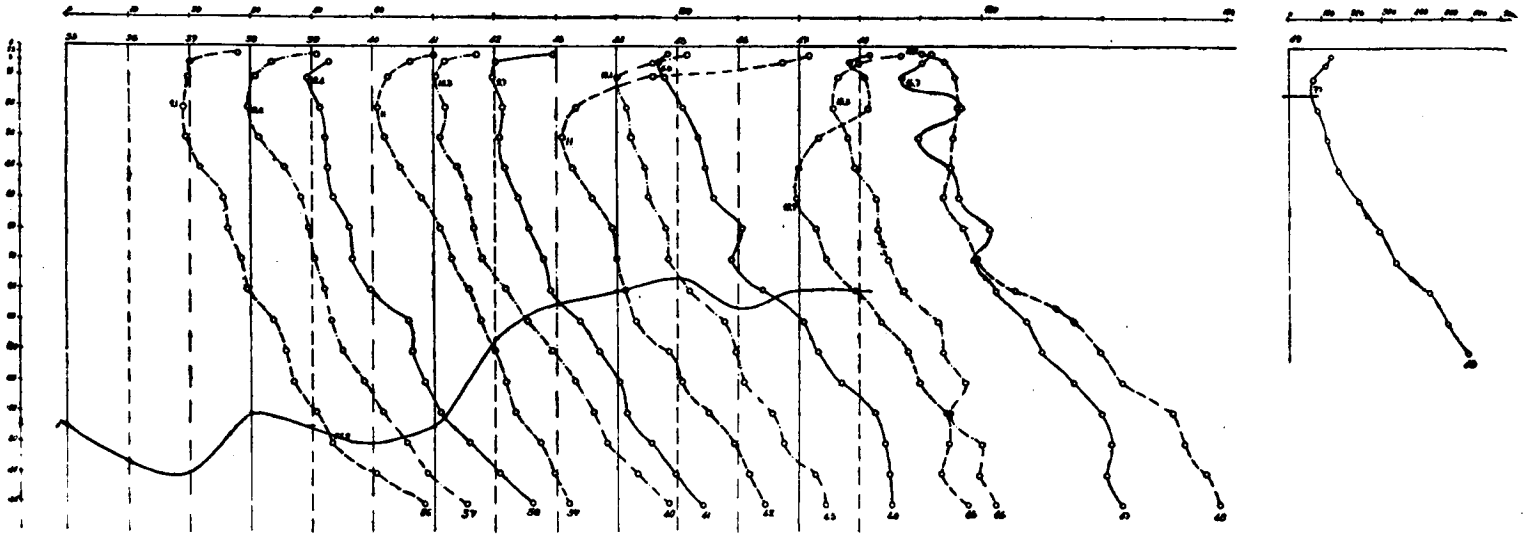
- 25 Estación del gravímetro
- 9,8 Anomalía
- Curva isanómala
- > 8
- 8-4
- < 4

GRÁFICO DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS.

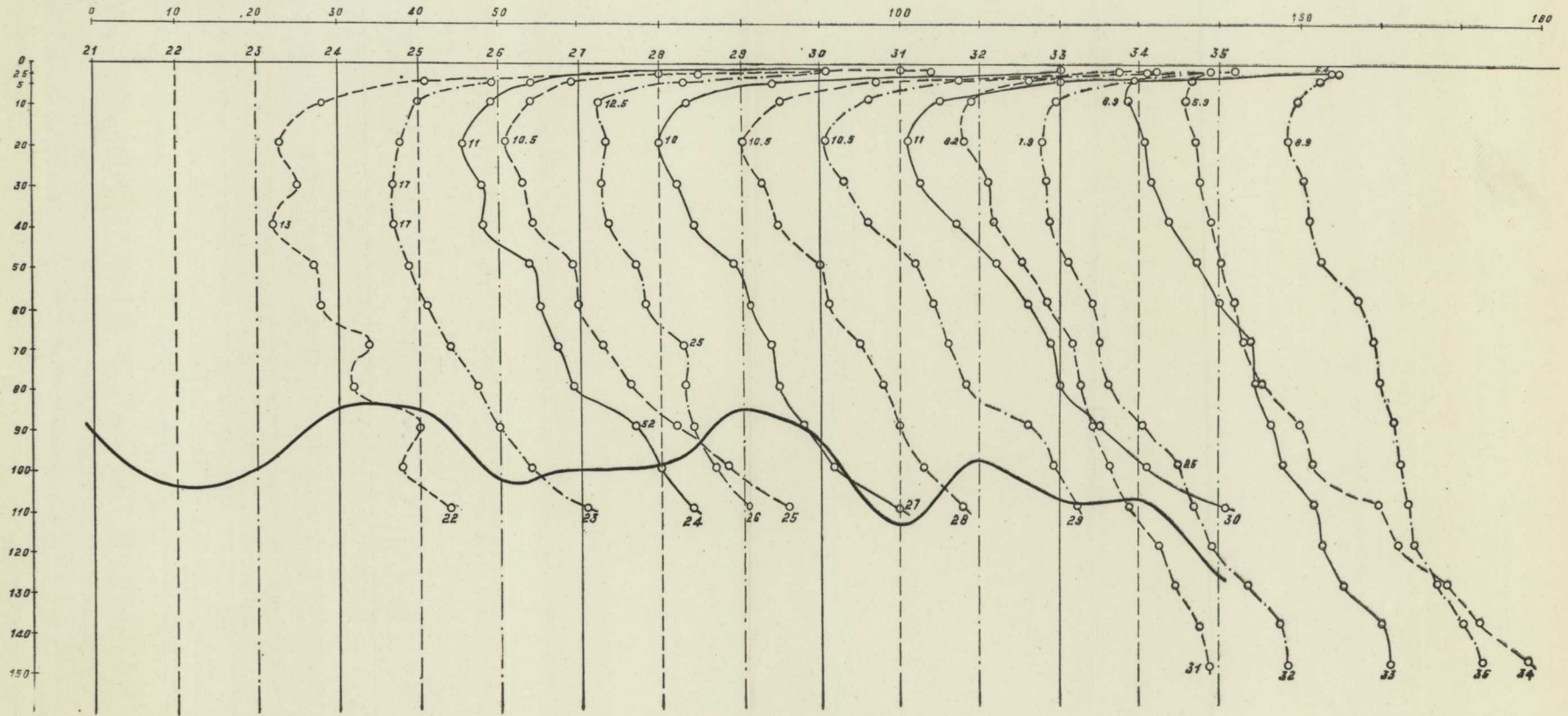
PERFIL 1



PERFIL 1



PERFIL 1.



CAPÍTULO V

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN MONFORTE DEL CID (ALICANTE)

En las proximidades del pueblo de Monforte del Cid (Alicante) efectuó un sondeo la Sección de Hidrología subterránea de este Centro, con la esperanza de alumbrar agua que sería de vital importancia en la zona, dadas la calidad de las tierras y características del clima. El sondeo llegó a la profundidad de 350 metros, en que se produjo una avería, motivo de la suspensión de la perforación.

Ante la posibilidad de tener que efectuar importantes gastos para la continuación del trabajo, la citada Sección propuso a la de Geofísica emplease los medios a su alcance para determinar la situación de una caliza en cuyo contacto se espera encontrar un nivel hidrológico explotable.

Veremos a continuación cómo, con ayuda del método sísmico, se ha podido hacer un reconocimiento en profundidad de primordial interés para poder decidir sobre la conveniencia de continuar el sondeo o la de ~~dearlo por terminado~~ **terminado definitivamente.**

I. Reseñas geográfica y geológica

Reseña geográfica.

La investigación se ha circunscrito a la vega de Monforte del Cid, en los alrededores del lugar donde se ejecutó el mencionado sondeo mecánico, a unos 1.200 m. al Sur de la estación del ferrocarril y a unos 50 m. al Oeste de la carretera que va desde la estación al convento de Orito (véase el plano general).

Se trata de una extensión superficial semillana o ligeramente hundida hacia el centro de la vega, rodeada por una serie de contrafuertes que culminan en otras serrezuelas y pequeñas montañas distribuidas en forma de herradura.

Las cotas de esta zona están comprendidas entre 230 y 300 m., correspondiendo la primera al pueblo de Monforte del Cid, situado al Oeste y en la parte baja, y la segunda a la loma de la Candela, en la zona oriental. Esta loma divide las aguas, que discurren superficialmente, hacia la vega de Monforte, de que tratamos, y hacia la de Agost y San Vicente de Raspeig en el sentido opuesto. Las sierras circundantes próximas, tanto al N. como al S. y O., alcanzan 350 y 400 metros de altitudes medias.

Hidrográficamente pertenece a la cuenca del río Vinalopó, que desciende sin afluentes de importancia desde Villena, pasando por los pueblos de Novelda, Monforte y Elche, para desembocar en la ensenada de El Salador.

Reseña geológica.

Realmente se ha dedicado poco tiempo a las observaciones geológicas, especialmente en lo que se refiere a la Paleontología. Por esta razón, no es absolutamente preci-

sa la clasificación que damos a los terrenos que se representan, aunque está basada en la semejanza de facies y analogía física con otros de la misma región ya clasificados. Hacemos la observación para mayor claridad y por la variación que pudiera sufrir la clasificación con un estudio posterior más detenido.

A continuación describimos la geología de la zona, enumerando los terrenos de menor a mayor edad geológica, como sigue:

CUATERNARIO.—Consideramos como tal a toda la parte superficial de las vegas de Monforte y Novelda, pues aunque su mayor sedimentación corresponde al Mioceno, según los datos obtenidos por el sondeo mecánico, su parte alta es de naturaleza francamente terrosa, con tongadas y zonas pedregosas y arenosas de marcado carácter de arrastre y origen clástico, que obligan a considerarlo como Cuaternario, aunque sea de poco espesor. Su estructura es margo-arcillosa con tongadas de canto calizo de tamaño pequeño y alternancias arenosas, y su disposición completamente horizontal o con ligera forma de cuenca, erosionada por los agentes meteóricos.

TERCIARIO.—En esta serie incluimos la que denominamos en el plano costra superficial. No es sino el derrame postsecundario de las laderas próximas o trabazón de cantos erráticos de naturaleza diversa, predominando la calcárea; con diferentes tamaños, trabados por un cemento margo-sabuloso. Esta costra forma una especie de recubrimiento denudado en muchos sitios y cubre, en general, a los horizontes secundarios de donde proceden la mayor parte de sus componentes.

El trazado del ferrocarril, en sus kilómetros 433 y 434, deja al descubierto el espesor de esta costra, que continúa al Norte interrumpida por la serrezuela de Gil Martínez,

siguiendo por el Sur en faja estrecha apoyada en los conglomerados y capas sabulosas, penetrando bajo el Cuaternario de la vega, sin que deba ser muy extensa la penetración. En las cercanías de Monforte forma la pequeña loma del cementerio, por el Este, y bordea la lometa al Oeste. Otra manifestación de la costra cubre directamente las margas yesosas al Oeste de Novelda, y festonean al Norte del ferrocarril las lomas de Monteagudo y la Serreta.

Dentro de esta edad terciaria, y perteneciendo posiblemente al tramo inferior o Aquitaniense, se observa al Norte del convento de Orito una zona de conglomerados y margas sabulosas, alternantes con bancos de 30 y 40 centímetros de potencia, dirigidos en el mismo sentido que las lomas, o sea Este-Oeste magnético, con buzamientos al Norte e inclinaciones de 35 a 40° con el horizonte.

Sirven de asiento a las margas y calizas bastas miocenas, y se apoyan sobre bancos margosos de tonos claros del Cretáceo. Frente al convento de Orito desaparece por denudación y siguen hacia Levante, por el paraje del Charco del Arriero, hasta el ferrocarril.

SECUNDARIO.—Como sostén de los anteriores terrenos se manifiesta la formación secundaria, representada por el Cretáceo y Triásico en disposición normal, constituido el primero por margas claras y calizas y el segundo por yesos y margas yesosas.

El Cretáceo aflora al Norte de la carretera de Novelda a Agost, cerca del Km. 4,500, en gran extensión, y se manifiesta constituyendo ambos flancos del anticlinal de Orito, en estrecha faja en el flanco norte y en forma de sinclinal abierto en el sur.

Su orientación es Levante-Poniente; sus inclinaciones

variables entre 25 y 40° y el buzamiento cambia según sea la disposición estratigráfica, sinclinal o anticlinal.

Según se aprecia en el corte geológico que se acompaña, la estructura interna de estos terrenos comprende dos anticlinales separados entre sí por un gran sinclinal central, flanqueado al Norte y Sur por otros dos; uno concordante con la sierra del Cid y el otro con la de las Águilas. Estos sinclinales han de restar mucha agua al central dentro de la captación fluvial, y explican en parte la escasa cantidad alumbrada por el sondeo.

El horizonte triásico representa en esta zona el último tramo visible o substratum de la misma. Tiene su manifestación exterior con idéntica orientación que los demás, es decir, E.-O. aproximadamente. Se ve en las cercanías de Orito en forma de cresta, hallándose al extremo occidental del asomo al Norte y al lado de este convento, y continúa hacia Levante hasta pasar el ferrocarril próximo a la estación de Agost.

Hacia Novelda reaparece en la carretera que va al cerro de la Mola, donde está la ermita de la Magdalena, y en el Km. 3 de la carretera a Monóvar. Petrográficamente está constituido por margas yesosas de colores rojizo y vinoso, y aparenta cierto diapirismo y estratificación mal definida en la mayoría de los lugares visibles.

TECTÓNICA.—La disposición más generalizada dentro de la zona es la que representamos en el corte geológico que incluimos, es decir, orientación general de Levante a Poniente y repliegue afectado por empujes de Norte a Sur. No obstante, es frecuente la presencia de capas en disposición transversal, redobladas sobre todo en la región occidental y norte, como se puede observar en Loma Redonda, con dirección de empuje normal al citado. También hay otras posiciones intermedias como resultado de aco-

modamiento, consecuencias de conmociones posteriores a los movimientos principales, que han sido frecuentes en épocas pasadas en la región litoral.

II. La investigación sísmica

La prospección realizada ha consistido en hacer dos líneas sísmicas de 2,100 Km. de longitud cada una, en opuesta dirección, sobre el sondeo mecánico, y otra más de 1.350 m. en el afloramiento de los yesos triásicos para conocer sus características, ya que es presumible encontrarlos en el sondeo a una profundidad más o menos grande.

LÍNEA I.—El barreno de esta línea se ha situado en la finca de Ramón Martínez, a 60 m. del lugar donde estuvo emplazada la máquina del mencionado sondeo mecánico, y a 30 m. al Este de la carretera del convento de Orito a la estación de Monforte. Tiene dirección E.-15°-N. Consta de 20 estaciones de 100 en 100 metros de distancia y tiene por tanto una longitud de 2.000 metros.

Dibujada la curva dromocrónica como de costumbre en este tipo de prospección, se llega a la diferenciación en ella de los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{100}{0,120} = 800 \text{ m/s.}$$

que indica la cubierta moderna, en este caso de tierras y arenas.

$$V_2 = V_{0-6} = \frac{600 - 100}{0,365 - 0,120} = 2.000 \text{ m/s.}$$

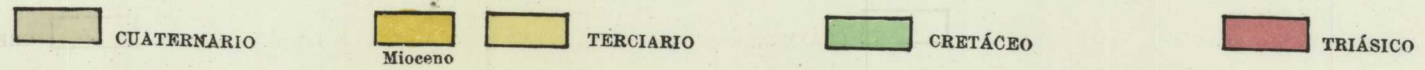
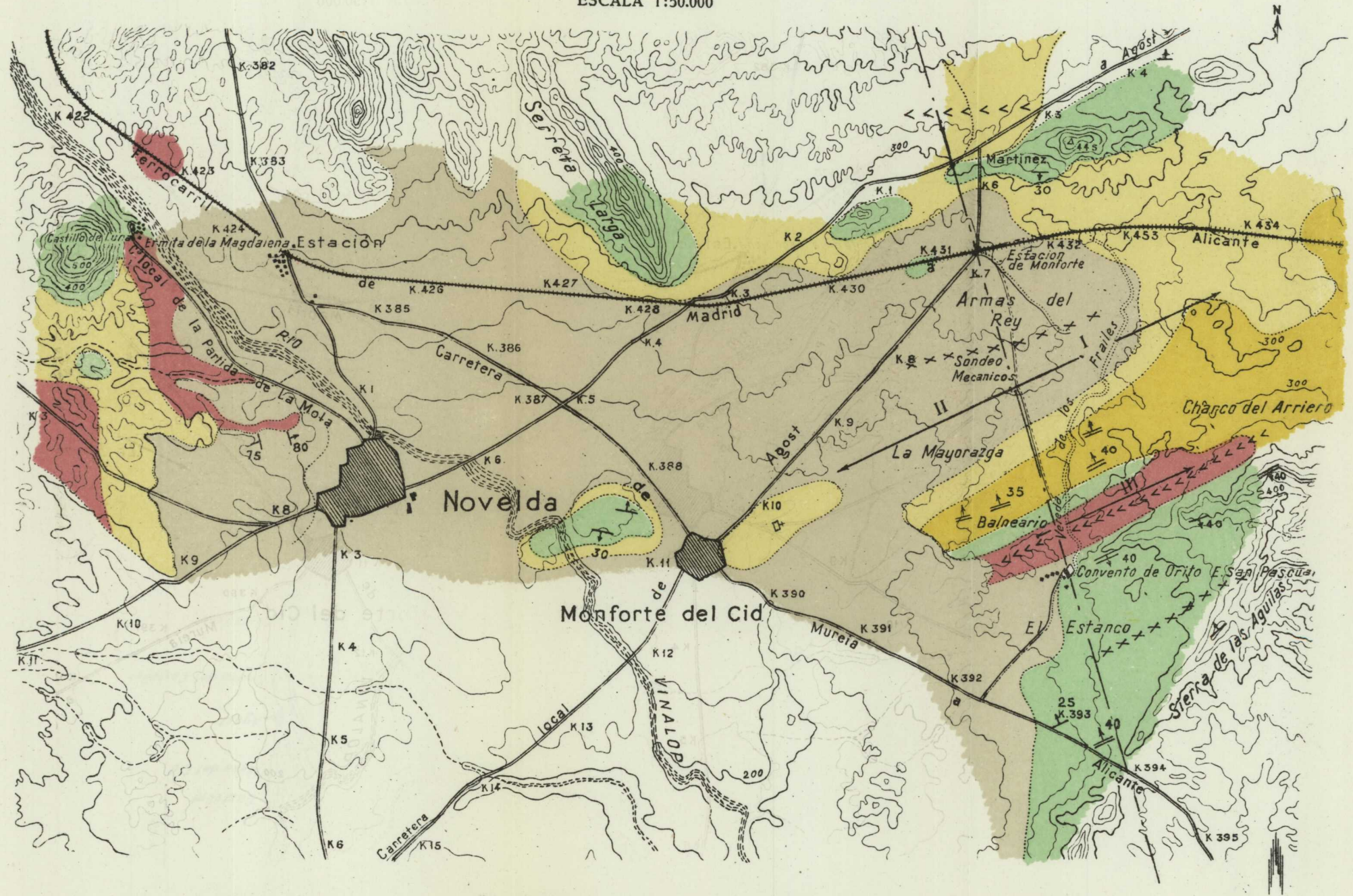
que se debe a margas arcillosas o arenosas, probablemente terciarias.



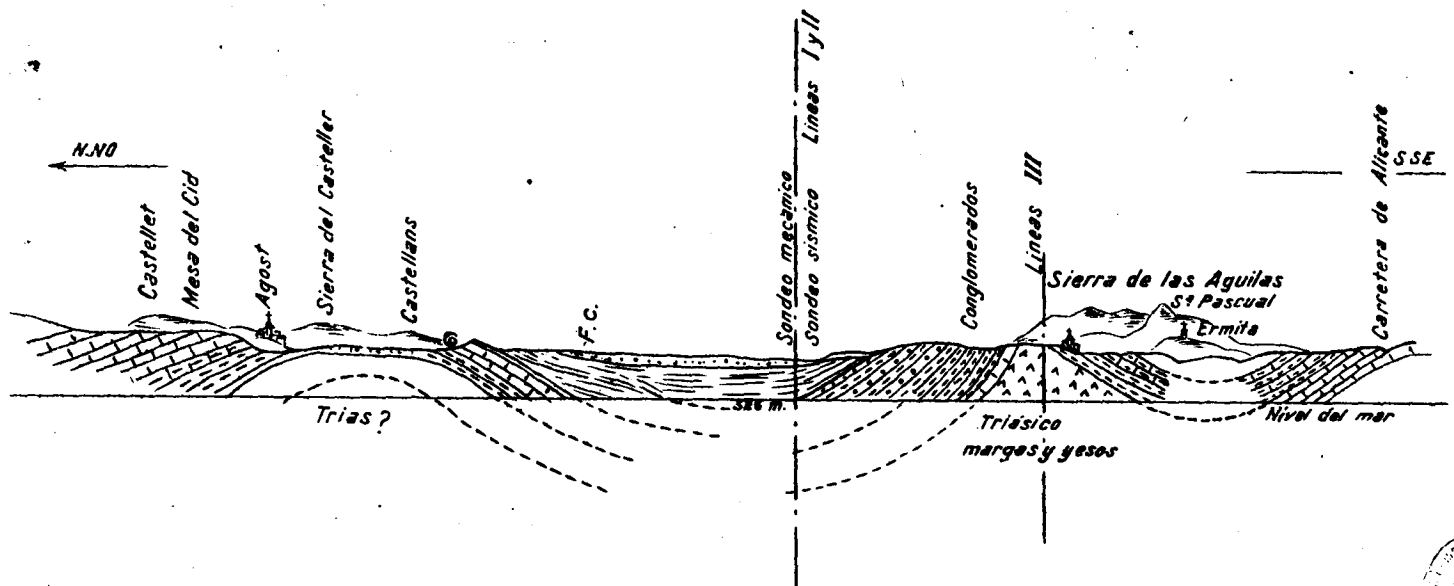
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN MONFORTE DEL CID (ALICANTE)

PLANO HORIZONTAL

ESCALA 1:50.000



INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN MONFORTE DEL CID (ALICANTE)
 CORTE GEOLÓGICO NNO.-SSE., POR LOS SONDEOS MECÁNICO Y SÍSMICO



$$V_3 = V_{5-12} = \frac{1.200 - 600}{0,513 - 0,365} = 4.000 \text{ m/s.}$$

es un parámetro que se tiene que interpretar de acuerdo con la contralínea y con observaciones geológicas sobre el terreno. Indica un paquete de margas terciarias o quizá cretáceas, cuya superficie de contacto atraviesa el rayo sísmico en sentido ascendente, resultando por consiguiente con velocidad aparente mayor a la real.

$$V_4 = V_{12-15} = \frac{1.500 - 1.200}{0,624 - 0,513} = 2.700 \text{ m/s.}$$

$$\text{y } V_5 = V_{15-18} = \frac{1.800 - 1.500}{0,713 - 0,624} = 3.300 \text{ m/s.}$$

son valores que pueden representar margas más o menos arenosas o arcillosas, probablemente cretáceas.

Por último

$$V_6 = V_{18-20} = \frac{2.000 - 1.800}{0,759 - 0,713} = 4.300 \text{ m/s.}$$

puede indicar el horizonte de calizas que buscamos.

Aplicando para el cálculo de profundidades, como en casos similares, el coeficiente aproximado de profundización $K = 0,30$, resulta que la mencionada caliza se manifiesta a los $1.800 \times 0,30 = 540 \text{ m.}$ de profundidad.

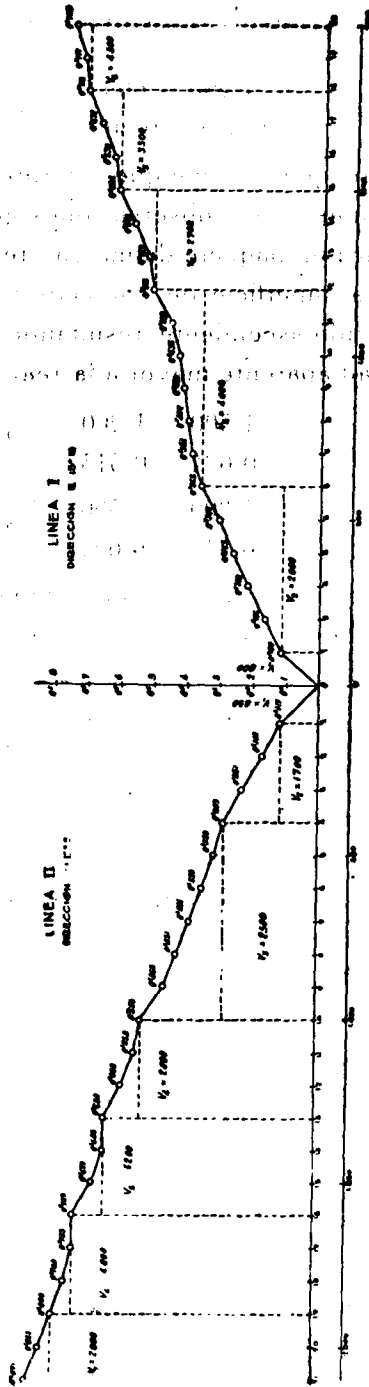
LÍNEA II.—Es contralínea de la anterior. Por lo tanto tiene barreno común con aquella y dirección Oeste-15°-Sur. Consta de 21 estaciones, alcanzando una longitud de 2.100 metros.

Estudiada la dromocrónica, se llega a la siguiente diferenciación de valores sísmicos.

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{100}{0,117} = 850 \text{ m/s.}$$

que indica la cubierta detrítica.

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN MONTE DEL CID (ALICANTE)
LÍNEAS SEISMOGRÁFICAS



$$V_2 = V_{1-4} = \frac{400 - 100}{0,293 - 0,177} = 1.700 \text{ m/s.}$$

corresponde a las margas arcillosas, supuestas terciarias.

$$V_3 = V_{4-10} = \frac{1.000 - 400}{0,526 - 0,293} = 2.500 \text{ m/s.}$$

es la velocidad aparente con que se manifiesta el horizonte de margas, posiblemente cretáceas, y que en esta dirección atraviesa el rayo sísmico en sentido descendente con relación a la estratificación.

$$V_4 = V_{10-18} = \frac{1.300 + 1.000}{0,644 - 0,536} = 2.800 \text{ m/s.}$$

$$y \quad V_5 = V_{18-16} = \frac{1.600 - 1.300}{0,737 - 0,644} = 3.200 \text{ m/s.}$$

son valores sísmicos representantes de los horizontes ya mencionados de margas más o menos arenosas o arcillosas. Probablemente cretáceas.

$$V_6 = V_{16-19} = \frac{1.900 - 1.600}{0,800 - 0,737} = 4.800 \text{ m/s.}$$

creemos puede corresponder al horizonte de calizas que afloran en los bordes de la vaguada en estudio.

Por último,

$$V_7 = V_{19-21} = \frac{2.100 - 1.900}{0,871 - 0,800} = 2.800 \text{ m/s.}$$

es un parámetro que no podemos interpretar por no llegar hasta el mismo nivel la contralínea.

La profundidad a que se manifiestan las calizas en esta línea ha sido de

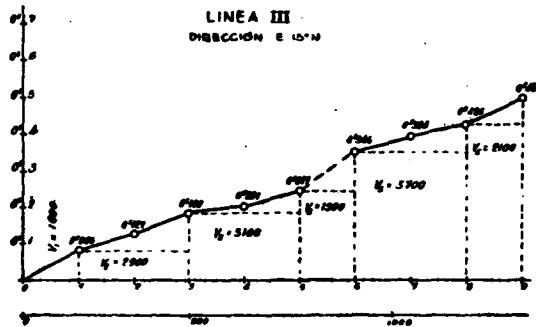
$$1.600 \times 0,30 = 480 \text{ metros.}$$

Refiriendo las profundidades obtenidas al barreno común de las dos líneas, resulta que la profundidad de las citadas calizas en su emplazamiento es de

$$\frac{540 + 480}{2} = 510 \text{ metros.}$$

Conviene hacer la advertencia, de que no eliminamos la posibilidad de que antes de este nivel exista algún banco de calizas de poco espesor, que incluso tenga interés hidrológico. Pero esto, aunque se manifieste en ambas curvas dromocrónicas, no lo podemos asegurar. Este supuesto horizonte aparece en la línea I a los $1.500 \times 0,30 = 390$ metros. Por consiguiente, en el barrenó común se encontraría a los 420 m. aproximadamente.

LÍNEA III.—Su barrenó se ha situado a unos 100 m. al Oeste del mojón kilométrico I de la carretera del conven-



to de Orito a la estación de Monforte del Cid, cerca del balneario.

Tiene dirección E.-15°-N. Consta de 9 estaciones y alcanza una longitud de 1.350 metros.

Razones de orden material impidieron hacer la contralínea, por lo que damos con cierta reserva sus resultados.

Estudiada la curva dromocrónica se aprecian en ella los siguientes parámetros.

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{150}{0,085} = 1.800 \text{ m/s.}$$

indica la cubierta superficial descompuesta.

$$V_2 = V_{1-2} = \frac{450 - 150}{0,188 - 0,085} = 2.900 \text{ m/s.}$$

es la velocidad sísmica aparente de los yesos.

$$V_3 = V_{2-3} = \frac{700 - 450}{0,247 - 0,188} = 5.100 \text{ m/s.}$$

puede interpretarse como un horizonte salino o de anhidrita muy compacta.

$$V_4 = V_{3-4} = \frac{900 - 750}{0,346 - 0,247} = 1.500 \text{ m/s.}$$

indica que bajo este horizonte salino existe otro de poca velocidad, probablemente arcilloso.

$$V_5 = V_{4-5} = \frac{1.200 - 900}{0,426 - 0,346} = 3.700 \text{ m/s.}$$

puede muy bien corresponder a las areniscas triásicas.

$$V_6 = V_{5-6} = \frac{1.300 - 1.200}{0,497 - 0,426} = 2.100 \text{ m/s.}$$

determina el final del mencionado paquete de areniscas o el contacto con otro de menor elasticidad, que sería aventurado interpretar.

En resumen, parece lo probable que en el Triás existan dos paquetes característicos: uno, de sal o anhidrita compacta, de unos 90 m. de potencia, con la velocidad sísmica del orden de 5.100 m/s., y otro de areniscas, de parecida potencia, con unos 3.700 m/s. A ninguno de los dos horizontes se llega en las líneas del sondeo mecánico, que alcanzan hasta los 630 m. de profundidad.

III. Conclusiones

Como consecuencia de la investigación sísmica de Monforte del Cid se han deducido las siguientes conclusiones:

1.^a Que a los 630 m. de profundidad que alcanza la prospección en el lugar del sondeo mecánico no se ha conseguido llegar a ningún horizonte triásico.

2.^a Que hasta la profundidad de 510 m. no parece probable que se encuentre el nivel de calizas, supuestas cretáceas, a las que se concede cierta importancia hidrológica.

3.^a Que, sin embargo, a los 420 m. se manifiesta un horizonte calizo de poco espesor, que si bien pudiera contener agua aprovechable, no recomendamos se efectúen las labores necesarias para alcanzarlo, por lo problemático del posible éxito.

CAPÍTULO VI

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN CISTIerna

La finalidad de la investigación sísmica en Cistierna, realizada por medio del método sísmico de refracción, ha sido la de determinar el espesor de los terrenos terciarios y secundarios que recubren el supuesto Carbonífero de la zona sur de la mencionada localidad. El problema es muy difícil, dada la variedad de los terrenos que se pueden presentar debajo del Oligoceno. Pero como además se dificulta la interpretación del trabajo sísmico con la profundidad, se ha limitado ésta a los 600 metros. Los resultados han sido interesantes para el mejor conocimiento de la región, aunque muy pesimistas en cuanto a su aprovechamiento como cuenca minera de carbón, en las zonas reconocidas hasta la fecha.

I. Reseñas geográfica y geológica

Descripción geográfica.

La zona objeto del presente trabajo se halla comprendida entre los ríos Esla y Cea. En ella se encuentran los pueblos de Cistierna, Valle de las Casas y Prado de Guzpeña.

Coincide, pues, con las últimas estribaciones o contrafuertes del macizo montañoso que da origen al sistema Ibérico en su empalme con la cordillera Cantábrica, y además con el comienzo de la zona paramera que da entrada, por esa parte, a la extensa llanura de Castilla.

Su relieve más detallado está representado por la parte septentrional, siendo sus altitudes principales, entre otras, las siguientes: Peña Corada, que se alza en el centro aproximado del macizo, con 1.822 m.; la crestería que sigue hacia Poniente, con el denominado alto de la Laguna, de 1.641 m.; el pico Valderno, en la región de Sabero, con 1.402 m., y otros más por el estilo dentro de este mismo término municipal. En la parte oriental sobresalen las Botijeras y Cumbres, con 1.299 y 1.290 m., respectivamente.

En la región sur sobresalen, dentro ya de la meseta: La Loma y Columbiello, en el término de Sorriba; la Salgueirina y Pilas, en el Valle de las Casas, y Monte Alto, en Cerezal, alturas todas que exceden de los 1.000 m. sobre el nivel del mar.

Se trata, por tanto, de una zona topográficamente abrupta por el Norte y de relieve suavemente ondulado por el Sur. Los valles que la surcan tienen altitudes del orden de 900 y 950 m. en términos generales.

Hidrográficamente corresponde a las cuencas de los ríos Esla y Cea, cuya divisoria común se encuentra en los altos de Quintana de la Peña y Valle de las Casas. El primero desciende de Riaño, por Cistierna, teniendo como afluente más importante, por su margen derecha, el arroyo Mercadillo; y el segundo nace en la Sota de Valderrueda y se desarrolla por Puente Almuhey, hacia Sahagún, sin más arroyos tributarios en la zona que los de Tarandilla y Prado.

Reseña geológica.

Tres épocas se muestran evidentes en la aludida zona: la paleozoica o primaria, en la región septentrional montuosa; la mesozoica o secundaria, en casi perfecta concordancia con aquella, estratigráficamente considerada, pero en posición invertida; y la cenozoica o terciaria, con sus primeras tongadas también concordantes e invertidas en varios lugares de su respectivo contacto, para volverse rápidamente, con escaso buzamiento de borde, hacia el Sur. Después va haciéndose suavemente horizontal en el mismo sentido, para constituir la meseta castellana. Todas las formaciones citadas se hallan, a su vez, recubiertas, de un modo parcial las dos primeras y casi completamente la última, por materiales cuaternarios; del tipo diluvial o de meseta, los páramos y tierras altas, y del moderno o Aluvial, algunas vaguadas y márgenes de los citados ríos.

FORMACIÓN PALEOZOICA.—Es la de mayor complicación estratigráfica y de más difícil determinación. Con razón, el insigne Adaro, calificó de «enigma de Peñacorada» el macizo de este nombre, que separa los dos senos hulleros de Prado y Sabero.

Esta formación tiene su límite meridional visible casi al hilo de la carretera de Sahagún, desde Cistierna hasta pasado el pueblo de Valmartino, hacia el Este; y en el sentido opuesto desde el puente del ferrocarril sobre el Esla, hacia Yugueros. A partir de la mitad del Km. 51 de dicha carretera sigue sensiblemente recto hasta Quintana de la Peña, donde aparecen las primeras capas del Hullero productivo. Hasta este punto está determinado el contacto con la serie mesozoica, representada en general por las capas arenoso-arcillosas del Infracretáceo, por un potente paquete de caliza negra, jaspeada por vetas espáticas blancas, en lechos delgados, ondulados y, a veces, rizados, con

buzamiento fuerte, que alcanza cerca de la vertical en varios sitios. Este paquete, a partir del pueblo de Quintana, constituye el techo aparente del Hullero productivo. Sigue después en faja estrecha, pero sin solución de continuidad, hasta Robledo, donde después de manifestarse en forma de isleos esas mismas capas onduladas y tableadas sigue envolviendo el macizo de Peñacorada, constituyendo su vertiente oriental.

En un principio consideramos dichas manchas soldadas al aludido macizo, formando su límite meridional, en línea continua, desde El Hoyo a Serrones; pero, en un segundo recorrido, se ha visto que las areniscas y pizarras carboníferas, e incluso con algunos afloramientos de carbón entre ellas, envuelven dichas manchas, dejándolas como pedazos separados del bloque originario. Y decimos pedazos separados del bloque principal, porque según manifestaciones del competente capataz facultativo, jefe del Grupo minero de Prado, Sr. Page Fernández, muy conocedor de la región, las capas del mencionado Carbonífero se unen por debajo, de parte a parte, lo que implica una disposición superpuesta, o sea sin raíz, en forma de gajos flotantes. Mención especial merece el bloqueo calizo de menores dimensiones próximo al banco de pudinga carbonífera, de facies diferente.

A partir de esta zona de Robledo, el aludido contacto dobla hacia el SE., situándose a partir de Prado al hilo del ferrocarril hasta Puente Almuhey.

Se señalan pues, dentro de esta zona paleozoica, dos porciones de terreno hullero bien definidas: la de Prado, que constituye una cuenca con cierta independencia, tendiendo a abrir al NE., y la de Sabero, de análoga disposición litológica, de la cual sólo se representa en el plano su borde meridional.

El núcleo, en su mayor parte calcáreo, que se interpone y sobresale entre las dos referidas cuencas o senos productivos, no presenta, a la vista, otra manifestación carbonosa que la aludida faja, que superficialmente termina en Quintana de la Peña. Su orientación difiere, a su vez, de la de Prado, como si hubiera sido separada de la misma por el accidente que allí se observa. La marcha y disposición de las capas de dicho núcleo es altamente irregular y variable, así como su estructura. Comienza de abajo hacia arriba topográficamente y de Sur a Norte, por la aludida zona de caliza tableada, con vetas espáticas, muy ondulada y rizada, entre la que hemos hallado algunos restos de Orthoceras e impresiones vegetales mal definidas. Su buzamiento es bastante pronunciado y en términos generales septentrional, pero tan retorcida y replegada sobre sí misma, a veces, como sucede en el collado de Ridemora y flanco meridional de su mismo barranco, que es muy difícil seguirlo en una dirección determinada mucho tiempo. A medida que se asciende por esta zona se interponen otros bancos de caliza, fuertes, completamente concordantes, menos retorcidos por haber resistido mejor los efectos de plegadura, y así se alcanzan las cimas que coronan dicho macizo. Entre todas estas capas, muy particularmente en las cercanías de Cistierna, río Esla y el barranco de Ridemora, aparecen cuarcitas, areniscas y zonas pizarreñas de tinte rojizo e irisado, típicamente devonianas, que como las calizas que con las mismas alternan cruzan el Esla. Estas calizas aparecen en bancos potentes y facies más bien carbonífera, como si se tratara de grandes pellizcos de dicha roca aprisionados por las primeras en los grandes y apretados repliegues que se observan. Dentro de estos bancos de caliza fuerte, hemos hallado en uno de textura margosa algunos fósiles del Devoniano medio, entre ellos ejem-

plares no bien conservados de *Atrypa reticularis*, por lo que aunque con las reservas consiguientes consideramos, de acuerdo con la opinión de otros geólogos que han estudiado la misma zona, que toda ella pertenece al Devoniano.

A partir de este conjunto de caliza fuerte y arenisca, en bancos alternantes, se acentúan los bancos de la primera roca mencionada, que sigue constituyendo los altos de Valderno y Vegamediato hasta el propio contacto con las areniscas, pizarras y capas de carbón de la cuenca de Sabero.

SECUNDARIO.—Este sistema está en esta zona de Cistierna en concordancia completa con el resto de la faja que se desarrolla a Levante y Poniente de la misma y afectando idéntica disposición estratigráfica. En el propio contacto con la mancha carbonífera, desde Quintana de la Peña hacia el E., y en el de la caliza tableada clasificada como devoniana en el sentido opuesto, se muestran las areniscas claras, intervenadas de arcilla rojiza e irisada del tramo albense, con alguna solución de continuidad superficial, pero evidentemente seguido bajo la cobertera que en esos casos las oculta. Se observan en Cistierna a uno y otro lado del Esla; siguen hasta el Km. 52 de la carretera de Sahagún; se ocultan por derrubios en el alto y reaparecen poco antes de Quintana de la Peña. Ocultas parcialmente por las capas de arrastre terciario y moderno, vuelven a observarse en la zona de El Hoyo, en una pequeña «ventana», y a partir de Prado ya no se oculta hasta Puente Almuhey. Buzan sus capas al N. y se presenta con potencias visibles muy variables, pero que rara vez se la puede suponer, en conjunto, mayor de 100 metros.

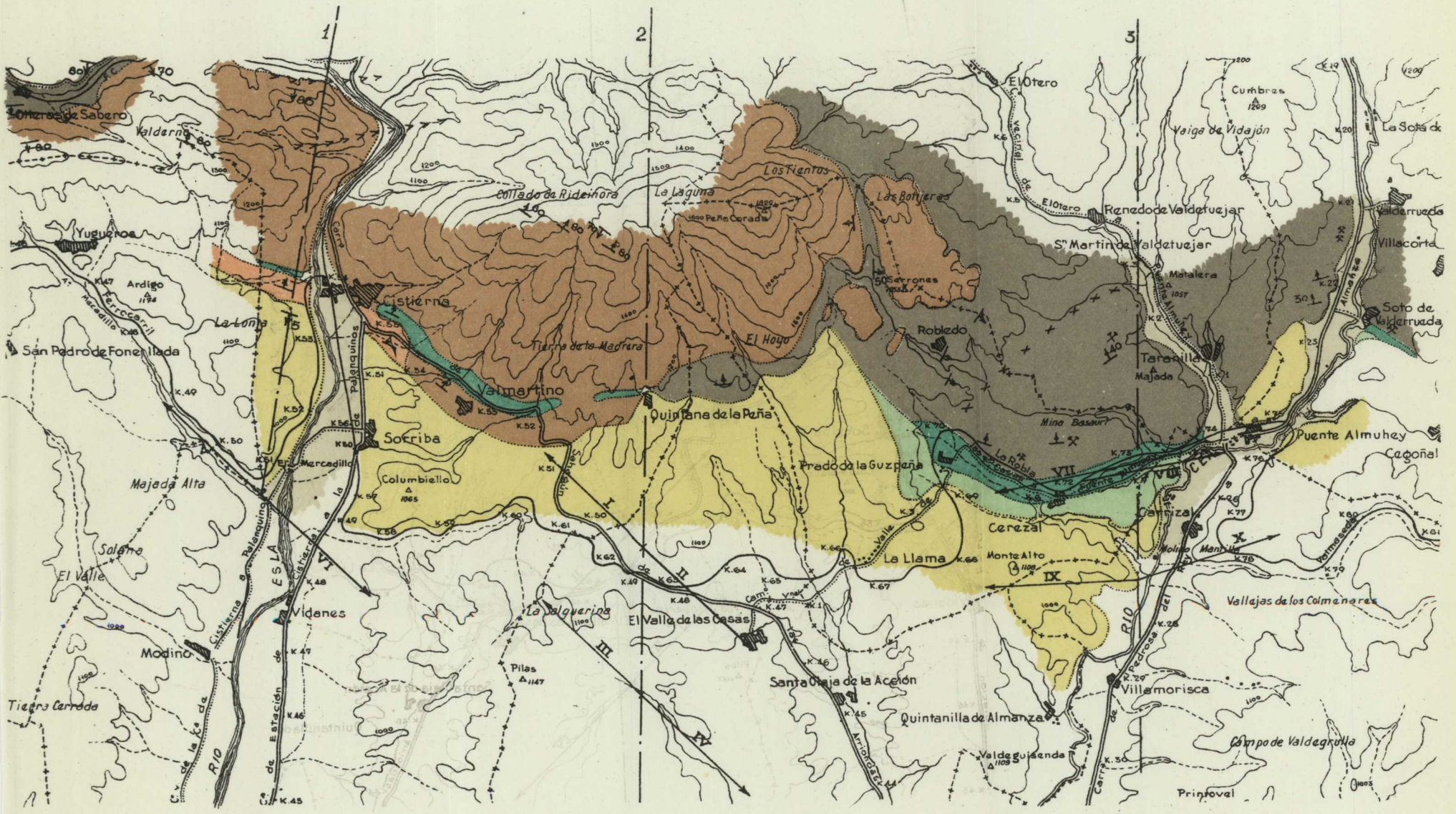
Sigue al precedente tramo arenoso el Cretáceo superior con la zona de caliza nodular y margosa primeramente; la compacta de facies turonense y se repite la caliza margosa.



INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN CISTIENA

PLANO HORIZONTAL

ESCALA 1:75.000



ALUVIAL	DILUVIAL Y Terciario	OLIGOCENO	CRETACEO	ALBENSE	HULLERO	DEVONIANO

Pierden ligeramente algo de inclinación y su buzamiento concuerda con las capas precedentes. Aflora dicho tramo calcáreo secundario en las cercanías de Valmartino, cuyo pueblo se alza sobre dichas capas, doblando hacia el de Quintana de la Peña. A partir de este pueblo se oculta bajo el manto terciario y reaparece en Prado de la Guzpeña, con la dirección media de N.-S., aproximadamente influida su posición por la intervención de un accidente o falla local, después del cual recobra la dirección inicial de Valmartino, que es de N.-35°-O., y sigue suavemente doblado hacia el Norte, tomando desde Cereza la dirección media de Levante-Poniente, hacia Puente Almuhey.

TERCIARIO.—Siguiendo la descripción en el mismo sentido meridional aparecen los primeros conglomerados de la formación terciaria en algunos lugares, como en la margen derecha del Esla y en el primer kilómetro a partir de Cistierna, por la carretera de Sahagún, en disposición concordante, tanto en dirección como en inclinación, con las tongadas del Secundario. Se trata de conglomerado gonfolítico, de cantos redondeados de naturaleza calcárea, con intercalaciones rojizas de carácter margo-arcillosas. Rápidamente cambia hacia el Sur en disposición suavemente tumbada, es decir, de sentido contrario, sin que se observe doblez anticlinal ni enlace estratigráfico claro de unos con otros bancos, aunque su naturaleza es análoga.

Dentro de la zona estudiada sólo se muestran en el aludido lugar cercano a Cistierna, sin que vuelvan a presentarse en el resto de la misma. En las cercanías de Cereza, pasado el horizonte calizo y en el borde mismo de este tramo con el comienzo de las capas terciarias, se observan, como en Guardo, al Sur del pueblo, manifestaciones arenosas claras con vetas arcillosas, que parecen y

podieran ser las correspondientes a la rama contraria del bucle cretáceo posible.

En ningún otro lugar de los observados vuelven a aparecer dichas manifestaciones, y sí la disposición semihorizontal o ligeramente inclinada al Sur de las capas terciarias, recubiertas por el Cuaternario que se extiende y sigue hacia el centro de la cuenca.

ROCAS HIPOGÉNICAS.—No se han visto asomos ningunos de esta clase de roca dentro de la región afectada por el estudio, pero hemos hallado con no mucha profusión cantos evidentes de roca ofítica, en el barranco inmediato, por Levante, al pueblo de Quintana de la Peña, a la altura del pueblo y comienzo de la sierra, por lo que es de suponer que dentro del macizo de ésta, y quizá no lejos del lugar de la observación, existe alguno de dichos asomos, los cuales, si no frecuentes, hay algunas citas de su presencia dentro de la misma estructura.

TECTÓNICA.—Como al principio indicamos, la estratigrafía y tectónica de esta región es de una complicación e interpretación extraordinariamente difícil. No es posible, sin un estudio más detallado y profundo, con repetición de recorridos sobre el terreno y mayor profusión de datos, darse idea completa de la misma.

En líneas generales, es evidente que se dibujan en ella tres movimientos; uno, posiblemente herciniano, iniciador de los repliegues paleozoicos; otro, de marcado carácter alpino, correspondiente al segundo levantamiento, puesto que se hallan afectadas incluso las capas del Oligoceno en concordancia manifiesta con las de la formación secundaria, y otro accidental, de sentido normal y carácter de falla que originó la rotura, desplazamiento y giro de todas las formaciones, especialmente las capas cretáceas y del Huillero, separando las cuencas de Prado y Sabero.

Consecuencia interesante de la conjugación de tales movimientos y secuela de los mismos es que, por la disposición anormal que en las diferentes capas se observa en esta zona, y se viene confirmando en el resto de la faja de contactos desde Cervera a Cistierna, la formación carbonífera se superpone a las infracretácea y cretácea, y las dos a su vez a la terciaria, sea ésta de carácter menos general que las otras dos; es decir, existe a lo largo de toda la expresada faja una cobijadura o pliegue isoclinal y, por consiguiente, deben repetirse (y en parte parece comprobado por examen geológico-estratigráfico verificado) las ramas complementarias de estos acusados pliegues isoclinales incompletos, bien que ello sea bajo la cobertera terciaria que por el Sur se extiende.

Emplazadas las líneas sísmicas del estudio de acuerdo con esta concepción previa y visto su resultado, complementado por los antecedentes geológicos observados, se han confeccionado los cortes estratigráficos que complementan el plano general, todo lo cual da idea de la configuración interna de la expresada zona, de acuerdo con tales antecedentes.

II. La investigación sísmica

Se han realizado en total diez líneas sísmicas, distribuidas seis de ellas en la mencionada zona situada al Sur de Cistierna, y las otras cuatro más a Levante, en la región de Prado. Tienen de 2.000 a 2.100 metros de longitud y reúnen un total de 165 sismogramas. La separación entre estaciones ha sido de 100 metros en general, y en las últimas líneas de 150 metros.

LÍNEA I.—El barreno de esta línea se ha situado a

300 metros al Norte de la carretera de Sahagún a Cistier-
na, junto al Km. 49,500 de la misma. Tiene dirección
N.-35°-O. Consta de 19 estaciones sísmicas.

Dibujada y estudiada la correspondiente curva dromo-
crónica, se llega a la siguiente diferenciación de pará-
metros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{150}{0,099} = 1.500 \text{ m/s.}$$

que indica el recubrimiento cuaternario.

$$V_2 = V_{2-12} = \frac{1.300 - 1.300}{0,495 - 0,170} = 3.800 \text{ m/s.}$$

representa un horizonte de algo mayor compacidad
(3.400 m/s. en la contralínea y en los demás perfiles), cuyo
contacto atraviesa el rayo sísmico en sentido ascendente.

Parece estar compuesto por areniscas, conglomerados
y margas calizas, que lo mismo pueden ser de la misma
edad que pertenecer al Eoceno.

$$V_4 = V_{17-19} = \frac{2.000 - 1.800}{0,640 - 0,613} = 7.800 \text{ m/s.}$$

corresponde a la elasticidad de una caliza probablemente
cretácea, según iremos deduciendo del estudio de las
demás líneas sísmicas.

De acuerdo con esto, el paquete de conglomerados oli-
gocenos llega hasta la profundidad de

$$1.300 \times 0,30 = 390 \text{ metros,}$$

que es donde empiezan las supuestas areniscas y margas
eocenas.

La caliza cretácea se encuentra a los $1.800 \times 0,30 =$
 $= 540 \text{ metros.}$

LÍNEA II.—Es contralínea de la anterior; por consiguien-
te tienen barreno común. Su dirección es S.-35°-E. y su
longitud de 2.000 metros. Consta de 18 estaciones.

Dibujada y estudiada la curva dromocrónica, se distin-
guen en aquélla los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{150}{0,107} = 1.400 \text{ m/s.}$$

que indica el terreno de arrastre.

$$V_2 = V_{2-12} = \frac{1.300 - 300}{0,520 - 0,174} = 2.900 \text{ m/s.}$$

corresponde a los conglomerados oligocenos.

$$V_3 = V_{12-18} = \frac{2.000 - 1.300}{0,722 - 0,520} = 3.400 \text{ m/s.}$$

a las areniscas con margas calizas y conglomerados com-
pactos considerados de edad eocena.

En esta línea no se llega a la caliza cretácea.

Según estos datos, el paquete de areniscas o margas
más o menos calizas y conglomerados del supuesto Eoce-
no, se encuentra a los

$$1.300 \times 0,30 = 390 \text{ m.}$$

y la caliza cretácea o del fondo, después de los $2.000 \times$
 $\times 0,30 = 600 \text{ m.}$ de profundidad.

Refiriendo al barreno común los valores obtenidos para
las líneas I y II, resulta para profundidad del horizonte de
areniscas y margas calizas

$$\frac{390 + 390}{2} = 390 \text{ m.}$$

y para la caliza cretácea una profundidad superior

$$\frac{540 + 600}{2} = 570 \text{ m.}$$

LÍNEA III.—El barreno de ésta se ha situado en la ya
citada meseta, a 2.000 m. al Sur del barreno de las líneas
I y II, cerca del origen del arroyo de Corcos y cruce del
camino de Villapadierna a Valle de las Casas.

Dibujada y estudiada la correspondiente dromocrónica

se ha interpretado de la siguiente manera, según los parámetros que se citan:

$$V_1 = V_{0-8} = \frac{400}{0,273} = 1.400 \text{ m/s.}$$

corresponde a conglomerados arcillosos, posiblemente cuaternarios.

$$V_2 = V_{8-12} = \frac{1.300 - 400}{0,555 - 0,273} = 3.200 \text{ m/s.}$$

indica el tramo de conglomerados oligocenos.

$$V_3 = V_{12-20} = \frac{2.100 - 1.300}{0,786 - 0,555} = 3.400 \text{ m. s.}$$

representa el paquete de areniscas, conglomerados y margas calizas que hemos llamado eocenas.

Se observa en este lugar que los conglomerados cuaternarios (o quizá también terciarios) tienen aquí gran potencia; unos $400 \times 0,30 = 120 \text{ m.}$, y que el supuesto Eoceno empieza a los $1.300 \times 0,30 = 390 \text{ m.}$ de profundidad.

A los $2.100 \times 0,30 = 630 \text{ m.}$ no se ha llegado a la citada caliza cretácea.

LÍNEA IV. —Es contralínea de la III y tiene dirección E.-35°-S. Consta de 19 estaciones y alcanza una longitud de 2.000 metros.

Sobre la correspondiente dromocrónica se han diferenciado los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-2} = \frac{300}{0,220} = 1.400 \text{ m/s.}$$

indica el recubrimiento cuaternario.

$$V_2 = V_{2-18} = \frac{1.400 - 300}{0,605 - 0,220} = 2.900 \text{ m/s.}$$

corresponde a los conglomerados oligocenos.

$$V_3 = V_{18-19} = \frac{2.000 - 1.400}{0,784 - 0,605} = 3.300 \text{ m/s.}$$

representa al horizonte compuesto de areniscas o margas y conglomerados del Terciario antiguo.

En esta línea resulta el Cuaternario con $300 \times 0,30 = 90 \text{ m.}$ de potencia, y el Eoceno se manifiesta a los $1.400 \times 0,30 = 420 \text{ m.}$ de profundidad.

A los $2.000 \times 0,30 = 600 \text{ m.}$ de profundidad no se ha llegado a las calizas cretáceas.

Referidos estos resultados al barreno común de las líneas III y IV se obtiene para potencia del Cuaternario:

$$\frac{120 + 90}{2} = 105 \text{ m.}$$

Para profundidad del supuesto Eoceno:

$$\frac{390 + 420}{2} = 405 \text{ m.}$$

Por último, a los $\frac{630 + 600}{2} = 615 \text{ m.}$ no se ha llega-

do a la caliza cretácea.

LÍNEA V. —El emplazamiento de su barreno está en el arroyo de El Mercadillo, a unos 100 m. al Oeste del camino vecinal de Sorribas a Pesqueras. La línea tiene dirección S.-35°-E. y consta de 20 estaciones y se extiende hasta una longitud de 2.100 metros.

Dibujada la dromocrónica como siempre, se distinguen en ella los parámetros, que se interpretan como sigue:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{150}{0,083} = 1.800 \text{ m/s.}$$

es un valor que comprende al recubrimiento de terrenos de arrastre.

$$V_2 = V_{1-4} = \frac{500 - 150}{0,208 - 0,083} = 2.800 \text{ m/s.}$$

indica el tramo de conglomerados oligocenos.

$$V_3 = V_{4-16} = \frac{1.700 - 500}{0,588 - 0,208} = 3.200 \text{ m/s.}$$

es la velocidad sísmica aparente del paquete de areniscas, margas, calizas y conglomerados, que hemos atribuido al Eoceno.

Por comparación con la contralínea se comprueba que en esta dirección, atraviesa el rayo sísmico a la estratificación y contacto de terrenos en sentido descendente, por lo que resultan menores los valores sísmicos obtenidos y mayores las profundidades deducidas de la dromocrónica.

$$V_4 = V_{16-19} = \frac{2.000 - 1.700}{0,620 - 0,588} = 9.300 \text{ m/s.}$$

corresponde a una caliza probablemente cretácea.

Por último

$$V_5 = V_{19-20} = \frac{2.100 - 2.000}{0,671 - 0,620} = 2.000 \text{ m/s.}$$

demuestra, y se comprueba en la contralínea, que debajo de ésta existe un horizonte arcilloso o arenoso, probablemente del Cretáceo inferior.

Según estos datos, el paquete arenoso-margoso-calizo eoceno se encuentra a los $500 \times 0,30 = 150 \text{ m.}$, la caliza cretácea a los $1.700 \times 0,30 = 510 \text{ m.}$ y el horizonte arcilloso o arenoso (Cretáceo inferior) a los $2.000 \times 0,30 = 600 \text{ m.}$ de profundidad.

LÍNEA VI.—Es contralínea de la V, por consiguiente tiene el mismo origen y dirección N.-35°-O. Alcanza una longitud de 1.800 m. y consta de 13 estaciones sísmicas.

Se han distinguido sobre la dromocrónica correspondiente, los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{150}{0,105} = 1.400 \text{ m/s.}$$

que indica la cubierta descompuesta.

$$V_2 = V_{1-2} = \frac{300 - 150}{0,152 - 0,105} = 3.200 \text{ m/s.}$$

corresponde a los conglomerados oligocenos.

$$V_3 = V_{2-9} = \frac{1.250 - 300}{0,407 - 0,152} = 3.700 \text{ m/s.}$$

es el valor sísmico con que se manifiesta el supuesto Eoceno. Su valor aparente es mayor por transmitirse el rayo sísmico en esta línea en sentido ascendente del buzamiento de las capas, de acuerdo con la interpretación de la línea anterior.

$$V_4 = V_{11-13} = \frac{1.900 - 1.600}{0,573 - 0,430} = 2.100 \text{ m/s.}$$

corresponde a un horizonte arcilloso o arenoso, que por su posición relativa y de acuerdo con la geología de la zona se interpreta como Cretáceo inferior.

De estos valores se deducen las siguientes profundidades:

Para el paquete supuesto Eoceno: $300 \times 0,30 = 90$ metros.

Para las arcillas o arenas infracretáceas: $1.600 \times 0,30 = 480$ metros.

Refiriendo los valores obtenidos en estas dos últimas líneas, a su barreno, resulta que el supuesto Eoceno de areniscas y margas calizas se encuentra a los

$$\frac{150 + 90}{2} = 120$$

y el posible Infracretáceo arcilloso-arenoso a los

$$\frac{600 + 480}{2} = 540 \text{ m. aproximadamente.}$$

LÍNEA VII.—Esta línea corresponde a la zona de Prado, situada varios kilómetros al Este de Cistierna. Su barreno se ha situado a 40 m. al Norte de la carretera de Puente Almuhey y frente al calerín de David. Sigue la dirección E.-O. magnético, que es la misma del valle que coincide con el afloramiento del tramo Albense. Consta de 12 estaciones y tiene 1.800 m. de longitud.

Estudiando la dromocrónica, se llega a la siguiente interpretación de sus parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{150}{0,075} = 2.000 \text{ m/s.}$$

indica el horizonte superficial más o menos descompuesto;

$$V_2 = V_{1-7} = \frac{1.000 - 150}{0,461 - 0,075} = 2.400 \text{ m/s.}$$

corresponde al tramo Albense arcilloso y arenoso; pero con la particularidad de que entre las posiciones 4 y 6 el rayo sísmico se refracta a través de un banco calizo, que probablemente es el pliegue sinclinal del Cenomanense invertido. No se puede saber si un sondeo vertical atravesaría esta caliza o si la transmisión de ondas sísmicas se produjo oblicuamente. En este segundo caso, el sondeo vertical podría no salir del Albense hasta encontrar el Hullero.

$$V_3 = V_{7-11} = \frac{1.650 - 1.050}{0,625 - 0,461} = 3.700 \text{ m/s.}$$

puede corresponder al Hullero pizarreño. Sin embargo, es necesario hacer la advertencia de que dado el difícil problema geofísico que significa la prospección sobre un pliegue tumbado, no se puede garantizar esta interpretación.

$$V_4 = V_{11-12} = \frac{1.800 - 1.650}{0,640 - 0,625} = 10.000 \text{ m/s.}$$

debe corresponder a una caliza del propio Hullero.

De acuerdo con estos datos, resulta que un sondeo vertical atravesaría, primero, el tramo Albense arcilloso y sabuloso, que estaría en lo posible que llegase a perforar calizas del Cenomanense. Y a la profundidad de $1.050 \times 0,30 = 315 \text{ m.}$ como mínimo, llegará a un paquete geológico, que por sus características de elasticidad puede ser el Hullero pizarreño; aunque también se admite la po-

sibilidad de que la cobijadura tenga mayor importancia que la supuesta, y que este mismo parámetro corresponda a calizas margosas del Cenomanense.

Nos atenemos, sin embargo, a la solución de considerarlo como Hullero por ser la más probable.

A los $1.650 \times 0,30 = 495 \text{ m.}$ se llega a una caliza probablemente primaria.

LÍNEA VIII.—Se ha extendido a lo largo del mismo valle en dirección opuesta a la anterior. Su barreno se encuentra a 800 m. del anterior, a 20 m. de la carretera de Puente Almuhey, en un prado a unos 200 m. al Oeste del pueblo de Cerezal. Su dirección es O.-E. magnético.

Dibujada la dromocrónica se distinguen en ella los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{150}{0,103} = 1.400 \text{ m/s.}$$

corresponde al recubrimiento de terreno descompuesto.

$$V_2 = V_{1-9} = \frac{1.350 - 150}{0,575 - 0,103} = 2.500 \text{ m/s.}$$

representa el paquete de Albense arenoso-arcilloso, con las intercalaciones o reflejos oblicuos del rayo sísmico sobre las calizas cenomanenses, igual que se produjo en la línea VII.

$$V_3 = V_{9-16} = \frac{2.100 - 1.350}{0,750 - 0,575} = 4.300 \text{ m/s.}$$

indica el mismo horizonte, que se atribuye al Hullero con las ya mencionadas reservas.

No debe extrañar que su valor sísmico aparente 4,300 sea bastante superior al que aparece en la línea opuesta, ya que encontrándose este barreno sobre un lugar más profundo del supuesto sinclinal hullero, el rayo sísmico debe atravesar su contacto en sentido ascendente, lo contrario de lo que ocurría en la otra línea.

La profundidad a que debe encontrarse este Hullero es de $1.350 \times 0,30 = 405$ metros.

LÍNEA IX.—Su barreno se ha emplazado a unos 500 m. al SSO. del Molino de Carrizal y a 150 metros del río Cea, en su margen derecha.

La línea tiene dirección O.-10°-N. y 1.500 metros de longitud. Consta de 10 sismogramas.

Dibujada la curva dromocrónica, se distinguen en ella las siguientes alineaciones:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{150}{0,076} = 2.000 \text{ m/s.}$$

es el primer parámetro influido por la cubierta descompuesta, pero corresponde en realidad a conglomerados terciarios.

$$V_2 = V_{1-5} = \frac{750 - 100}{0,325 - 0,076} = 2.300 \text{ m/s.}$$

es la velocidad sísmica aparente de los mismos conglomerados.

$$V_3 = V_{5-10} = \frac{1.500 - 750}{0,540 - 0,325} = 3.500 \text{ m/s.}$$

representa el tramo de margas, calizas y conglomerados del Terciario antiguo, ya mencionados en las líneas de la zona de Cistierna, o quizá margas y calizas del Cretáceo.

Estos horizontes los atraviesa el rayo sísmico en sentido descendente con relación al buzamiento de la estratificación, como se demuestra por los resultados de la contralínea, en la que ocurre lo contrario.

Por consiguiente, a los $1.500 \times 0,30 = 450$ metros de profundidad que alcanza la línea sísmica, continúan manifestándose las capas del Terciario antiguo. Sobre todo, se puede decir con seguridad que no se ha llegado al Carbónífero.

LÍNEA X.—Su origen es el mismo barreno anterior, y se

interpreta como contralínea de aquélla, aunque su dirección no es exactamente la opuesta, sino E.-15°-N. magnético.

Consta de 15 estaciones, con una longitud total de 2.100 metros.

Estudiada la curva dromocrónica, se diferencian en ella los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{150}{0,059} = 2.500 \text{ m/s.}$$

que corresponde a los mencionados conglomerados oligocenos, más o menos descompuestos por los agentes atmosféricos, puesto que afloran a la superficie.

$$V_2 = V_{1-6} = \frac{900 - 150}{0,337 - 0,059} = 2.700 \text{ m/s.}$$

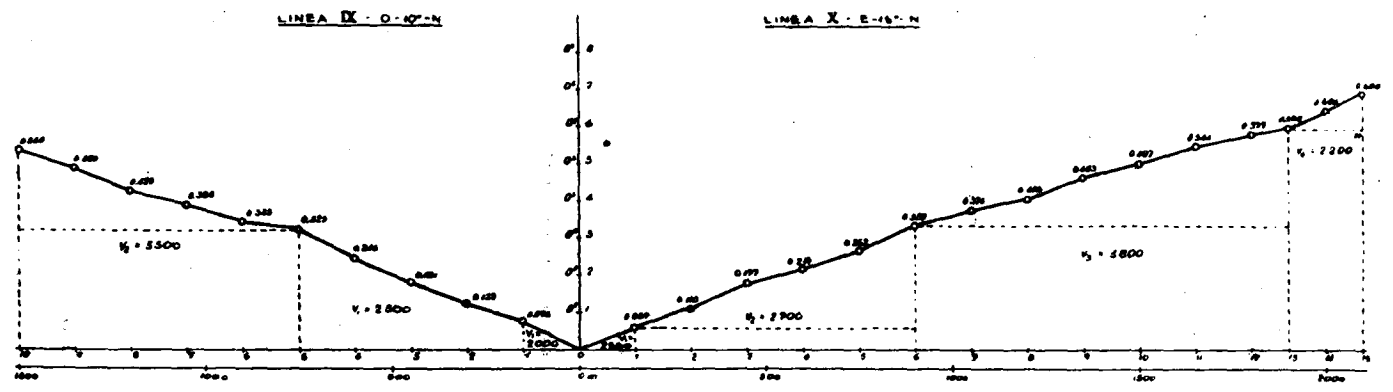
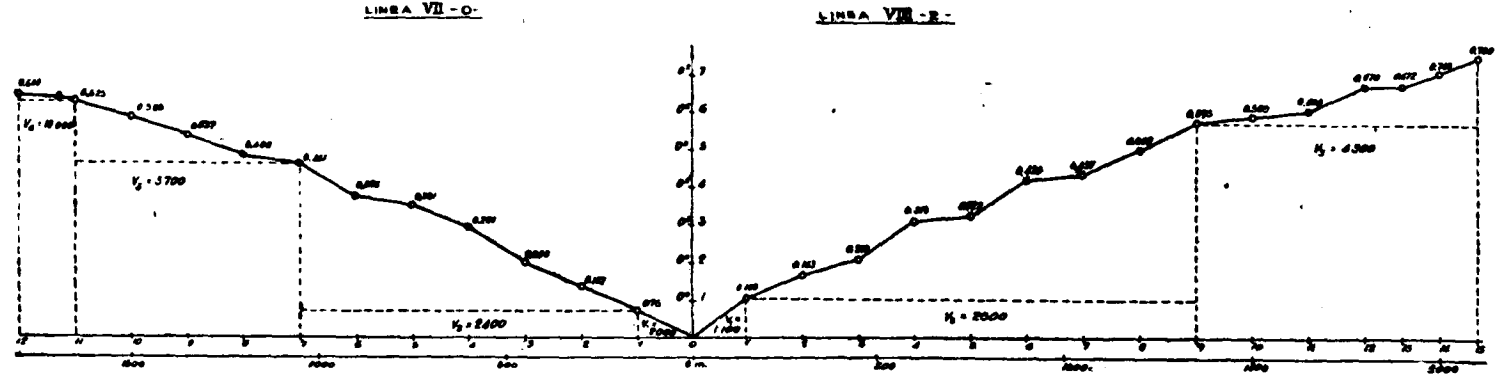
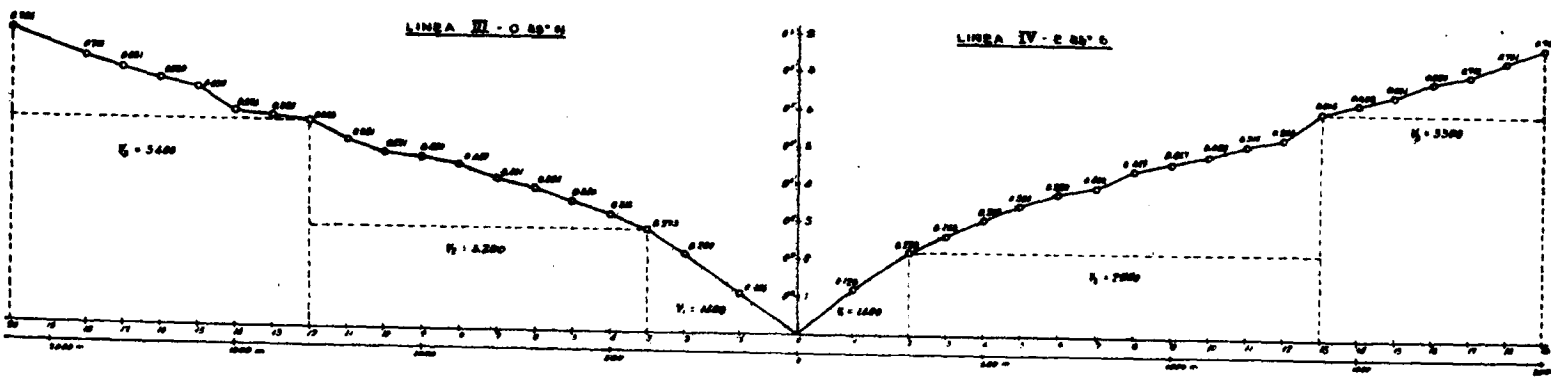
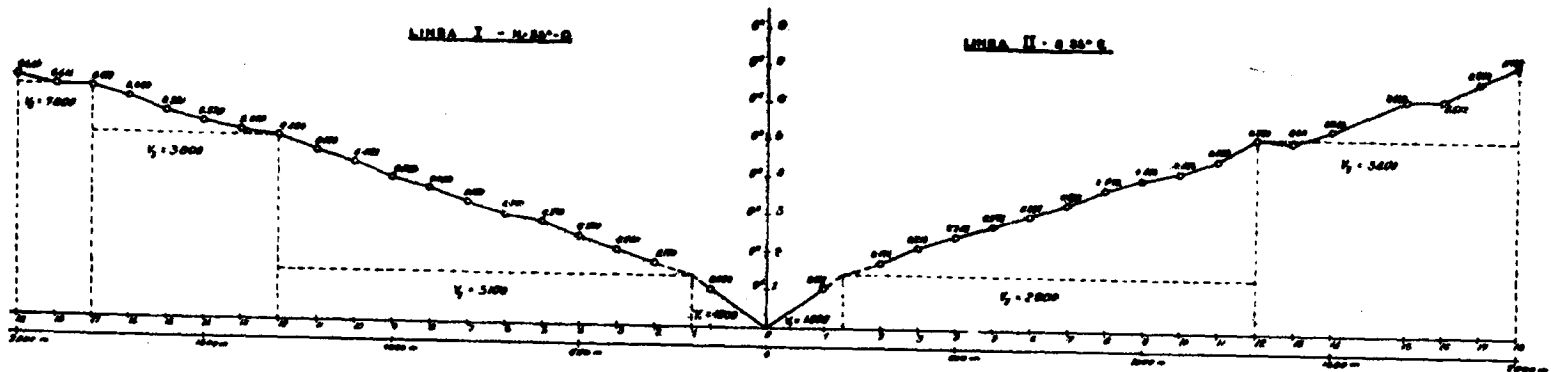
es el valor sísmico con que se manifiestan a mayor profundidad los mismos conglomerados.

$$V_3 = V_{6-13} = \frac{1.900 - 900}{0,598 - 0,337} = 3.800 \text{ m/s.}$$

corresponde a las margas calizas y conglomerados del Terciario antiguo, cuya velocidad aparente es algo mayor que en la línea anterior, por extenderse ésta en sentido ligeramente ascendente con relación a la estratificación. Igualmente podría tratarse de margas y calizas del Cretáceo.

$$V_4 = V_{13-15} = \frac{2.100 - 1.900}{0,690 - 0,598} = 2.200 \text{ m/s.}$$

puede indicar igualmente un horizonte arcillo-arenoso del mismo Terciario que el tramo Albense, aunque nos inclinamos por la primera solución, si admitimos que el parámetro V_3 corresponde al Terciario antiguo, puesto que es de esperar que se encuentre éste en concordancia con el Cretáceo superior calizo. Por consiguiente, y de acuerdo con estos datos, podemos casi asegurar que hasta la profundidad de $2.100 \times 0,30 = 630$ metros no se ha llegado



al Carbonífero, ni hay probabilidades de que se encuentre próximo.

Resumiendo las dos líneas IX y X, y refiriendo sus resultados al lugar del barreno común, se puede casi asegurar que a la profundidad de

$$\frac{450 \times 630}{2} = 540 \text{ m.}$$

no se ha llegado al Carbonífero y que probablemente se encuentra mucho más profundo.

III. Conclusiones

Estudiados todos los datos obtenidos en conjunto y resumiendo sus resultados, se llega a las siguientes conclusiones, para cada una de las zonas reconocidas:

Zona de Cisterna.

1.^a Existe en la región investigada un horizonte de conglomerados oligocenos aflorando a la superficie, que alcanza potencias hasta de 330 metros.

2.^a Bajo este horizonte se encuentra otro tramo de conglomerados más compactos, además de arcillas, calizas y margas que se atribuyen al Eoceno, sin que esto se pueda asegurar.

Este supuesto paquete eoceno se manifiesta en las líneas I y II a los 390 metros, en las líneas III y IV a los 405 metros y en las líneas V y VI a los 120 metros.

3.^a A mayor profundidad se determina en las líneas dromocrónicas un horizonte de calizas que se ha atribuido al Cretáceo, y que se encuentra en el barreno de las líneas I y II a profundidad superior a los 540 metros. En

las líneas III y IV no se llega a él a los 600 metros, y en las líneas V y VI se llegó a los 445 metros.

4.^a Que únicamente en las láminas V y VI se manifiesta un horizonte arcilloso o arenoso bajo la mencionada caliza, que puede ser de edad infracretácea. Se encuentra en el barreno común de las mencionadas líneas a los 540 metros, y su parámetro es el que nos inclina a atribuir el horizonte calizo suprayacente al Cretáceo.

Por último, no creemos que en ninguna de las líneas se ha llegado al Carbonífero hasta los 630 metros a que alcanza la prospección.

Zona de Prado.

1.^a Se deduce de la prospección sísmica que en las líneas IX y X se atraviesan los mismos conglomerados oligocenos de la zona anterior hasta los 247 metros, y las margas, calizas, areniscas y conglomerados que se han atribuido al Eoceno, hasta los 540 metros a que llega la prospección.

2.^a Que a la citada profundidad de 540 metros en el barreno común a las líneas IX y X, no se ha llegado al Carbonífero, ni se espera se encuentre próximo.

3.^a Que en el lugar de las líneas VII y VIII, un sondeo vertical debe atravesar primero el Albense; tiene luego probabilidades de alcanzar al Cenomanense en posición invertida, aunque en ese caso deberá volver a las capas albenses. A la profundidad de 315 metros en la línea VII, y a la de 405 metros en la VIII, se llegará a un horizonte cuya constante sísmica es la misma que la del paquete hullero pizarreño y que, dada la disposición estratigráfica, puede ser este mismo horizonte, sin que lo podamos asegurar.

4.^a Que aunque, por razones topográficas, no haya

sido posible efectuar otra línea sísmica intermedia entre los dos últimos barrenos de la prospección, hay un lugar en las proximidades del arroyo de Prado que nos parece, en principio, y por deducciones geológicas, de acuerdo con los resultados sísmicos, el punto más apropiado para un reconocimiento por sondeos. Este lugar se encuentra a unos 200 metros al SO. de Cerezal. Sin embargo, hemos de hacer la observación de que, no teniendo más datos que los mencionados y ninguno geofísico, por las razones expuestas, y no conociendo, por tanto, la amplitud de la ondulación del citado pliegue tumbado, existe la posibilidad de que se encuentre el Carbonífero también allí a profundidades excesivas para ser interesante económicamente.

CAPÍTULO VII

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA, POR EL MÉTODO ELÉCTRICO, EN LOGROÑO

El Instituto Geológico y Minero de España ha realizado, por encargo de la Dirección del Instituto Geográfico y Catastral, un estudio hidrológico con ayuda del método eléctrico de corriente continua, de cuyos resultados se trata en este informe.

La finalidad que se persigue es la de alumbrar agua, en una finca propiedad del mencionado Instituto, para instalar un observatorio geofísico.

Según se expone al final de este Capítulo son pocas las probabilidades de encontrarla hasta la profundidad de 110 metros alcanzada por la investigación.

I. Reseñas geológica y geográfica

Descripción geográfica.

La ciudad de Logroño se alza sobre una terraza en la margen derecha del Ebro, y la zona a la cual se refiere el presente estudio se halla hacia el Suroeste de la población, donde está la parcela cercada del Instituto Geográfico y

Catastral, en la que se ha verificado la prospección geofísica que más adelante detallamos.

Constituye, pues, dicha zona, una de las más bajas de la vertiente nordeste del Sistema Ibérico, representado por los últimos contrafuertes de la Sierra de la Demanda y Picos de Urbión. La orografía local obedece casi exclusivamente a fenómenos de erosión que se acentúan de un modo gradual a medida que se desciende hacia el fondo del valle, por donde discurren el Ebro y su afluente el Iregua.

El planó general que acompañamos y los cortes geológicos que le complementan, reflejan de un modo claro la aludida configuración sin necesidad de más explicaciones.

Hidrográficamente considerada, la zona se encuentra en la cuenca del río Ebro, siendo su afluente principal en ella el Iregua, que se le incorpora por su margen derecha muy cerca de la población. Sobre ambos ríos, y muy especialmente sobre el primero, vierten las aguas que discurren por la multitud de pequeños barrancos y arroyos interpuestos entre los accidentes topográficos de que hemos hablado, favorecido su curso por las fuertes pendientes y el carácter impermeable de la mayoría de las rocas que constituyen el suelo. Este carácter queda patente por la existencia de pantanos, tales como el de La Grajera, dentro de la zona, y el de Las Cañas, fuera de ella, situado al Norte del Ebro, cuyo fondo natural margo-arcilloso aprovechan para la retención y reserva de las aguas que toman de los propios canales de irrigación y destinan a los riegos durante el estío.

Reseña geológica.

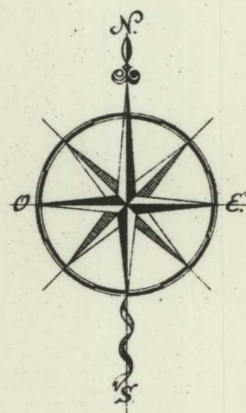
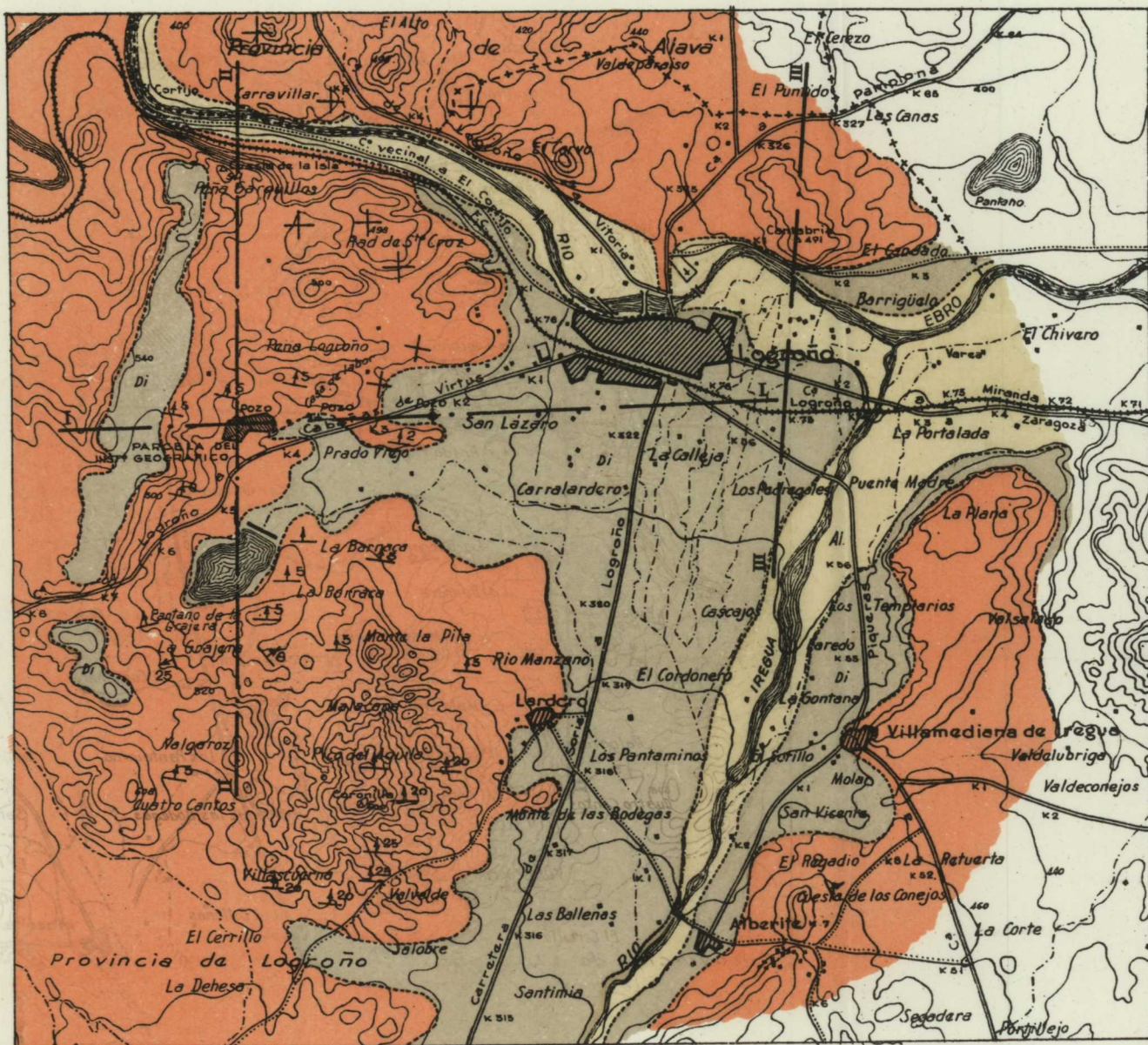
Las series principales geológicas representadas en la zona son la terciaria y la cuaternaria. La primera de ellas



INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA POR EL MÉTODO ELÉCTRICO EN LOGROÑO

PLANO DE SITUACIÓN

ESCALA 1:75.000



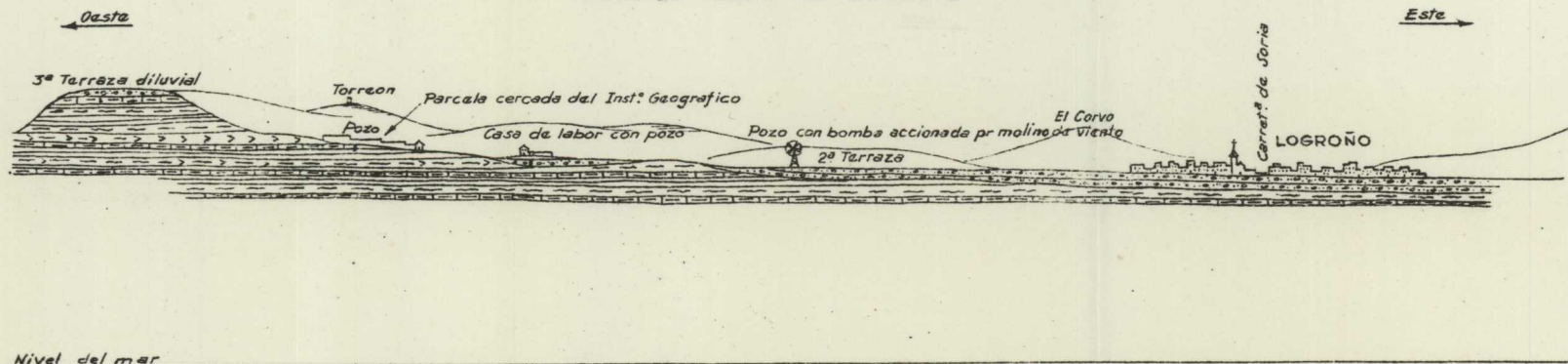
EXPLICACIÓN

Al	Di	■
ALUVIAL	DILUVIAL	OLIGOCENO

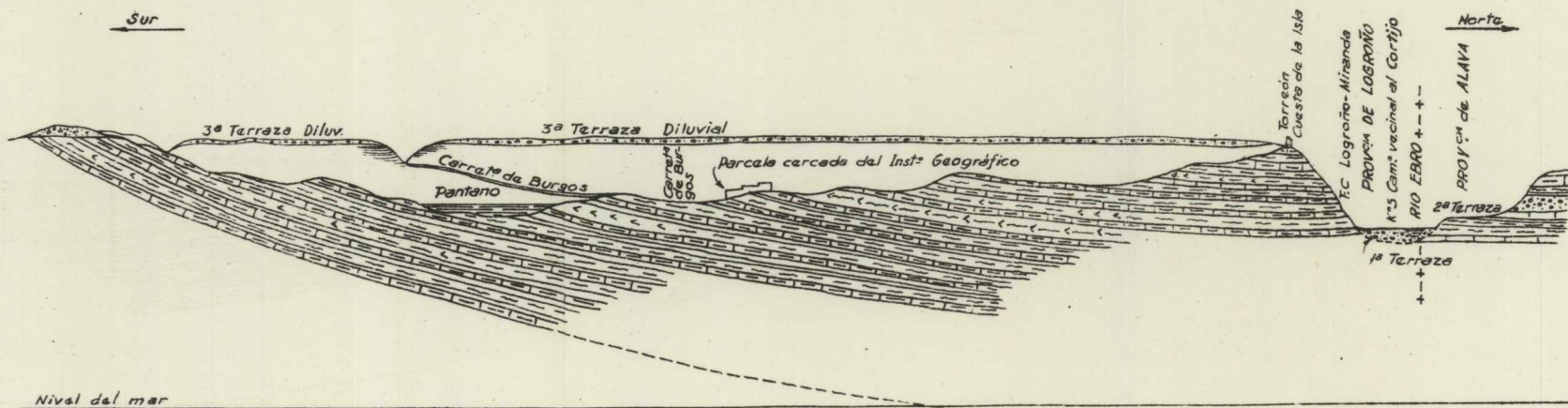
INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA POR EL MÉTODO ELÉCTRICO EN LOGROÑO CORTES GEOLÓGICOS



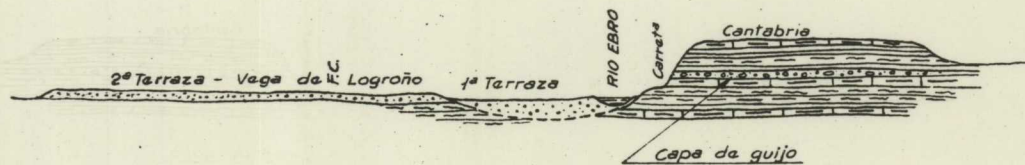
CORTE I - E.O. POR EL POZO DE LA PARCELA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO EN LOGROÑO
PARAJE "PEÑA DE LOGROÑO"



CORTE II - E.O. POR EL POZO DE LA PARCELA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO EN LOGROÑO
PARAJE "PEÑA DE LOGROÑO"



CORTE III



ESCALAS { Horizontal 1: 37.500
 { Vertical 1: 15.000

EXPLICACION

ALUVIAL	DILUVIAL	OLIGOCENO

Nivel del Mar

está definida por un conjunto de bancos alternantes de calizas margosas, a veces muy sabulosas y micáceas, con cemento arcilloso, constituyendo verdaderas psamitas. Otras veces son bancos más puros de caliza compacta, con potencias variables entre 20 cm. y un metro, interpuestos entre tongadas arcillosas y margo-arcillosas de tinte rojizo y mayor potencia, sobre todo en los niveles bajos. En términos generales, ocupan las zonas altas las calizas y las margas sabulosas, siendo escasos los bancos de margas blandas y arcillosas; en cambio, en el fondo sucede al revés.

Las capas aparecen en disposición horizontal en las dos márgenes del Ebro y toman buzamiento hacia el Norte de un modo gradual y creciente a medida que se alejan del río hacia el Sur (véase corte geológico núm. II). Alcanzan hasta 15 y 20° en el Pico del Águila y Coronilla, dentro del término municipal de Lardaro. Su estratificación es generalmente uniforme; sólo en el paraje de La Grajera, como a unos 300 metros al Sur de la casa de labor del mismo nombre, asoman unas capas de areniscas tableadas con dirección hacia el Norte, entre otras de arcilla rojiza; todas ellas buzan unos 20 ó 25° a Poniente. Más al Este, pasada una pequeña vaguada que coincide aproximadamente con el eje de un pliegue y entre la misma y el camino de La Grajera a Lardaro, la orientación de las capas gira, dentro del segundo cuadrante, hacia el Norte y el buzamiento se torna contrario, pero más suave, entre 8 y 10°. Constituye pues, este pequeño accidente tectónico, una suave ondulación local, porque no se advierte ni al Norte ni al Sur su prolongación.

Las margas arcillosas suelen contener plaquitas o escamas de yeso interpuestas, en algunos sitios con relativa abundancia, como puede observarse en la estribación oriental de la presa del pantano de La Grajera.

La orientación general de las capas, aparte del pequeño trastorno advertido, es de Levante-Poniente, o ligeramente girada en el segundo cuadrante hacia el Sur, lo que les da una nueva caída no sólo hacia el río sino hacia Logroño, aunque poco perceptible según se ve en el corte núm. I.

Como el terreno aparece con sedimentación regular y uniforme, y se repite en idéntica forma en varios kilómetros más hacia el Sur, se comprende el gran espesor que esta formación ha de alcanzar en el centro del valle y, por lo tanto, en el lugar del observatorio en proyecto, lo que unido al carácter margo-arcilloso de los bancos y al buzamiento uniforme hacia dicho valle, hace muy dudosa la existencia de agua, y mucho menos de buena calidad, a niveles fácilmente aseguibles. El resultado de las observaciones geofísicas así lo confirma hasta los 110 metros de profundidad a que se ha llegado, según se detalla más adelante.

Los terrenos descritos han sido clasificados hasta la fecha como miocenos. Pero aunque la escasez del tiempo destinado a la búsqueda de fósiles y a la misma pobreza de fauna sólo nos ha permitido recoger algunos lechos con impresiones de tallos y algunos restos de difícil clasificación, la inclinación de las capas cada vez mayor hacia el borde meridional, y su misma facies margo-arcillosa y rojiza, de gran semejanza con las cuencas oligocenas de Navarra y Cataluña, nos inclina a colocarla en este nivel superior. A su vez, se apoya sobre un conglomerado poco coherente que aflora en un corte natural del terreno, en la margen izquierda del Ebro y en el camino vecinal de Mendavia, y que se explota como material de hormigón. En este banco, representado en el corte núm. III, tiene aproximadamente el mismo nivel que la segunda terraza de la

vega de Logroño y pudiera ser la separación entre los horizontes terciarios.

CUATERNARIO.—A esta serie, que es la de mayor interés desde el punto de vista acuífero, corresponden las tres terrazas que señalamos en el plano general y cortes aludidos. La primera de ellas se circunscribe a la marcha de ambos ríos, adquiriendo su mayor desarrollo en la confluencia de los mismos. Sus componentes son materiales de arrastre menudos: guijo, arenas, tierras de labor margo-arcillosas y limo. Es la de más bajo nivel y de agua segura, pero como está muy alejada del punto de utilización, carece de interés en nuestro caso.

La terraza segunda se extiende, como ya hemos dicho, a los pies de los montículos terciarios y forma la verdadera vega de Logroño, con un entrante hacia el curso del Iruega, que sigue, aguas arriba, por ambas márgenes. La diferencia con la precedente, estriba en la menor profusión y mayores dimensiones de los cantos, que aparecen en débiles tongadas y envueltos en abundante tierra de labor. Es de tipo margo-arenoso y de excelente calidad para el cultivo. Su potencia es variable y aumenta, y hacia el borde del río ha de recoger la mayor cantidad de agua aprovechable, por recibir gran parte de la que discurre en tiempo de lluvia por las laderas, y será de mejor calidad por la acción filtrante de la propia terraza.

Por último, la terraza 3.ª, que es la más antigua, se representa en el plano por una faja alargada y estrecha que se extiende en dirección N.-S., con pequeña desviación hacia el Este; está comprendida entre 540 y 560 metros de nivel, como resto de una cobertera que en tiempos coronó sin duda en gran parte el espolón oligoceno. Su espesor es pequeño, en muchos sitios poco superior a un metro, y sus cantos, que oscilan entre 5 y 50 centímetros,

son de naturaleza variable calcárea muchos de ellos, de arenisca otros, y algunos, que aparecen con relativa abundancia en la propia terraza y diseminados por las laderas, son de naturaleza altamente silíceas, duros y de color vinoso.

Dicha terraza, por su situación y nivel con relación a la parcela de estudio, hubiera podido ser de gran utilidad por la calidad de sus aguas y la fácil captación y transporte, pero su pequeñez y escaso espesor, con bordes abiertos, formando meseta, no ofrece esperanzas para aconsejar ninguna clase de intento.

ALUMBRAMIENTOS DE LA ZONA.—Desde el punto de vista acuífero es evidente que la segunda terraza es la que ofrece mayor interés. En ella ya se han hecho con buen resultado diferentes pozos. Los más cercanos a la zona de estudio y en el borde occidental de la terraza son dos; uno de ellos, recientemente abierto, está emplazado en una finca de labor, cerca de la carretera de Burgos y Cabañas de Virtus, pasado el Km. 1, y es el más interesante. Este pozo, según referencias, tiene ocho metros de profundidad, y está accionado su sistema de desagüe por un molino de viento. El nivel corriente del agua a molino parado está próximo al brocal, y a marcha forzada desciende y se quedan las aguas colgadas pasados los tres o cuatro metros, viéndolas discurrir por el hastial del pozo, lo que demuestra su origen freático. Son aguas buenas, perfectamente utilizables en las aplicaciones domésticas.

Más cerca de la parcela en estudio, como a 600 metros de la misma, existe otro pocito, el cual, sin ser tan abundante ni tan buenas las aguas como las de su precedente, se beben y emplean para los mismos servicios. También este pozo está abierto sobre el manto de acarreo de la segunda terraza (véase el plano general y corte número I);

aunque más cerca del borde o línea de contacto con el Terciario, razón por la cual se explica la diferencia con el primero en cuanto a la cantidad de sus aguas.

Dentro de la parcela cercada del Instituto Geográfico, y en pleno terreno de margas, calizas margosas y arcillas, está abierto el que denominaremos núm. 3, que alcanzó la profundidad de 12 metros sin haber encontrado ningún nivel de agua. Se ubicó dicho pozo, según referencias, después de la intervención de un zahorí, que con su varita aconsejó la apertura del mismo. Pero el fracaso fue rotundo. Da la coincidencia de que el aludido pozo coincide, precisamente, en dirección, con los otros dos anteriormente señalados, lo que quizás explica la creencia del mencionado operador de que pudiera existir un nivel de agua o corriente en ese sentido. Pero sus conocimientos geológicos no debían ser muy firmes, puesto que del examen del terreno se ve que aquellos pozos están abiertos sobre una terraza diluvial o manto cuaternario, de evidentes posibilidades acuíferas, y este tercero lo está fuera de ella y en pleno horizonte o formación terciaria, compuesta de margas, calizas margosas y arcillas prácticamente impermeables y, además, con caída hacia el Ebro y potente espesor, lo que hace pensar a primera vista la casi imposibilidad de niveles de agua cercanos a la superficie y explica lo ocurrido.

Veremos a continuación cuáles han sido los resultados de la prospección geofísica.

II. La investigación eléctrica

Para reconocer el subsuelo de la finca en cuestión se ha empleado el aparato eléctrico de corriente continua

modelo «Siñeriz». El procedimiento seguido ha sido el de sondeos de resistividades, llevados hasta la profundidad de 110 metros. Las estaciones se han distribuido en forma de cuadrícula de lados desiguales, a 20 y 25 metros de distancias mutuas. Además se han duplicado los sondeos con otra serie semejante, desplazada cinco metros hacia Levante, que toma la misma numeración y que sirve de comprobación de los resultados (véase el plano de situación).

En total se han hecho 18 sondeos.

En todos ellos se observa una resistividad relativamente grande en la superficie, que baja rápidamente hasta los valores del orden de 6 a 10 ohmios m^2/m . Esta resistividad corresponde a las margas arcillosas, a veces sabulosas del Terciario, que con poca impregnación de agua que tengan dan resistividades de este orden.

Por consiguiente, en este caso, las capas hidrológicas explotables, que tendrían que ser de grava, arena o caliza fisurada, se deberán presentar con resistividad mayor, so pena de ser salobre el agua contenida en ella.

Observados los sondeos no se aprecia en ellos ningún horizonte continuo que pueda ser considerado como acuífero. A no ser que interpretemos como tal a un nivel comprendido entre los 70 y 90 metros de profundidad, por manifestarse con un leve aumento de resistividad. Pero la indicación es tan pequeña que, unido a las otras razones citadas, no es prudente tomarlo en consideración, pues nuestra creencia es que no resolveríamos el problema llegando con un pozo hasta esa profundidad.

III. Conclusiones

Considerando de acuerdo los datos suministrados por el estudio eléctrico con las observaciones geológicas he-

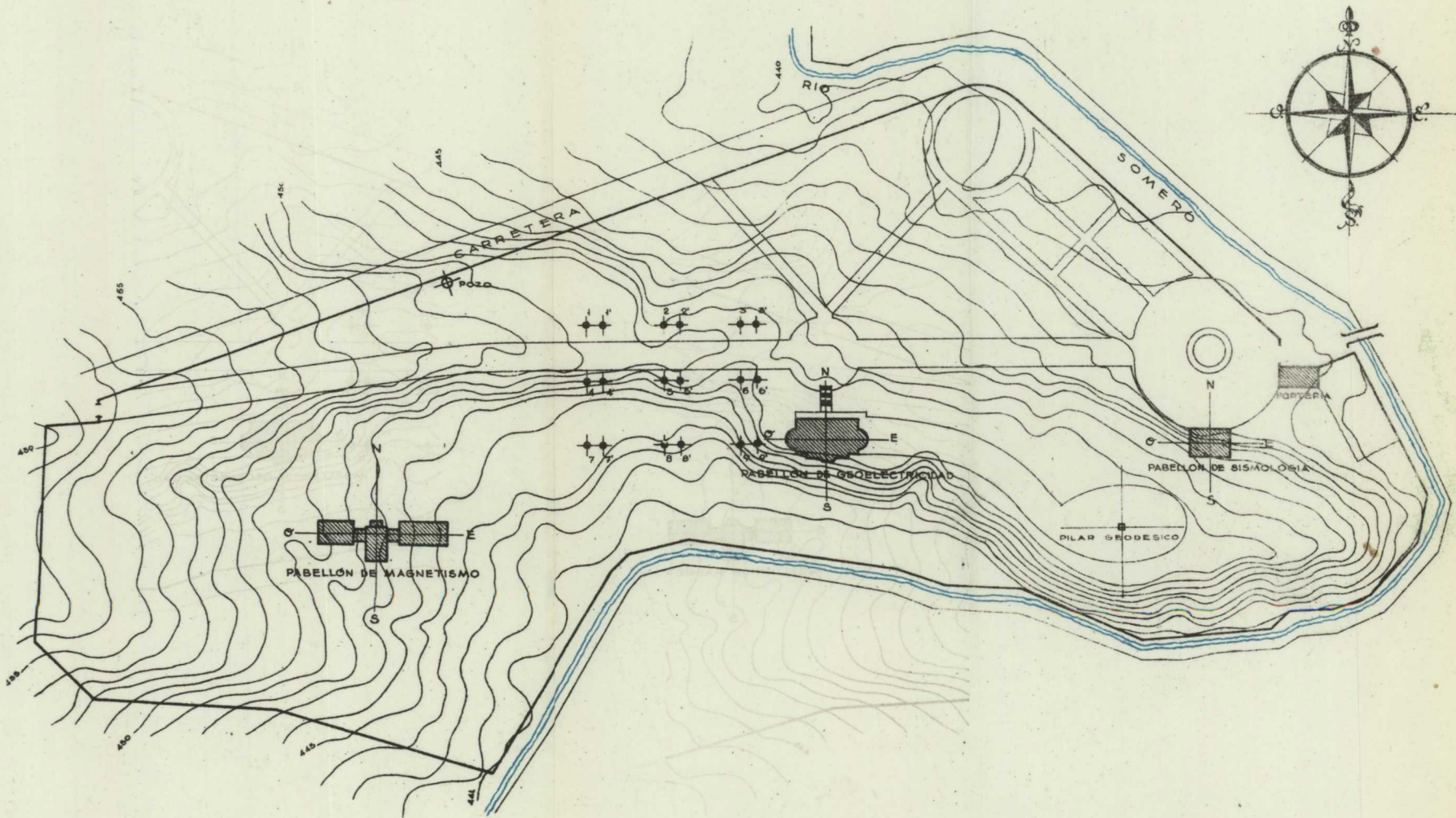


INVESTIGACIÓN HIDROLOGICA POR EL MÉTODO ELÉCTRICO EN LOGROÑO

PLANO HORIZONTAL

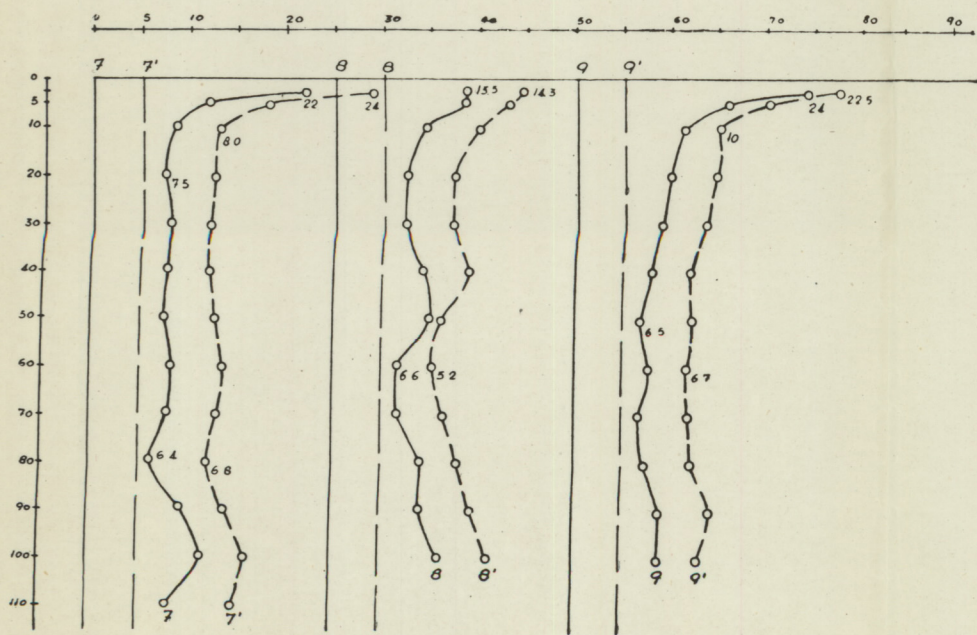
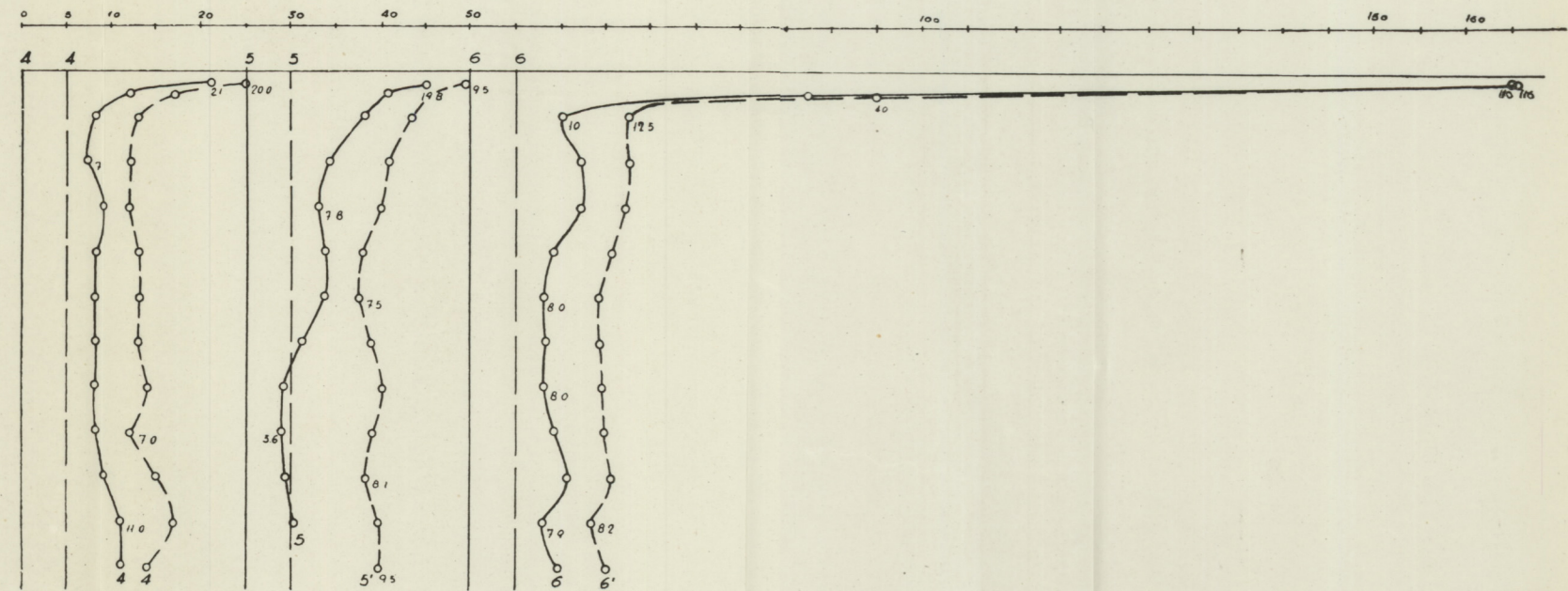
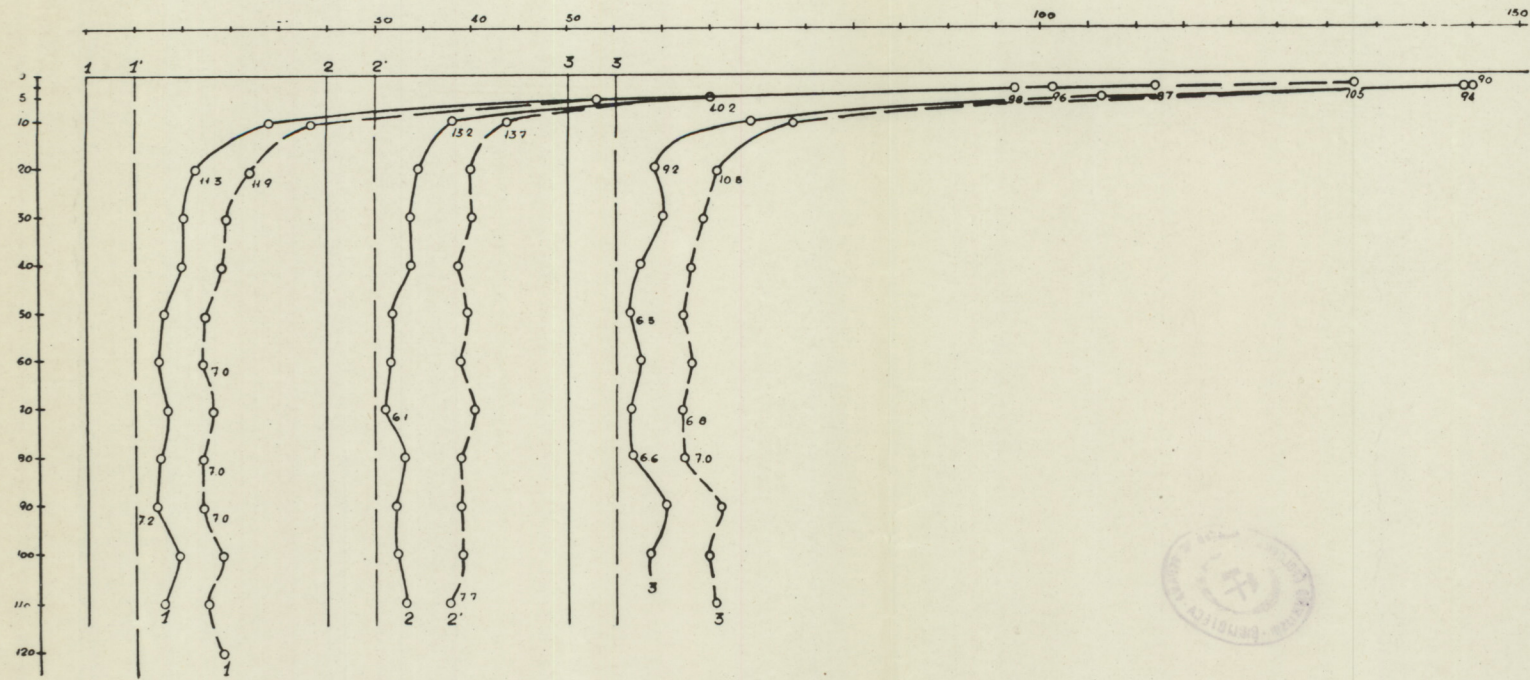
SITUACIÓN DE SONDEOS

ESCALA 1:2.000





S O N D E O S



chas sobre el terreno, se llega a las siguientes conclusiones:

1.^a Que no es de esperar encontrar agua, y mucho menos potable, dentro del terreno de la parcela estudiada, ni profundizando más el pozo actual, o abriendo otro, como no sea sondeando hasta alcanzar las capas de conglomerado, que habrán de ser la base de los tramos de margas y calizas margosas y que se hallan a profundidad probablemente superior a los 500 metros..

Pudiera, no obstante, existir algún nivel más somero dentro de las capas de carácter sabuloso. Pero creemos quedaría a profundidades de más de 70 metros, además de ser poco abundantes en el caso de existir.

Tampoco tendría muchas probabilidades de ser de agua buena, dado el carácter selenitoso de esas margas.

2.^a El horizonte más apropiado para obtenerla y más cercano a la parcela es la 2.^a terraza, que empieza cerca de ella y sobre la cual se hallan abiertos en la actualidad, y se encuentran en actividad, los dos pozos aludidos.

Por consiguiente, no creemos que se puedan recomendar procedimientos más económicos, para resolver el problema del agua para usos domésticos de la finca en cuestión, que el de alumbrarla por medio de pozo en el lugar más cercano de la mencionada terraza. El sitio más próximo no quedará a menos de un kilómetro de distancia y habrá que elevarla y conducirla hasta el sitio de consumo.

CAPÍTULO VIII

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA, POR EL MÉTODO ELÉCTRICO, EN FIÑANA (ALMERÍA)

La investigación hidrológica efectuada en Fiñana, ha tenido por objeto el estudio de una zona de la provincia de Almería, donde, dadas las características del clima y la relativa escasez del agua, el descubrimiento de este elemento tiene un gran valor. Se ha realizado por el método eléctrico de corriente continua con un aparato modelo «Siñeriz», construido en los talleres de este Instituto.

Veremos a continuación cómo se han obtenido resultados de mucho interés, al determinar zonas donde será posible el alumbramiento de agua subterránea, aprovechable en condiciones económicas.

I. Reseñas geográfica y geológica

Reseña geográfica.

La zona estudiada se encuentra a una altitud aproximada de 1.000 metros sobre el nivel del mar, entre las secas tierras de la provincia de Almería, en un fértil valle que destaca considerablemente de los terrenos que lo cir-

cundan. En este valle se encuentra la villa de Fiñana, que pertenece al partido judicial de Gérgal. Está situada a 65 kilómetros al NO. de la capital, en el límite de la provincia de Almería con la de Granada, lindando su término municipal por el Oeste con el de Huéneja, de la mencionada provincia.

El valle se extiende de SE. a NO. entre Abla y Guadix, y se encuentra bordeado por una importante cadena orográfica, puesto que está limitado al S. por el ingente macizo de Sierra Nevada; al E., en su parte más estrecha, por las sierras de los Filabres; al N., por la de Baza, o del Tesorero, y tan sólo queda abierto al NO., en dirección hacia Guadix.

La hidrografía de la región está representada, de una parte, por el río Fardes, que lleva en unos 25 kilómetros dirección NO. para torcer luego al N. e internarse en la provincia de Jaén, vertiendo sus aguas en el Guadiana Menor, afluente del Guadalquivir. Y de otra por el río Almería, también llamado, aguas abajo, del Nacimiento, que vierte al Andarax y éste, a su vez, al Mediterráneo, al SE. de Almería.

Estos ríos citados corren por el valle en direcciones opuestas, encontrándose su divisoria entre Huéneja y Dólar, de la provincia de Granada, a unos 12 Km. al NO. de Fiñana. Otros arroyos y ramblas afluyen a dichos ríos en gran número, procedentes de Sierra Nevada y Sierra de Baza.

Desde el punto de vista topográfico, el valle está dividido en dos zonas en su parte más baja. Prescindiendo de las laderas de las sierras, una de ellas, la situada al Norte, que forma la base de la Sierra de Baza, es espaciosa, de pendiente suave, por donde corren las aguas formando ramblas, y la otra, situada al Sur, en la falda de Sierra Nevada, se eleva sobre la anterior unos 100 metros por tér-

mino medio. Estas tierras avanzan hacia la parte llana como desprendiéndose de la ladera y formando numerosos contrafuertes que dejan hondas vertientes y vallecillos secundarios de escasa longitud.

Entre éstos se forman lomas de forma alargada, que se unen a la falda de la sierra o a la meseta de la divisoria del valle, terminando en forma redondeada hacia el valle principal, lo que da a la región un aspecto característico. En algunas partes hay cortados verticales que se producen al desprenderse grandes bloques.

Fiñana está en la ladera S. de una de estas lomas o contrafuertes, con sus calles y casas escalonadas y orientadas de E. a O. Tiene, por tanto, al Norte otras lomas y vertientes, que hacia el Oeste se unen con la de Fiñana en un macizo común y, por fin, en esta dirección, más al Norte se une también con la zona llana del valle general por donde discurre la rambla. Hay al S. otro valle que constituye la fértil vega de Fiñana, por el que corre el río uniéndose a la rambla cerca del pueblo por el E. y extendiéndose ya juntos hasta Abruca y Abla, con ricos e importantes cultivos en toda su anchura.

Reseña geológica.

La llamada falla de Guadix-Almería ha dado lugar al valle a que nos estamos refiriendo de las cabeceras de los ríos Fardes y Almería, continuando esta falla por el bajo Andarax hasta el mar.

Al O. subsiste el valle geológico a que dio lugar la falla, relleno por terrenos más modernos, principalmente el Diluvial. En Guadix alcanza este último una potencia de 350 metros, hallándose, por lo tanto, el Estrato cristalino a mayor profundidad.

Desde aquí va ascendiendo el fondo del valle geológico hasta aflorar el Estrato cristalino al E. de Abla.

A partir de esta zona continúa este valle sin recubrir unos 15 Km., desde el O. de Ocaña y Doña María (Almería), para volver a quedar cubierto bajo el Cuaternario y Terciario, al S. de Gérgal.

La falla divide al Estrato cristalino en dos importantes macizos; uno al N., formado por la Sierra de Baza y la de Filabres, y otro al S. y O., que constituye la Sierra Nevada.

La referida línea tectónica, en la parte recubierta del valle de Fiñana, puede estar formada por dovelas con saltos y grietas, así como por pliegues paralelos al eje de la sierra, que tanto en un caso como en otro, trastornan la regularidad de su fondo.

En Sierra Nevada se formó el anticlinal de su nombre, en semicúpula hacia el Oeste, que en general tiene bombeada forma. En esta parte las pizarras buzan al NNO. en la parte septentrional y al SSE. en la meridional.

Por la homogeneidad de su estructura y constitución, Sierra Nevada es un verdadero monolito de pizarra micácea. Esta sierra, en la zona de que nos ocupamos, es el eje de los diversos pliegues y saltos que se originan. Se formó durante el período Alpino, como la de Baza y Los Filabres. Los movimientos posteriores de acomodación afectaron a esta región en sus líneas más débiles y, por tanto, al valle que nos ocupa.

TERRENO ESTRATO CRISTALINO.—La extensa formación de este terreno geológico, que sin solución de continuidad se extiende por toda Sierra Nevada, por casi toda la de Baza y por la de los Filabres, envuelve al N., S. y E. y forma el substratum del valle topográfico y geológico en que se encuentran las poblaciones de Fiñana, Alquife y Guadix, formando un fondo impermeable, salvo los efectos que pueda

producir la falla. (Véase el plano horizontal y los cortes geológicos.)

El contacto de este terreno con el Triásico y Cuaternario forma superficialmente una horquilla, cuyo vértice está en Abla. La rama S. está determinada por el enorme macizo de Sierra Nevada, y la N. corresponde a la Sierra de Baza. Se unen ambas ramas en Nacimiento, al E. de Abla y al O. de Gérgal, prolongándose en un solo macizo a lo largo de la Sierra de los Filabres.

Está constituido principalmente por pizarras micáceas, pizarras cuarzosas y granatíferas. Los terrenos de estas sierras están descritos por el Sr. Orueta, en el Boletín del Instituto Geológico, y por los Sres. Guardiola y Sierra, en el tomo 1.º de «Hierros de Almería y Granada», Memorias del Instituto Geológico, de la siguiente forma:

Tramo inferior: Gneis glandular y Gneis micáceo.

Tramo medio: Micacitas feldespáticas, normales y con andalucita y estaurótida.

Tramo superior: Micacitas (rocas verdes), micacitas con cloritoide, cuarcitas epidotíferas, anfibolitas.

Calizas dolomíticas cristalinas, calizas con piroxeno, micacitas granatíferas.

TERRENO TRIÁSICO.—Se presenta esta formación recubriendo al Estrato cristalino. En la zona que nos ocupa, forma la parte occidental de la Sierra de Baza y está recubierto por el Plioceno cuando nos alejamos hacia Guadix. Hace contacto con el terreno de acarreo del valle en un corto trecho, y aparece siempre recubriendo al Estrato cristalino, al que envuelve en casi todos sus asomos.

En la base de la parte N. de la Sierra Nevada (fuera del plano), aflora una estrecha faja que arranca desde el macizo triásico de la Sierra Harana, frente a Beas, pasando por Alquife, y avanza hasta Ferreira. Probablemente

existe el Trías recubierto por el Diluvial en el valle de Fiñana, entre la horquilla del Estrato cristalino que se ha descrito.

Las rocas suelen componerse de arenisca roja, calizas, margas y conglomerados sin restos orgánicos.

Según los Sres. Guardiola y Sierra, en esta provincia las calizas triásicas tienen una gran importancia por las mineralizaciones ferríferas, de plomo y de zinc que contienen, aunque sea con carácter exclusivo del tramo medio, es decir, en las calizas del Muschelkalk, hasta el punto de que cuando éstas se ocultan bajo los materiales cretáceos y terciarios, desaparecen también aquellos afloramientos característicos en forma de manchas o crestones ferruginosos (tomo 1.º de «Hierros de Almería y Granada»). Agregan que las calizas cristalinas subyacentes, también metalíferas (con hierro y plomo), pretenden algunos incluirlas entre los esquistos intermedios de los sedimentos triásicos, y que ellos opinan que éstos y otros materiales pertenecen al Estrato cristalino.

En la parte que afecta a este trabajo, en el cerro de los Huesos, siguiendo la orientación dada en el corte facilitado por el ingeniero Sr. Orti, hemos buscado el asomo triásico, encontrando margas y conglomerados brechiformes compactos y calizas cristalizadas ferruginosas, que evidentemente no pertenecen al Estrato cristalino.

En dicho cerro, la ladera S., que vierte hacia el ferrocarril de Almería, es casi paralela al contacto con el Estrato cristalino y presenta numerosos asomos de pizarras micáceas y un ligero recubrimiento de las rocas antes indicadas. En el mismo contacto hay unas calizas cristalinas ferruginosas que son probablemente las que unos clasifican en este período y otros en el más antiguo. Al Trías se le supone una potencia aproximada de unos 100 a 150 metros.

TERRENO DILUVIAL.— Constituye la llamada formación de Guadix. Se compone de conglomerados con gravas y guijarros con poca arcilla, en los que se encuentran los detritus del Estrato cristalino y del Triásico, del primero en su mayor parte, siendo predominantes los cantos y gravas silíceos.

Topográficamente origina las pequeñas mesetas o lomas que se describieron, con laderas escarpadas o vertientes con bloques desgajados. Recubre a la explotación ferrífera en Alquife, y en general al Triásico, donde éste no ha sido denudado, en cuyo caso se apoya sobre los estratos antiguos. En este valle es posible la existencia del Triásico en forma continua bajo el Diluvial, lo que pudiera también representar la existencia de criaderos de hierro como los de Alquife.

Confrontados los resultados geofísicos, de que hablaremos más adelante, con las observaciones geológicas, resulta lo siguiente:

AGUAS SUBTERRÁNEAS.— Si se tiene en cuenta que la altitud de Guadix es de 1.000 m. y que el espesor atribuido al Diluvial en aquella localidad es de 350 m., se deduce que su contacto con el Triásico tiene una altitud aproximada de 650, y el de éste con el Estrato cristalino unos 500 metros, teniendo en cuenta que la potencia del Triásico es de 150 metros. Es decir, que el fondo de la cuenca subterránea, constituido por el Estrato cristalino, está en Guadix a 500 m. sobre el nivel del mar y desde allí sube gradualmente hasta que, al aflorar al O. de Abla, casi alcanza la cota de 800 m. sobre el mismo nivel. Este afloramiento del Estrato cristalino constituye una presa natural subterránea que embalsa las aguas procedentes de las sierras próximas. En la investigación eléctrica se determina la potencia del Cuaternario en la zona de Fiñana, Abruce-

na y Abia, que es aproximadamente de 150 metros. El agua subterránea estará embalsada, desde esta profundidad, hasta donde lo permitan las escotaduras de la presa natural, por las que se verterá en dirección a Almería.

Las sierras son las que abastecen este posible embalse natural.

En cuanto al valle de Fiñana, en toda la masa del Diluvial, puede encontrarse agua a profundidades determinadas por nuestro trabajo de investigación eléctrica.

II. La investigación eléctrica

La prospección eléctrica se ha realizado por medio de tres perfiles de sondeos, transversales al valle de Fiñana.

Entre todos ellos suman una longitud de unos 11 Km., con un total de 61 sondeos.

En los gráficos eléctricos se consigna la profundidad y resistividad correspondiente en ohmios m^2/m .

Como en otras ocasiones, y adoptando un criterio adecuado para cada problema, se ha trazado para cada perfil el gráfico horizontal de resistividades correspondiente a un horizonte comprendido entre determinadas profundidades. De las resistividades de ese horizonte se ha elegido el valor máximo.

Veamos a continuación cómo se ha interpretado cada uno de los perfiles efectuados:

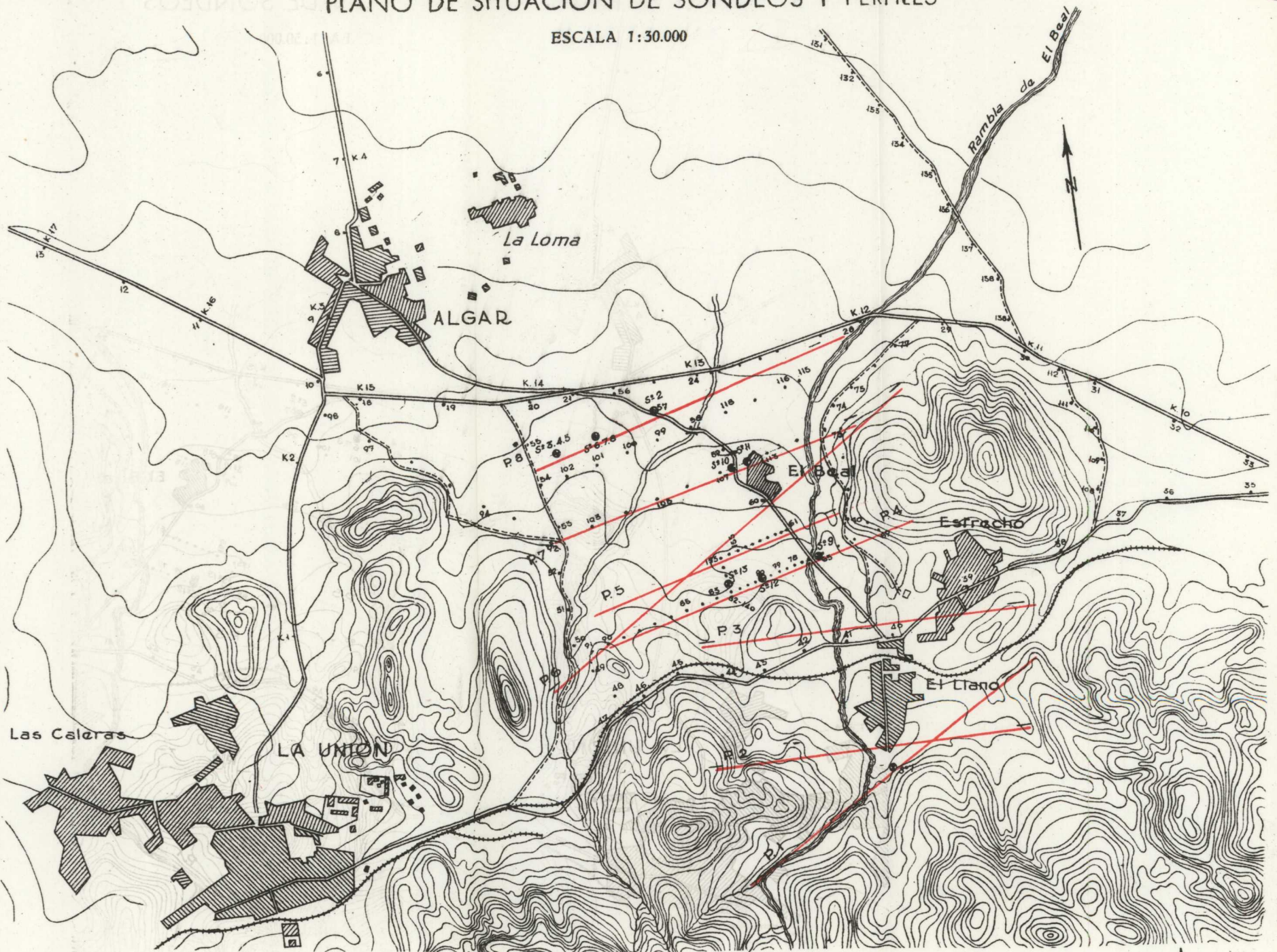
PERFIL I.—Comprende desde el sondeo 1 hasta el 25, formando una línea quebrada de dirección próximamente Norte-Sur, que pasa por las proximidades de Fiñana y tiene una longitud de cerca de cuatro kilómetros.

Los sondeos quedan a distancia mutua muy desigual según las zonas.

INVESTIGACIÓN ELÉCTRICA EN EL LLANO DEL BEAL (CARTAGENA)

PLANO DE SITUACIÓN DE SONDEOS Y PERFILES

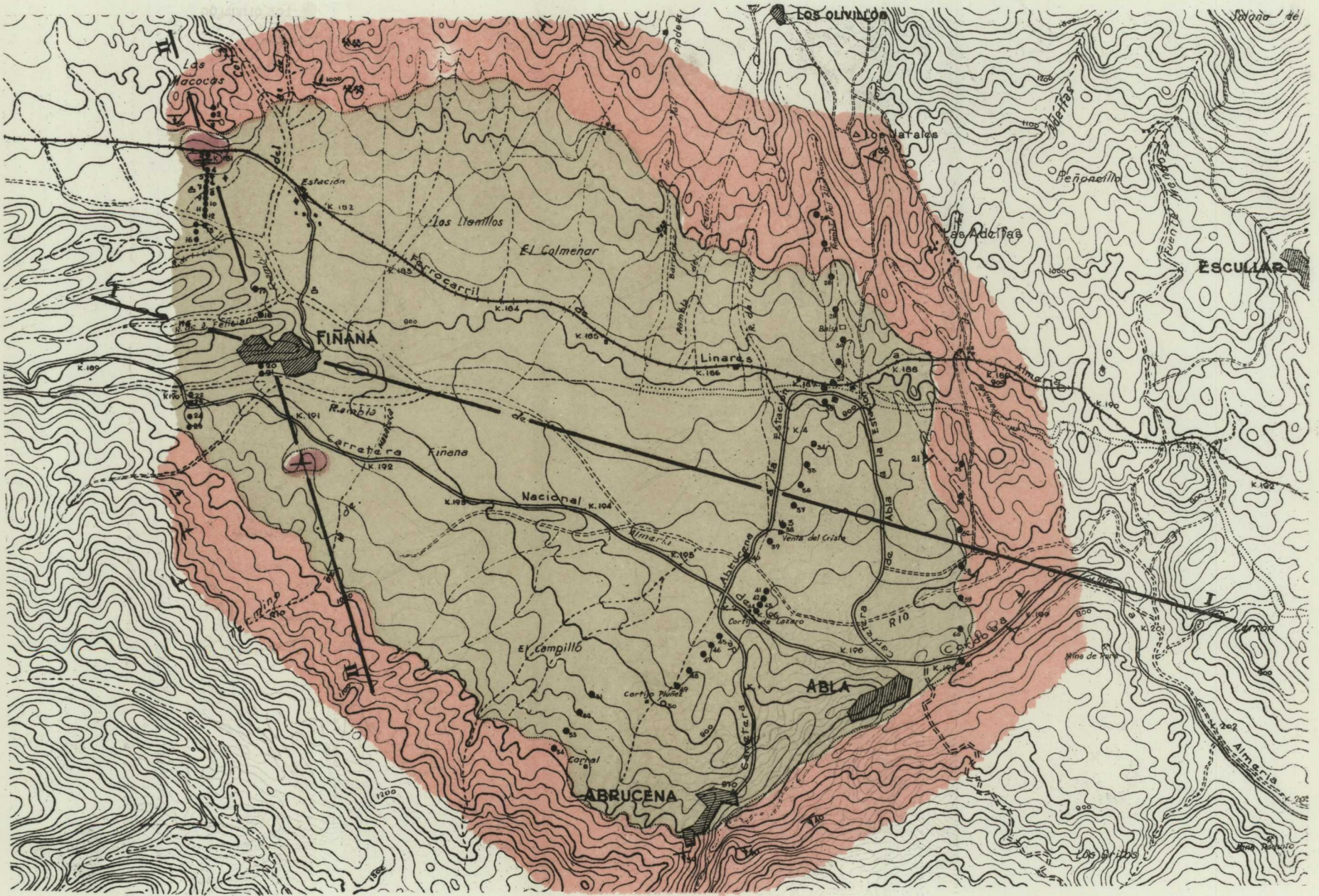
ESCALA 1:30.000



INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA EN FIÑANA

PLANO HORIZONTAL

ESCALA 1:50.000



Postplioceno (Diluvial)

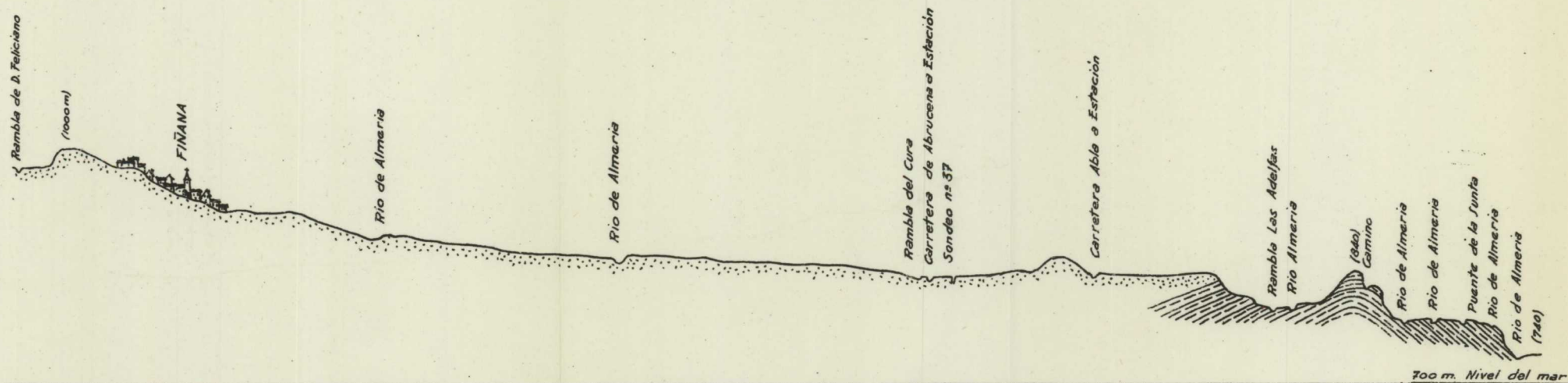
Triásico

Estrato cristalino

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA EN FIÑANA

CORTES GEOLÓGICOS

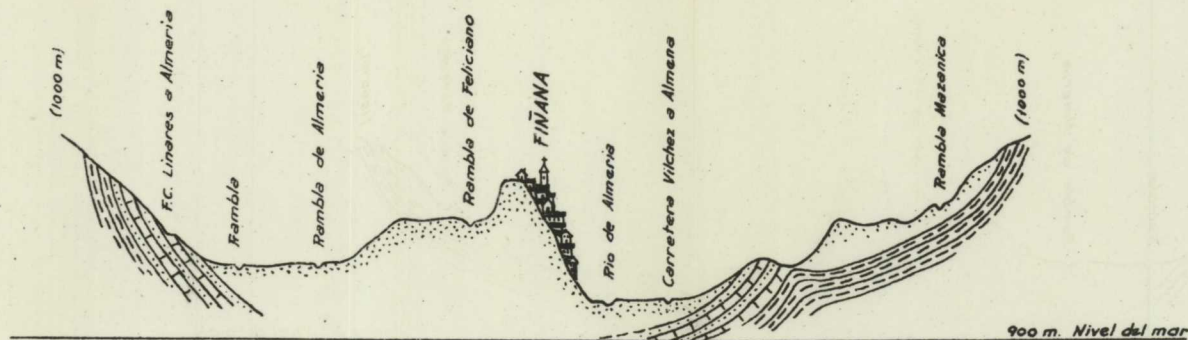
CORTE LONGITUDINAL



ESCALAS } Horizontal 1: 37.500
 Vertical 1: 7.500

CORTE N° I

CORTE TRANSVERSAL



CORTE N° II

ESCALAS } Horizontal 1: 37.500
 Vertical 1: 3.750

- EXPLICACIÓN
-  POSTPLIOCENO (Diluvial)
 -  TRIASICO
 -  ESTRATO CRISTALINO

Como de costumbre se han dibujado ordenadamente en una lámina los gráficos de los sondeos del perfil.

En la interpretación de los resultados se ha seguido el criterio adoptado en los trabajos de prospección similares. De acuerdo con esto se ha dibujado un gráfico con las resistividades correspondientes al horizonte geológico comprendido entre los 30 y los 50 m. de profundidad, con el fin de reducir la influencia de las capas superficiales. De este horizonte se toman los valores máximos, por ser éstos con los que mejor se aprecian los cambios de terreno.

Del estudio de este gráfico se deduce lo siguiente:

Las resistividades del Estrato cristalino y del Triás son del mismo orden y muy irregulares, lo que complica un poco la interpretación, pero son suficientemente elevadas, sobre las que se aprecian en el Diluvial, para que puedan ser diferenciadas, tanto en sentido horizontal como en vertical. Sin embargo, la interpretación se ha hecho de acuerdo con las inflexiones de las curvas o cambios de resistividad y de otros métodos ya citados en los primeros capítulos. Estos cambios nos indican unas veces que hemos pasado de materiales antiguos o triásicos (areniscas compactas) a los de acarreo del Diluvial; otras veces se trata del contacto de materiales a base de arenas o gravas con otros más arcillosos. Cualquiera de estos contactos, en una zona en que las aportaciones de agua son grandes, pueden ser interesantes desde el punto de vista hidrológico. Por consiguiente, aunque hablamos de la interpretación del Triás o Estrato cristalino, nos referimos en realidad a contactos interesantes o al fondo teórico de la vauada, que podrá ser Triás o cualquier otro terreno de resistividad superior al recubrimiento diluvial. Así resulta que, mirado el perfil en sentido horizontal (véase el gráfico), tiene una serie de puntos de inflexión en las proximi-

dades de los sondeos 4, 5, 14, 16, 18, 19, 22 y 23, que conviene estudiar en cada uno de sus correspondientes gráficos verticales.

En el 4 se aprecia el fondo teórico de la vaguada a los 15 m.; en el 5, a los 40 m., y en el 6, a los 45 m., lo que hace a estos lugares especialmente sugestivos.

El número 14 es de gran interés, si se trata de buscar el fondo de la cuenca a la máxima profundidad de todo el perfil, que resulta ser del orden de 120 m., y además dará agua probablemente a los 10 m. y a los 30 ó 40 metros.

El número 16 hallará a los 63 metros el fondo de la vaguada.

En el número 18, a los 15 y a los 85 metros, se manifiestan niveles acuíferos, e igualmente ocurre en el núm. 19.

En los sondeos 22 y 23 se indica el fondo de la cuenca a la reducida profundidad de 40 metros nada más.

A partir de éstos se inicia un nuevo aumento de la profundidad, que indica la existencia de una nueva vaguada cerca del contacto superficial con el Estrato cristalino, lo que resulta del máximo interés hidrológico.

Tanto en el gráfico de este perfil como en el del siguiente, se ha marcado, además del contacto teórico con el fondo de la cuenca, una línea que indica un probable horizonte acuífero que puede ser casi uniforme.

PERFIL II.—Este perfil, que atraviesa todo el valle de Norte a Sur, por Abrucena, consta de los sondeos eléctricos numerados del 26 al 54, y tiene una longitud total de siete kilómetros.

Como en el anterior, se han situado en una lámina los gráficos eléctricos de cada sondeo y en horizontal un perfil de resistividades, pero tomado del nivel comprendido entre 40 y 50 metros. En él se indica que el contacto del Estrato cristalino con el Diluvial se encuentra a la profun-

dididad de 40 metros entre los sondeos 27 y 28, al Norte, y entre los 51 y 52, al Sur.

A partir del sondeo núm. 52 hacia el Sur, aumenta la profundidad del fondo de la cubeta, que pasa de 100 m. en éste a más de 150 metros en los siguientes. En esta interpretación hay que tener en cuenta que lo que se manifiesta en ellos es, en realidad, un potente horizonte arcilloso, que igual puede ser cuaternario que triásico. Encima de este horizonte puede haber niveles de agua a profundidades entre 5 y 40 metros. Además de estos datos, el perfil de resistividad a 40-50 metros nos determina puntos de inflexión en la curva, que tienen mucho interés hidrológico, precisamente a esa profundidad. De acuerdo con ellos, resultan indicados para intentar alumbramientos de agua, a 40 ó 50 metros, los siguientes puntos:

Un punto entre los sondeos 26 y 27; sondeos 29 y 31; sondeo 41 y un punto entre 42 y 43; sondeo 47 y punto entre el 48 y 49; por último, un punto entre el 51 y 52.

PERFIL III.—El perfil III se ha hecho orientado de Norte a Sur y a Levante de Abla, y consta de siete sondeos, numerados del 56 al 61, abarcando una longitud total de dos kilómetros.

Su simple observación nos indica ya que todos, menos el núm. 60, se encuentran sobre el Estrato cristalino, que en este lugar se cierra, constituyendo una presa natural a las aguas subterráneas de la zona de nuestro estudio. Sin embargo, conviene hacer mención de que en el sondeo 60, que se pensaba se manifestaría el Estrato cristalino a poca profundidad bajo el Cuaternario, llegamos hasta la de 150 metros con resistividades relativamente pequeñas.

Esto indica que los alrededores de este sondeo son un lugar de mucho interés acuífero; bien porque sea un punto profundo del pantano, relleno de materiales cuaternarios,

cerca de la presa, o porque se trata de una falla o grieta en el seno del Estrato cristalino, que sería un importante paso de agua subterránea aprovechable.

De cualquier forma, aunque existiese tal falla, no creemos será suficiente la pérdida de agua por ella para quitar interés al gran pantano geológico que se ha formado en la zona de Abla, Abrucena, Fiñana, y cuyo fondo es el Estrato cristalino o el Triás.

III. Conclusiones

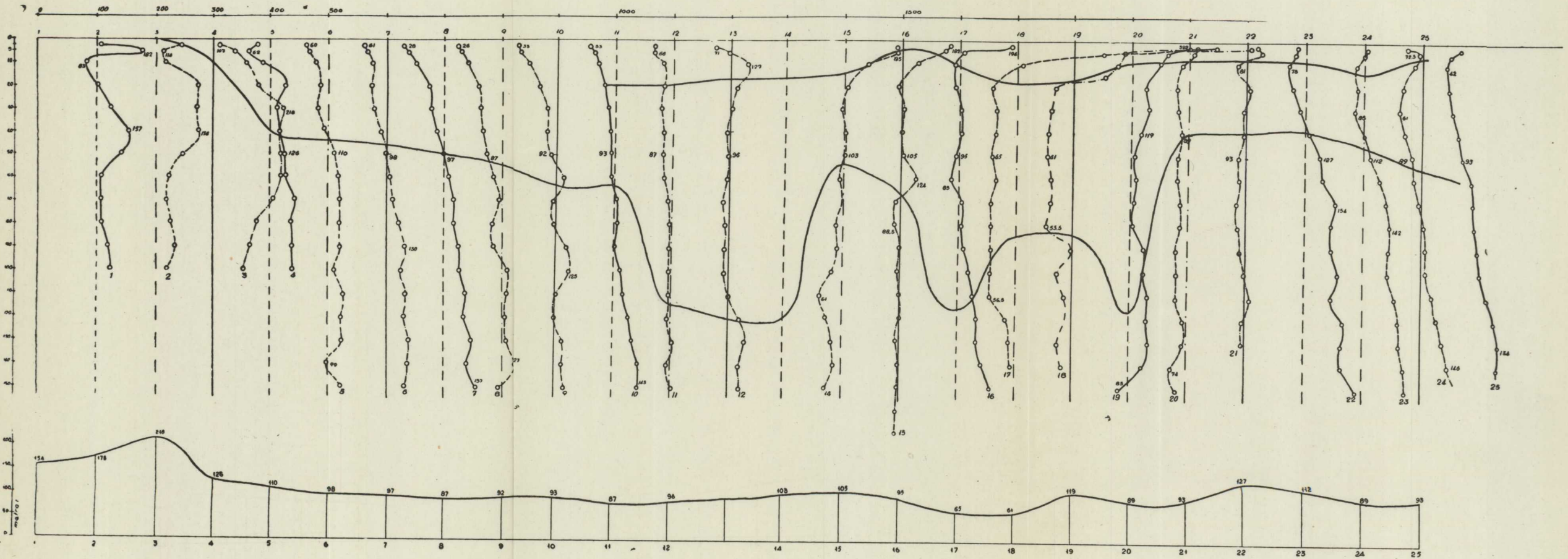
Resumiendo las distintas observaciones y resultados de la presente investigación, se llega a las siguientes conclusiones:

1.ª Se descubre la existencia de un amplio pantano subterráneo que comprende los pueblos de Fiñana, Abrucena y Abla. Las aguas de este pantano vierten hacia Almería, y la presa está formada por materiales impermeables del Estrato cristalino, que lo cierran a Levante de Abla. Su fondo es el Triás o el Estrato cristalino, sus materiales de relleno el Cuaternario, más o menos arenoso y arcilloso.

2.ª Las aportaciones acuíferas de las cordilleras circundantes, son muy importantes, y su cierre, constituido por la mencionada presa, se puede considerar suficientemente bueno, para suponer que toda la zona, en términos generales, contiene gran cantidad de agua. Sin embargo, hacemos la advertencia de que hacia el sondeo núm. 60 parece manifestarse una falla en el seno del Estrato cristalino. Pero aun así, la pérdida de agua no creemos será suficiente, dada la gran extensión de la cuenca, y por otro lado, ese mismo punto es un lugar muy interesante para un aprovechamiento hidrológico.

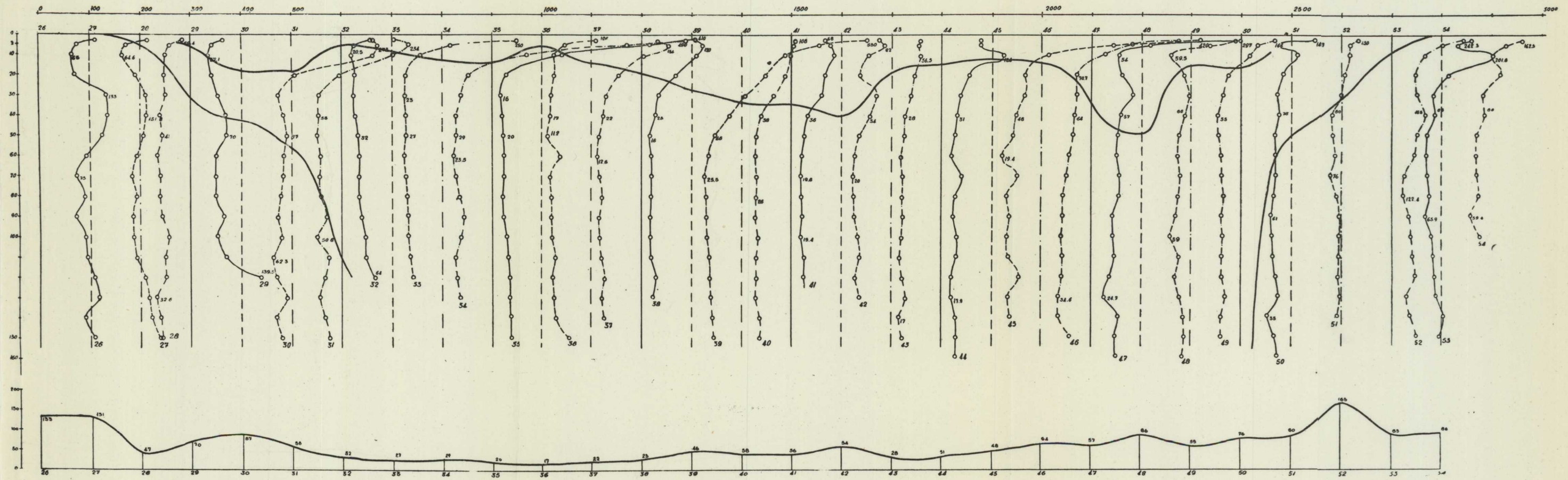


PERFIL I





PERFIL II



3.^a El Estrato cristalino o las areniscas triásicas que forman para nosotros el fondo de la cuenca, se manifiestan en el centro de ella a más de 150 m. de profundidad. Pero no podemos asegurar que sobre las areniscas no exista el horizonte de margas y arcillas del Keuper, que nos daría la misma resistividad que el Cuaternario.

4.^a De no decidirse a atravesar este potente paquete arcilloso, los mejores niveles acuíferos se encontrarán en general entre los 10 y los 50 metros de profundidad.

5.^a Para una prospección por pozo o por sondeo mecánico, se pueden recomendar los lugares de las estaciones eléctricas números 4, 5, 6, 14, 16, 18, 19, 22, 23, punto medio entre 26-27, 29, 31, 41, punto medio 42-43, 47, punto medio 48-49, punto medio 51-52 y especialmente el núm. 60.

CAPÍTULO IX

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA EN LOS MONEGROS

Ante el grave problema de abastecimiento de agua potable en la región de Los Monegros, unido a la necesidad de crear pequeños huertos familiares que contribuyan al bienestar de los pueblos de aquella zona, la obra Sindical de Colonización ha recurrido a este Instituto Geológico y Minero de España, para que colaborase con ella en su posible resolución.

Con esta finalidad, la Sección de Geofísica ha sido la encargada de realizar una investigación en esa zona, con ayuda de sus procedimientos especiales. El método empleado ha sido el eléctrico de corriente continua que, además de ser el más económico, resulta el más adecuado en este caso.

Queremos, ante todo, dar las gracias al Excmo. Sr. Gobernador Civil de Huesca, cuya ayuda, de todos órdenes, nos ha sido de extraordinaria utilidad durante el curso de nuestros trabajos de campo.

También agradecemos al Sr. Delegado Provincial de Sindicatos, al ingeniero de Minas D. Tomás Sanz y a las autoridades de los pueblos de la zona en que hemos estado

operando, todas las atenciones que han tenido con nosotros.

En el presente estudio han sido de gran utilidad los informes de diversos compañeros nuestros, ingenieros de Minas, en especial el del Ingeniero jefe de la Sección de Hidrología Subterránea, Sr. Templado.

I. Reseñas geográfica y geológica

De las dos causas que fundamentalmente intervienen en la configuración del suelo, es decir, la tectónica y la acción de los agentes meteóricos, puede decirse que a estos últimos es debido, en su casi totalidad, el relieve que aparece a la vista en la zona de Los Monegros, de las provincias de Zaragoza y Huesca.

Está dispuesta esta zona como una avanzada de la Sierra de Alcubierre (véase el plano general), cuyo eje o cresta, a modo de espina dorsal en dirección SE., la divide en dos partes: una al NE., limitada por el río Cinca, entre Mequinenza y Ballobar, y por el Alcanadre, entre Ballobar y Sariñena, y la otra al SO. por el río Ebro, entre Zaragoza y Caspe. Dichos ríos discurren por esta región con cotas comprendidas entre 150 metros a su paso por Zaragoza y Sariñena, respectivamente, y los 60 metros en la confluencia de ambos en Mequinenza.

El macizo de Los Monegros, definido por dichos límites, tiene como directriz y parte culminante la Sierra de Alcubierre, con elevaciones hasta de 600 metros, para extenderse en forma de meseta con altitudes comprendidas en términos generales entre 200 y 300. (Véanse cortes números 1 y 2.)


INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA POR EL MÉTODO ELÉCTRICO EN LOS MONEGROS

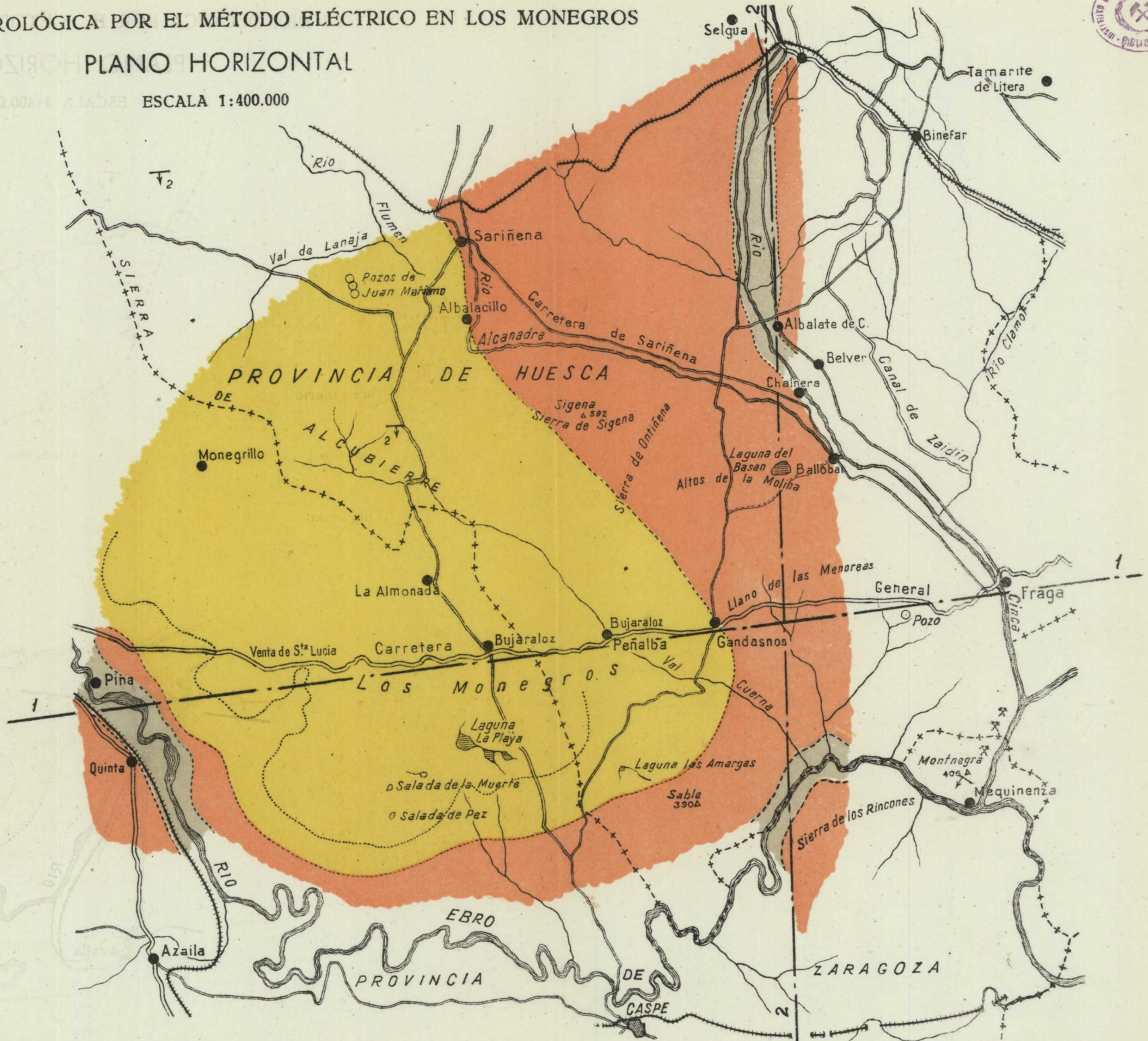


PLANO HORIZONTAL

ESCALA 1:400.000

EXPLICACIÓN

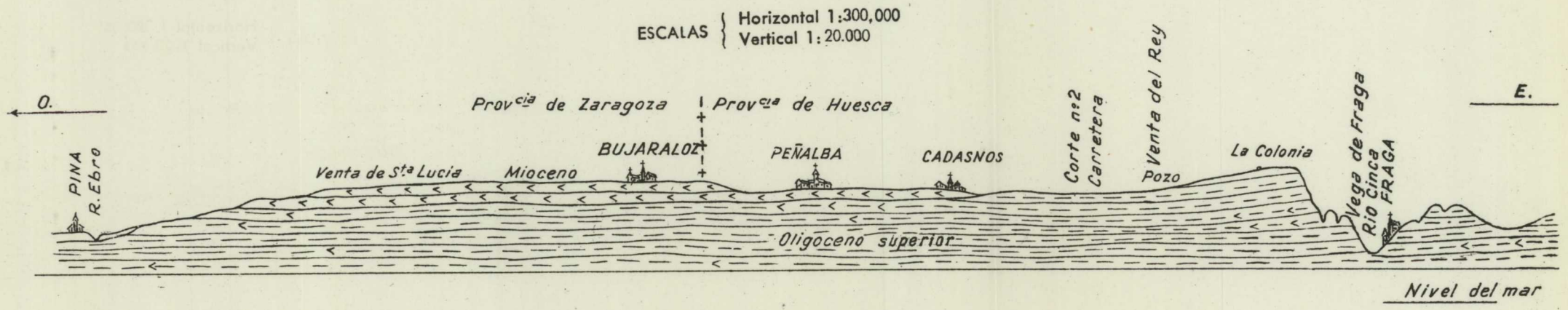
-  Cuaternario
-  Mioceno
-  Oligoceno



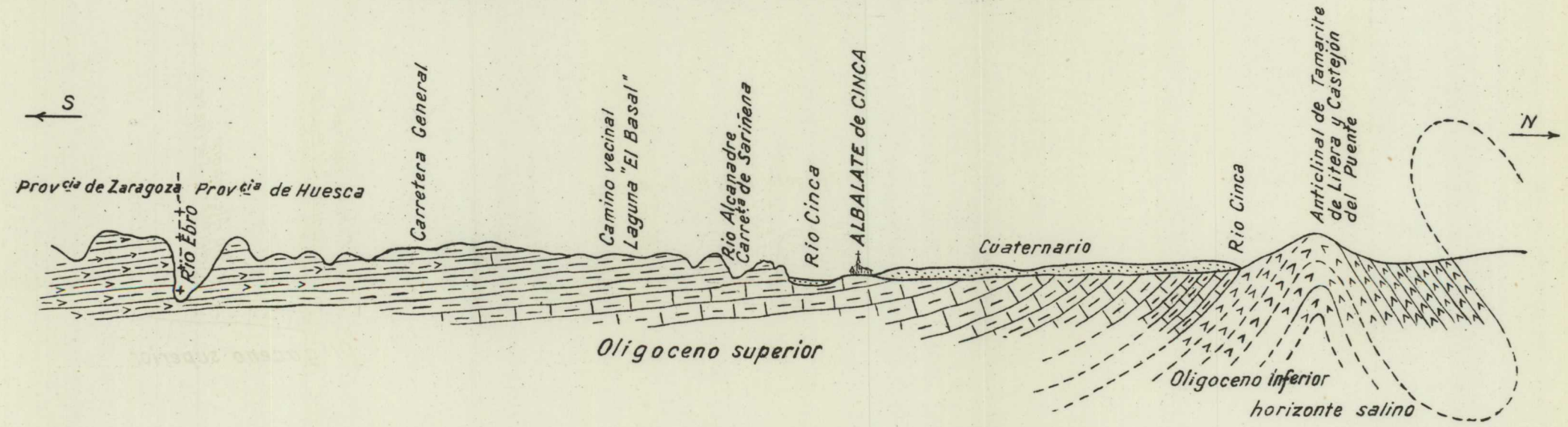


INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA POR EL MÉTODO ELÉCTRICO EN LOS MONEGROS

CORTE GEOLÓGICO N.º 1, E.-O., DESDE EL «CINCA» AL «EBRO»
(FRAGA-PINA, POR BUJARALOZ)



CORTE GEOLÓGICO N.º 2, N.-S., DESDE EL «CINCA» Y «ALCANADRE» AL «EBRO»



- | | |
|---|---|
| <p>CUATERNARIO </p> <p>MIOCENO Yeso abundante y algunas margas</p> | <p>OLIGOCENO Superior Margas sabulosas, rojizas y grises con algo de yeso</p> <p>OLIGOCENO Inferior Yeso abundante y algunas margas</p> |
|---|---|

Las capas o tongadas que forman el macizo están dispuestas en posición sensiblemente horizontal o con ligerísimas ondulaciones y, a lo más, con una inclinación de dos grados con el horizonte, buzando hacia el SO. Solamente, como excepción, al aproximarnos al Norte, donde se halla uno de los últimos contrafuertes de la Cordillera Pirenaica, representado por el anticlinal de Tamarite de Litera y Castejón del Puente (véase el corte núm. 2), se observa un cambio rápido en la disposición de dichas capas, las cuales alcanzan y superan los 50 y 60 grados con el horizonte al llegar al eje de dicha estructura, y cambian de buzamiento en el flanco septentrional de la misma. El flanco meridional, que se oculta en parte por el Cuaternario del Cinca, se suaviza de un modo gradual hacia dicho rumbo, hasta quedar coincidente a corta distancia del mismo río, con la débil pendiente que hacia el Ebro acusa toda la zona.

La naturaleza de dichas capas, en la parte comprendida por la provincia de Zaragoza, o desde Bujaraloz y a Poniente, es altamente yesosa en su parte aflorante, aunque presenta también algunas intercalaciones de margas algo rojizas y grises y de cuando en cuando, que los naturales de la región aprovechan para ciertos cultivos. En general, esta zona zaragozana del macizo de Los Monegros es muy yesosa y poco apropiada para el cultivo.

En la parte de Huesca los yesos miocenos tienen escasa representación, sobre todo después del pueblo de Candanos, desde donde la denudación ha dejado en aflorantes las tongadas margo-sabulosas, arcillosas y calcáreas del Oligoceno, no sin que se presenten también algunos horizontes en pequeños lechos o en escamas selenitosas entre las margas. Al contrario de la zona precedente, abundan en ésta rocas blandas, más apropiadas para el

cultivo que, en contraste con el resto, se ve formando bancales sembrados de vid alternando con olivares.

En determinados sitios, como ocurre con la zona de Castejón de Monegros, donde la erosión ha sido más penetrante como consecuencia de súbitas e intensas lluvias originadas en los altos de la sierra, se produjeron valles posteriormente rellenos de materiales de acarreo o de aluvión. Bajo estos valles discurren corrientes de agua subálvea, uno de los cuales, y quizás el más importante, denominado Val de Castejón o Val Cuerna, desciende desde la Sierra de Lanaja y Alcubierre hacia el Ebro, pasando por Peñalba. En dicha rambla y paraje denominado «La Huerta», existen abiertos tres pozos de unos tres metros de diámetro, muy próximos entre sí. Su profundidad total es aproximadamente de 12 metros y han alcanzado el nivel hidrostático a los 7 u 8 metros del brocal.

En Val del Reguero, próximo al anterior, otro reconocimiento en zanja, ha cortado la corriente subterránea a los tres metros, poco más o menos, que se agota con un motor de 15 HP y a razón de unos 75 m.³ por hora. El terreno atravesado en profundidad, dentro de la zanja, es guijarroso, intervenado de margas algo yesosas.

Analizadas estas aguas dieron el resultado siguiente:

Anhídrido sulfúrico ...	1,0022	gramos en litro.
Cal	0,2142	— —
Magnesia	0,3433	— —
Cloro	0,5715	— —
Cloruro sódico	0,9422	— —
Grado hidrotimétrico ..	125°	

Entre Bujaraloz y Peñalba, alternan las margas rojizas y grises, separadas por algún banquito de arcillas endurecidas, y contiene yeso en escamas. Su disposición es, como en toda la zona de Los Monegros, sensiblemente horizon-

tal o con suaves ondulaciones locales, si acaso con la inclinación de dos grados hacia el valle del Ebro.

La columna estratigráfica, en términos generales común a toda la meseta, es margo-arcillosa con algunos horizontes calcáreos algo sabulosos, en los niveles altos. Los yesos suelen coronar la formación, aunque en los horizontes medios aparecen intercaladas algunas capas de yeso, en escamas.

Se trata de un conjunto bastante impermeable, razón por la cual se infiltran mal las aguas de lluvia, siendo necesario la formación de balsas para el abastecimiento de los pueblos. Los cortes naturales del terreno en las márgenes de los ríos que limitan la zona, como en el Cinca, entre Fraga y Ballovar, presentan cortes verticales y alcanzan cotas hasta de 300 metros. Esta es la causa evidente del escurrimiento del agua hacia dichos ríos, sobre todo hacia el Ebro, que es hacia donde se acentúa la pequeña tendencia de las capas.

De lo expuesto se infiere que, tanto por la disposición sensiblemente horizontal de las capas, según se ve en los cortes geológicos que incluimos, como por sus condiciones de impermeabilidad, la condición de estar recortados y ser aflorantes sus lechos en los bordes de los ríos que circundan la zona, desde Sariñena a Zaragoza, son escasísimas a nuestro juicio las probabilidades de hallar niveles acuíferos de alguna importancia, al menos dentro de la profundidad hasta el nivel de dichos ríos.

En cuanto a las condiciones de artesianismo, examinando los cortes, se deduce inmediatamente la falta de condiciones para que así ocurra, pues si bien la estructura anticlinal de Tamarite y Castejón del Puente es adecuada a tales efectos, no se completa en su extremo opuesto, aparte de la mala calidad de las aguas en esa zona de

captación, de carácter muy yesoso y salino en profundidad.

Consideramos, como resumen, de algún interés a los efectos de alumbramientos, sólo los pasos de las ramblas o valles mencionados, y de ahí la designación de los mismos para la investigación geofísica, por el método eléctrico, cuyos resultados y conclusiones se dan a continuación:

II. La investigación eléctrica

Una vez conocidas las condiciones geográficas y geológicas de la zona a estudiar, se decidió que el método más adecuado para una investigación hidrológica detallada era el eléctrico de resistividades.

Con su empleo obteníamos dos importantes ventajas: facilidad de transporte y rapidez de manejo, que nos permitían reconocer la mayor extensión de terreno en el tiempo fijado para los trabajos.

Hemos seguido la norma de realizar nuestras exploraciones en puntos próximos a los núcleos de población, y posteriormente se han hecho algunos sondeos en puntos ya de interés más particular, con vistas a resolver, en lo posible, el problema del agua para los pueblos y campos.

Como consecuencia del estudio geológico que precedió a la investigación geofísica, se llegó a la conclusión de que, de existir agua subterránea, debería buscarse en los valles que se encuentran repartidos por toda la zona.

Éste es el motivo de que les hayamos dedicado la mayor parte del trabajo; no obstante, y aunque con muy pocas esperanzas de éxito, también se han ejecutado algunos sondeos profundos en diversos puntos, sin que se puedan dar unos resultados muy satisfactorios.

MÉTODO UTILIZADO.—Según hemos indicado, el método que encontramos más adecuado para el presente estudio fue el eléctrico de resistividades. Se utilizó en forma de sondeos eléctricos, con igual separación entre los cuatro electrodos o disposición de Wenner, pues las condiciones del terreno obligaban a emplear un método que diese la máxima sensibilidad posible, lo que se consiguió de esta forma.

Con los valores obtenidos se dibujan los gráficos correspondientes a cada sondeo, y de su interpretación han podido obtenerse ciertas consecuencias acerca de la constitución geológica del subsuelo.

APARATOS EMPLEADOS.—Se ha empleado el aparato «Siñeriz» de corriente continua, por ser el más adecuado de los que poseemos para medidas de resistividades aparentes en el terreno.

Utilizada la disposición de Wenner, hemos aplicado la siguiente fórmula, que da la resistividad aparente e del terreno:

$$e = 2 H a \frac{AV}{I}$$

siendo a la separación entre electrodos.

TRABAJO DE CAMPO.—Se han realizado 105 sondeos eléctricos llevados a profundidades comprendidas entre los 30 y 250 metros, con un total predominio de las primeras. Las medidas se efectuaron de metro en metro, lo que da aproximadamente un total de unas 3.200 medidas, sin contar con las que era preciso repetir para mayor garantía.

El trabajo ha sido importante, tanto por los datos recogidos, como por la extensión de terreno reconocida.

Ha habido que luchar con dificultades de orden material, como la sequedad del terreno superficial, que originaba una elevada resistencia de contacto en los electrodos,



con la consiguiente disminución de corriente, lo que hacía necesario clavar bastante los electrodos para conseguir buenas mediciones.

Sin embargo, las dificultades se resolvieron, obteniéndose los resultados que se expondrán a continuación.

Los sondeos eléctricos.

Para estudiarlos de un modo racional, los agrupamos por zonas, aunque para ello sacrificamos su orden numérico.

Generalmente, y para investigar los valles de un modo completo, se hicieron en forma de perfiles de dos o más sondeos transversales a la dirección general de las vaguadas. Estos sondeos, por tener una estrecha relación entre sí, también se estudiarán juntos, con objeto de dar una mayor uniformidad a todos los resultados que vayamos obteniendo.

Para cada zona se ha dibujado un plano horizontal en el que se han situado los sondeos eléctricos con su numeración correspondiente. Con este plano horizontal y la descripción que se da en el texto, es sencillo determinar sobre el terreno la situación de cada uno de dichos sondeos.

La línea de electrodos se tendió, siempre que esto fué posible, paralelamente a la dirección del valle, con objeto de mantener los electrodos dentro de un mismo terreno y eliminar irregularidades laterales que pudiesen falsear los resultados.

A) ZONA DE CANDASNOS.—Se estudió una franja de unos 10 Km. de longitud por un kilómetro de anchura orientada aproximadamente NO.-SE., en los barrancos de Valdepalao y de los Pozos, que están al NE. y SE., respectivamente, del pueblo de Candasnos.

En esta zona se hicieron los 22 sondeos eléctricos que describimos a continuación:

Sondeos eléctricos núms. 1, 2 y 3.—Los tres llegaron a los 30 metros de profundidad, con medidas efectuadas de metro en metro.

El sondeo núm. 1, está situado a 45 m. al E.-15°-N. del llamado Pozo de Capuz; el núm. 2, está junto al pozo, y el núm. 3 a 45 metros al O.-40°-S. del mismo pozo. El citado pozo está en el barranco del Valdepalao, entre la carretera de Barcelona y el camino de Candasnos a Ballobar, a unos 200 metros de este último camino.

Tiene unos seis metros de profundidad y dos metros de agua.

El estudio conjunto de los tres sondeos es muy interesante; en todos ellos se manifiesta la existencia de tres horizontes de conductividades bastante diferentes. El primero de ellos tiene una resistividad relativamente elevada; el segundo resistividad pequeña (de 35 a 40 Ω) y el tercero una resistividad comprendida entre las dos primeras.

El sondeo núm. 2, situado junto al pozo, acusa perfectamente la presencia del agua entre 3 y 3,5 metros de profundidad, correspondiendo con los valores pequeños de resistividad aparente, por estar el agua muy cargada de sales.

El sondeo núm. 1 parece indicar que el agua en este punto está algo más profunda, entre los 6 y los 12 metros de profundidad.

En el sondeo núm. 3 el agua es posible que se encuentre entre 5 y 10 metros de profundidad.

Sondeos eléctricos núms. 4, 5 y 6.—Se situaron en el barranco de los Pozos, en las proximidades del que ha dado nombre a este barranco y no lejos del sitio donde la

Obra Sindical «Colonización» va a situar unos huertos familiares. Este paraje está al E. del monte de San Bartolomé.

El sondeo núm. 4 está a 33 metros al O. del pozo; el número 5 al E. de este pozo y próximo a él, y el núm. 6 a 27 metros al E. del repetido pozo. Éste tiene 5,30 metros de profundidad y 3 metros de agua, lo que da para su nivel unos 2,30 metros desde la superficie.

Las curvas obtenidas son menos características que las anteriores y de difícil interpretación, lo que hace que los resultados que demos sean muy discutibles y con toda clase de reservas.

Una primera cosa salta a la vista: los valores tan pequeños de la resistividad aparente están de acuerdo con que el agua no sólo es mala, sino que impregna margas o arcillas yesosas.

Los diversos métodos de interpretación aplicados al sondeo núm. 5, indican sin seguridad, como situación del nivel acuífero, de 2,5 y 3,5 metros de profundidad.

Para el sondeo núm. 4 podríamos dar la profundidad de 4,5 metros para el techo de la capa, y para el núm. 6 unos 1,5 metros, pero sin que estas cifras nos ofrezcan muchas garantías.

Sondeos eléctricos núms. 7, 8 y 9. — Están también en el barranco de los Pozos; el núm. 8, a unos 525 metros aguas abajo del pozo antes citado; el núm. 7, a unos 30 metros al S. del núm. 8, y el sondeo núm. 9, a 30 metros al N. del núm. 8. Todos ellos tienen 30 metros de profundidad, con medidas hechas de metro en metro.

De la interpretación de cada una de las curvas se deduce que el agua se encuentra en los tres sondeos a unos cinco metros de profundidad, aunque con características diferentes.



INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA POR EL MÉTODO ELÉCTRICO EN LOS MONEGROS

SITUACIÓN DE SONDEOS

ZONA DE CANDASNOS Y VALFARTA-PEÑALBA. SONDEOS 1 al 64; 103, 104, 105



ESCALA 1:75.000

- Pozos
- Sondes electricos

Las razones conocidas y las bajas resistividades indican mala calidad del agua.

Sondeos eléctricos núms. 10 y 11.—Se situaron a unos 500 metros al S. de los tres anteriores y en el mismo barranco de los Pozos. El núm. 11 está a 20 metros al N. del núm. 10 y en la margen izquierda del barranco.

El sondeo núm. 10 indica la existencia de una capa superficial de agua. El núm. 11 acusa la misma capa, aunque con valores aparentes mucho menos acentuados.

Sondeos eléctricos núms. 12 y 13.—Están colocados en el barranco de Valdepalao, no lejos de un pozo para abreviar el ganado, situado a 135 metros al O. del Km. 44 de la carretera de Caspe a Selgua. El sondeo número 12 está a 45 metros al E. de dicho pozo, y el núm. 13 junto al mismo pozo. Ambos llegaron a los 30 metros de profundidad, con medidas de metro en metro, como de costumbre.

La interpretación de la curva núm. 12 indica un cambio a los 4 metros de profundidad. Los valores tan pequeños encontrados para la resistividad en la superficie, parecen indicar la presencia de arcillas yesosas o saladas y húmedas a poca profundidad.

El sondeo núm. 13 indica la existencia del agua a los 3,5 metros de profundidad, lo que coincide con los datos obtenidos en el pozo para ganado que se encuentra en ese punto. Este pozo tiene una profundidad de 6,5 metros con tres de agua, o sea que ésta se encuentra a los 3,5 metros, como indica el sondeo eléctrico.

Sondeos eléctricos núms. 14 y 15.—Están también en el barranco de Valdepalao, a unos 1.000 metros al SE. del número 13 y a corta distancia del camino viejo de las Foguetas. Están a unos 45 metros de separación el uno del otro, y su profundidad llegó, como de costumbre, a los 30 metros.

Las curvas obtenidas para ambos son muy semejantes, y la interpretación de ellas da una profundidad de 4 y 5 metros para el agua.

Sondeos eléctricos núms. 16 y 17.—También se situaron en el barranco de Valdepalao. El núm. 17 está a unos 300 metros al NNO. del Pozo Capuz, y el núm. 16 a 45 metros al E.-30°-N. del anterior y a unos 450 metros al SSE. del sondeo núm. 14. Tiene 30 metros de profundidad cada uno.

Las dos curvas son del mismo tipo, y recuerdan a la del sondeo n.º 2, ejecutado junto al pozo. En ambos puntos se debe encontrar agua a unos tres metros de profundidad y calidad análoga a la de todo el valle investigado.

Sondeos eléctricos núms. 63 y 64.—Su posición puede verse en el plano horizontal; el 63 está en el barranco de los Pozos, a unos dos kilómetros al SE. del núm. 10, y el núm. 64 a unos 135 m. al SE. del anterior y en un bancale de trigo. Desde el sondeo núm. 63 al borde de este bancale hay unos 83 metros.

Ambos sondeos tienen una representación gráfica que corresponde a un terreno casi uniforme, por lo que recomendamos los lugares de sus emplazamientos como interesantes para alumbrar agua a poca profundidad.

Sondeo eléctrico núm. 103.—Es uno de los más profundos que se han efectuado en toda la zona.

Llegó a los 250 metros de profundidad, realizándose medidas de 10 en 10 metros. Está a unos 700 metros al E.-25°-N. de la casilla de Peones Camineros que se encuentra a unos tres kilómetros de Candanos, cerca del Km. 45 de la carretera de Caspe a Selgua. A 100 m. del sondeo hay un corral, llamado de las Foguetas.

La curva representativa del sondeo es curiosa en su aspecto. Presenta dos tramos claramente definidos, con

resistividades marcadamente distintas. El primero llega hasta los 85 metros con valores comprendidos entre los 21,8 Ω /m. y los 31 Ω /m., con una media de unos 25 Ω /m.; en el segundo la resistividad aparente se mantiene con un valor medio de 12,5 Ω /m.

Sin que podamos dar grandes garantías de éxito, es posible que hacia los 85 metros de profundidad se encontrase agua, si bien, dadas las condiciones geológicas del terreno y teniendo en cuenta la conductividad bastante grande que presenta, hace abrigar pocas esperanzas respecto de su potabilidad.

Sondeo eléctrico núm. 104.—Su situación puede verse en el plano horizontal de esta zona; está también en el barranco de Valdepalao. Llegó a los 80 metros de profundidad, con medidas realizadas de 10 en 10 metros. De acuerdo con la curva, parece probable que hacia los 15 metros se encuentre un nivel acuífero.

Sondeo eléctrico núm. 105.—El punto donde se realizó este sondeo está a un kilómetro al N. del Km. 406,600 de la carretera de Madrid a Francia. No llegó más que a 20 m. de profundidad, efectuando las medidas de metro en metro.

Al interpretar la curva nos encontramos con que acusa un cambio hacia los 3,5 metros y otro a los 6,5 metros. Pudiera ser que se encontrase agua a esas profundidades, si bien los datos obtenidos no permiten afirmarlo.

b) ZONA DE LA VENTA DEL REY.—En esta zona se reconoció una extensión de terreno de un kilómetro cuadrado aproximadamente. Es una región donde se han hecho varios pozos para alumbrar agua subterránea, con poco éxito.

Veremos cómo la prospección eléctrica confirma estos desalentadores hechos. Se hicieron un total de seis sondeos eléctricos.

Sondeos eléctricos núms. 18 y 19.—Hacia el SO. de la

Venta del Rey hay un pozo, propiedad de don José Mola Mateu, que ha llegado a los 30 metros de profundidad y tiene una galería en dirección SO., de tres metros de longitud. Según un zahorí, allí se encontrará agua en mucha cantidad; lo cierto es que a esa profundidad el agua obtenida es bastante poca.

El sondeo núm. 18 se situó junto a dicho pozo, que está a unos 400 metros de la Venta del Rey, y el núm. 19, a 125 metros al O.-15°-S. del anterior. Un reconocimiento superficial permite darse cuenta de que el pozo se encuentra en la parte central de un valle, cubierto con una somera capa de acarros y derrubios. Debajo hay margas, arcillas y caliza en bancos alternantes; también se han encontrado yesos.

El estudio de los sondeos eléctricos permite llegar a las siguientes conclusiones: el agua está algo profunda, iniciándose la zona de humedad hacia los 22 metros; esta zona llega hasta los 26 metros aproximadamente y, por razones geológicas, no creemos que el caudal que se obtenga sea grande.

No obstante, para conseguir una superior superficie de captación puede recomendarse prolongar unos metros más la galería, que se encuentra a unos 26 metros de profundidad, ya que los cuatro metros restantes del pozo se utilizan como depósito. Además, a la misma profundidad que la anterior, convendría abrir otras dos galerías a 120° con la anterior.

Sondeo eléctrico núm. 20.—Se ha colocado a 200 m. al Norte del sondeo núm. 19 y a 20 metros al Sur del Hm. 5 del Km. 422 de la carretera general de Madrid a Francia. Como los dos anteriores, llegó a 60 metros de profundidad, con lecturas de dos en dos metros.

No parece este punto muy adecuado para efectuar un

alumbramiento de aguas. La resistividad aparente disminuye a partir de la superficie, para alcanzar un valor mínimo hacia los cinco metros y elevarse después de un modo progresivo.

La comparación de estas curvas con las obtenidas hasta ahora, nos permite llegar a la conclusión de que el contacto entre los derrubios y el terreno inferior está a unos tres metros. En profundidad no creemos se encontrará agua en cantidad apreciable.

Sondeo eléctrico núm. 21.—Lo situamos junto al Hm. 1 del Km. 423 de la carretera de Francia, frente a la Venta del Rey.

Las conclusiones a que llegamos son las mismas que en el anterior, salvo que la profundidad del contacto parece ser algo mayor, unos cuatro metros poco más o menos.

Sondeos eléctricos núms. 22 y 23.—Se colocaron al Norte de la Venta del Rey. El núm. 22 junto a un pozo de 20 m. de profundidad, con una galería de 18 m. de longitud y dirección N. El tal pozo está a unos 400 m. al N.-15°-O. de la repetida Venta del Rey.

En cuanto al sondeo núm. 23, está a 250 m. al N.-3°-E. del pozo y sondeo n.º 22. También llegamos en ellos a los 60 m. de profundidad, con medidas de dos en dos metros.

La interpretación de estos dos sondeos no es tarea fácil, pero la conclusión a que llegamos es que en ninguno de los dos puntos es probable la existencia de agua a profundidades inferiores a 60 metros.

Estudios comparativos de los sondeos 20, 21, 22 y 23. Independientemente de lo expuesto en los anteriores párrafos, un estudio comparativo de los cuatro sondeos llama la atención un hecho curioso. En todos ellos, y hacia su parte extrema, hay un máximo para el valor de la resistividad aparente.

De encontrar tal cosa en un sondeo aislado, nada hubiéramos podido deducir y la hubiéramos despreciado como cosa sin importancia. La repetición en todos estos sondeos, pese a estar alejados unos de otros y a profundidades semejantes, hace podamos llegar a alguna conclusión que, no obstante, sólo podemos dar con algunas reservas.

La anomalía se encuentra en el sondeo núm. 20, a los 57 m.; en el núm. 21, a los 47 m.; en el núm. 22, a los 53 m., y en el núm. 23, a los 52 m. Normalmente, las rocas que cabe esperar encontrar en profundidad son margas y arcillas con alguna capa caliza, y excepcionalmente areniscas, que hemos visto aflorar en algunos puntos denudados por la erosión.

Lo más probable, en nuestra opinión, es que a las profundidades indicadas, que son solamente aproximadas, se encuentre un banco de calizas que, por ser algo potentes y de resistividad superior a las rocas que la rodean, han hecho sentir su influencia en la curva. En este caso pudiera encontrarse algo de agua en las calizas si éstas están fisuradas y han tenido una superficie de captación que, realmente, no vemos cerca de la zona. Por eso no es aconsejable llegar a esa capa ante una problemática esperanza de obtener buenos resultados.

c) ZONA DE VALFARTA-PEÑALBA (BARRANCOS DEL REGUERO Y VALCUERNA).—En ella se verificó un minucioso reconocimiento del barranco del Reguero y su continuación, que lleva el nombre de Valcuerna, en una extensión de unos 22 Km., desde el N. de Valfarta hasta el Km. 35 de la carretera de Caspe a Selgua. Se hicieron 39 sondeos eléctricos, con 30 metros de profundidad.

Sondeos eléctricos núms. 24 y 25.—Al N. del pueblo de Valfarta, y a unos dos kilómetros del mismo, hay un pozo

próximo al llamado Mas del Pepeto, de unos seis metros de profundidad, con agua a los tres o cuatro metros, variable con el grado de agotamiento a que se ha llegado con una bomba que funciona con un motor de 15 caballos. Tiene varias galerías de captación.

Como en la época en que se hicieron las observaciones estaba el motor en marcha, es de esperar que las conclusiones a que lleguemos sean un poco susceptibles de variación.

El sondeo núm. 24 se situó a 14 m. al N. de la caseta del pozo, cuyas galerías son descubiertas y de dirección prácticamente E.-O. En cuanto al núm. 25, está a unos 55 m. al S. del anterior.

La forma de las curvas representativas de ambos sondeos es algo diferente en su parte inicial. Pese a ello, en el sondeo núm. 24 se observa un cambio posiblemente debido a la presencia del agua subterránea hacia los tres metros, y en el n.º 25 un cambio análogo a los cuatro metros.

Los valores de la resistividad en el sondeo 24 son algo superiores a los del núm. 25 para las profundidades indicadas, lo que pudiera ser debido a una menor salinidad del agua en el primer punto.

Sondeos eléctricos núms. 26 y 27.—Tienen ambos 30 m. de profundidad de investigación y, de ellos, el número 26 está a 300 m. del núm. 24, y aguas abajo del barranco del Reguero, en el llamado Monte Sena, y a 40 m. al N. del manantial El Tollo.

En cuanto al núm. 27, está junto a ese manantial y, por tanto, a 40 m. al S. del sondeo núm. 26.

La forma de ambos sondeos, de un paralelismo sorprendente, pese a haberse efectuado a 40 metros de distancia, pone de manifiesto la semejanza del terreno en ambos puntos. La interpretación no es sencilla, pero pa-

rece indicar que el agua es bastante superficial en los dos sitios, si bien la conductividad grande del terreno más próximo a la superficie hace pensar en un agua muy salina y de poca utilidad práctica.

Sondeos eléctricos núms. 28, 29 y 30.—El sondeo número 28 dista 1.000 metros aguas abajo del núm. 27 y unos 300 metros al O.-30°-S. de la casa Reguero, en el barranco de este mismo nombre. El núm. 29 está a 20 m. al S. del núm. 28 y junto al manantial que hay en esa zona, a 120 m. al N.-30°-E. del sondeo núm. 28.

Las gráficas de los sondeos 28 y 29 muestran bastante paralelismo, ya que los valores de la resistividad aparente de la superficie, influenciados por multitud de factores perturbadores, no hay que tenerla en cuenta.

El agua, en ambos sondeos, debe estar a unos 5 m. de profundidad, sostenida por margas impermeables, y por eso el contacto tiene una resistividad aparente bastante baja.

En cuanto al sondeo núm. 30, que, pese a estar próximo a los otros, tiene una forma bastante diferente, las consecuencias a que llegamos son también algo distintas. Su forma es semejante a la del sondeo núm. 24, con la diferencia de que en el que estamos estudiando la resistividad es inferior. Podemos, pues, llegar a la conclusión de que aquí el agua debe ser algo peor que la del pozo próximo al sondeo 24; respecto a su profundidad, opinamos que en este punto debe ser de unos cuatro metros.

Sondeos eléctricos núms. 31 y 32.—Ambos están en el barranco del Reguero, como todos los que estamos describiendo; el núm. 31 a 1.000 m. aguas abajo del núm. 28 y el núm. 32 a 30 m. al S. del anterior.

Las curvas representativas, si bien recuerdan el caso de dos capas de resistividades parecidas, aunque superior

la de la más superficial, no admiten una interpretación digna de mucho crédito.

Tenemos la impresión de que en ambos puntos el agua está bastante superficial y muy saturada de sales; la roca que la sostiene es arcilla también húmeda, y como ambas complejas tienen resistividad análoga, de ahí la forma de ambas curvas.

Sondeos eléctricos núms. 33 y 34.—El sondeo núm. 33 está a 1.000 m. aguas abajo del sondeo núm. 32, y el número 34 a 45 m. al S. del núm. 33. Como siempre, estamos en El Reguero y los sondeos tienen 30 m. de profundidad individual, con medidas hechas de metro en metro.

Las curvas, casi representativas de un terreno uniforme, indican también la existencia de aguas próximas a la superficie, aunque sin que sea posible determinarlo con seguridad. Este hecho coincide con la existencia de gran número de juncos en los alrededores de los sondeos, especialmente del núm. 33.

Sondeos eléctricos núms. 35 y 36.—El sondeo núm. 35 está aproximadamente a un kilómetro al E. del núm. 34, y el sondeo núm. 36 a unos 30 metros al S. del anterior. Ambos son de 30 m. de profundidad.

En ellos se manifiesta el cambio, posiblemente debido a la existencia del agua, a los cuatro metros de profundidad. Ambos sondeos son muy semejantes y es sorprendente que en ambos la profundidad encontrada sea la misma.

La identidad de los sondeos es garantía de que el trabajo se ha ejecutado a perfección, respondiendo los aparatos fielmente. Indican, además, que las anomalías encontradas no son debidas a efectos laterales, sino a cambios reales en profundidad.

Sondeos eléctricos núms. 37 y 38.—Continuando la in-

vestigación en el valle del Reguero, se colocaron estos sondeos en los puntos siguientes: el número 37, a un kilómetro al SE. del núm. 36, y el núm. 38 a 30 m. al O.-30°-S. del anterior.

Las curvas son algo diferentes, pues si bien en el sondeo núm. 37 indican la existencia de una primera capa muy conductora situada sobre otra, también conductora pero algo menos que la anterior, el núm. 38 indica todo lo contrario: que la capa inferior es más conductora que la de la superficie.

El agua, de existir, debe encontrarse a unos cuatro metros de profundidad en ambos puntos.

Sondeos eléctricos núms. 39 y 40.—El primero de ellos se encuentra a 1.000 m. al S.-35°-E. del núm. 38 y en la margen derecha del barranco; en cuanto al núm. 40, está a 30 m. del núm. 39, al O., sobre igual terreno que el anterior.

Las dos curvas son iguales y con valores análogos para cada punto. Sin embargo, la resistividad obtenida es tan pequeña que creemos totalmente desprovistos de interés estos puntos para efectuar en ellos una captación de agua subterránea.

Sondeos eléctricos núms. 41 y 42.—Siempre aguas abajo del Reguero, se situó el sondeo núm. 41 a un kilómetro al S.-39°-E. del núm. 40 y en la margen derecha del citado barranco.

En cuanto al núm. 42, lo colocamos a 30 m. al O.-30°-S. del núm. 41. Ambos sondeos, y todos aquellos en que no digamos otra cosa, tienen 30 m. de profundidad, haciéndose las medidas cada metro.

Las mismas indicaciones que hemos hecho para los sondeos núms. 39 y 40, pueden aplicarse a éstos.

Sondeos eléctricos núms. 43 y 44.—Para situar el son-

deo núm. 43 se eligió un pozo situado a 1.200 m. al S.30°E. del sondeo núm. 42. Este sondeo tiene cinco metros de profundidad, con dos metros de agua. El núm. 44 está a 50 metros al S.-30°-O. del anterior.

Es curioso que las dos curvas sean diferentes, pese a la proximidad de los puntos de emplazamiento de los sondeos. En la primera de ellas (sondeo núm. 43) se aprecia claramente una variación hacia los 3,00 ó 3,50 m. de profundidad, que pudiera ser debida a la existencia de agua en ese punto. En cambio en el otro, con valores inferiores para la resistividad aparente hasta los 17 m., no se manifiesta la misma anomalía.

Sondeos eléctricos núms. 45 y 46.—Están a poca distancia de las parideras de Magi (unos 300 m. al O.), y el núm. 45 a 1.000 m. aguas abajo del sondeo núm. 44. El número 46 dista 45 m. al O. del anterior.

La forma de las curvas es ya algo parecida a las representaciones de la zona, que indican la existencia de una zona superficial relativamente poco conductora, situada sobre otra de resistividad algo menor.

Aquí los acarreo superficial, según da la interpretación de los dos sondeos, deben tener en ambos puntos unos 3 metros de espesor y tienen debajo las arcillas de poca resistividad, posiblemente algo yesíferas. El agua está en el contacto de ambos terrenos.

En todo este barranco, que tiene un substratum impermeable, el agua debe discurrir por el cauce subálveo del valle en dirección S., apareciendo en la superficie junto al Km. 35 de la carretera de Caspe a Selgua, formando entonces el llamado Arroyo de Valcuerno.

Sondeos eléctricos núms. 47 y 48.—El núm. 47 está a 1.000 metros al S.-35°-E. del sondeo núm. 46, y el núm. 48 a 80 metros al S.-30°-O. del anterior.

Tienen un aspecto semejante a los anteriores, pero más acentuado. En estos puntos el agua debe estar a unos cuatro metros de profundidad.

Sondeos eléctricos núms. 49 y 50.—Están próximos al pueblo de Peñalba; de ellos el núm. 50 se situó a unos 200 metros al N.-30°-E. de la esquina NE. del cementerio de este pueblo y a un kilómetro al SSE. del sondeo número 48. El sondeo núm. 49 está a 20 m. al E. del anterior.

Las curvas conservan la forma habitual, aunque algo distorsionadas. Indican que la capa superficial es poco conductora, relativamente, y la inferior arcillosa, de una resistividad aparente bastante inferior.

El posible nivel acuífero en los dos puntos parece estar a igual profundidad, unos cuatro metros.

Sondeos eléctricos núms. 51 y 52.—Se situó el primero a 100 metros al N. del puente que, a la salida de Peñalba, hay en la carretera de Madrid a Barcelona. El sondeo número 52 está a 100 metros al S. del citado puente, o sea a 100 metros del núm. 51.

La interpretación de ambas curvas indica que en el sondeo núm. 51 el agua debe estar a unos cinco metros de profundidad, y en el núm. 52 a 4,50 metros aproximadamente.

Sondeos eléctricos núms. 53 y 54.—Siguiendo el reconocimiento del Reguero en dirección S., fijamos el sondeo número 53 a un kilómetro al SE. del núm. 52, y el número 54 a 40 metros al S. del anterior. Ambos tienen 30 metros de profundidad.

En el primero de ellos se manifiesta un nivel húmedo a los tres metros de profundidad.

En el segundo es posible que el agua esté algo más superficial, pero no consideramos interesantes, desde el punto de vista hidrológico, ninguno de los dos sondeos.

Sondeos eléctricos núms. 55 y 56.—Cerca de la caseta de Valcuerna, y unos 200 metros al N. de la misma, están estos dos sondeos.

El primero dista un kilómetro al S.-45°-E. del núm. 54, y el otro 30 m. al S.-45°-O. del núm. 55 y en la margen derecha del barranco.

Como la resistividad encontrada es muy pequeña, lo que indica aguas muy salobres, creemos que los dos puntos de ubicación de los sondeos no tienen ningún interés hidrológico.

Sondeos eléctricos núms. 57 y 58.—El sondeo núm. 57, debido a los muchos matorrales y agua estancada, no pudo situarse en el mismo regazo, haciéndolo a 20 metros al SO. del mismo.

Está a una distancia de 1.000 m. en dirección S.-45°-E. del sondeo núm. 56. El sondeo núm. 58 dista 30 metros al S.-45°-O. del anterior.

Desde el S. de Peñalba, el barranco del Reguero toma el nombre de Valcuerna, y en él es donde se van situando todos estos sondeos. Los puntos en que se han hecho los sondeos carece, en nuestra opinión, de interés hidrológico.

Sondeos eléctricos núms. 59 y 60.—A 1.450 metros del sondeo núm. 58, medidos en dirección E.-45°-E., se colocó el sondeo número 59 en la orilla derecha del valle; el sondeo núm. 60 está a 30 m. al S. 45° O. del anterior.

A ambos podemos aplicarles lo dicho anteriormente: no creemos que en estos puntos deba hacerse ninguna labor con vistas a la captación de agua subterránea.

Sondeos eléctricos núms. 61 y 62.—Son los más meridionales de la zona que estamos estudiando.

El núm. 61 se situó a 45 metros al NO. del puente existente junto al Km. 25 de la carretera de Caspe a Selgua, y el núm. 62 a 20 metros al S. del anterior.

También estos dos puntos están desprovistos de interés hidrológico.

Desde aquí hacia el S. juzgamos inútil seguir el estudio, porque en el punto donde nace el arroyo las aguas son extraordinariamente malas y su captación desprovista de interés.

D) ZONA DE CASTEJÓN DE MONEGROS.—Comprende una extensión de unos dos kilómetros de longitud, orientada de NO. a SE., en las proximidades del pueblo de Castejón de Monegros.

Se hicieron un total de 16 sondeos eléctricos, todos ellos de 30 m. de profundidad, efectuando las medidas de la resistividad aparente de metro en metro. A continuación describimos e interpretamos cada uno de los sondeos:

Sondeos eléctricos núms. 65 y 66.—El sondeo número 65 lo situamos a ocho metros al N. de la fuente pública que surte de agua al pueblo de Castejón. Esta fuente está en el punto donde convergen la Val de Castejón, la Val de Chuberga y la Val del Carro. Tiene dos galerías, una de siete metros en dirección E.-40°-N. y otra de 30 m. y dirección O.-35°-S. Una tubería de 1.500 metros conduce agua al pueblo.

El sondeo núm. 66 se encuentra a 30 metros en dirección O.-35°-S. de la fuente, en el punto donde nace la mayor cantidad de agua.

El estudio de los sondeos pone de manifiesto que ambos puntos son buenos para una captación de agua subterránea, que posiblemente daría un caudal aceptable.

Las curvas indican la existencia de dos capas, de comportamiento diferente al paso de la corriente eléctrica. La primera de ellas y más superficial es poco conductora, en tanto que la infrayacente tiene una resistividad no muy elevada.

Un pozo en el punto correspondiente al sondeo número 66 debería llegar a los cinco metros, y en el del sondeo número 65 a los cuatro metros por lo menos, y sería conveniente prolongarlos hasta los 11 y 9 metros, respectivamente. Su calidad no parece ser excesivamente mala, dados los valores de la resistividad aparente.

Sondeos eléctricos núms. 67 y 68.—Los dos se han colocado en el barranco del Carro; el primero de ellos a 500 metros al N.-30°-O. del sondeo núm. 66, y el segundo a 45 metros en dirección O.-30°-S. del anterior.

A pesar de su proximidad, las curvas son algo diferentes, lo que nos hace temer que la primera de ellas esté algo influenciada por alguna irregularidad lateral. Por esta razón damos su interpretación con un poco de cautela.

El estudio del sondeo núm. 67 pone de manifiesto la existencia de un punto característico a los 10 metros, lo que nos indica que un pozo en ese punto debería llegar hasta esa profundidad.

En cambio, en el sondeo núm. 68 encontramos dos variaciones características a los 3 y a los 12 metros.

No nos atrevemos a decir que el agua está en ese punto a los tres metros, aunque no debe ser muy profunda; por eso aconsejamos que, de hacer un pozo en dicho punto, se prolongue hasta los 12 metros, pues tal vez sea el procedimiento para obtener el rendimiento máximo.

Sondeos eléctricos núms. 69 y 70.—El emplazamiento de los dos está en el Val del Carro, ya cerca de donde se inicia. El sondeo núm. 69 dista 300 metros en dirección N.-30°-O. del núm. 68, y el núm. 70 a 30 metros al E. del anterior.

El primero se situó junto a un pozo de nueve metros con 3,5 m. de agua, lo que da para ésta una profundidad de 5,5 metros.

Las curvas representativas de los dos sondeos eléctricos, de un gran paralelismo, indican que las condiciones del subsuelo, en ambos puntos, son muy semejantes.

La interpretación de ellos indica que la profundidad del agua debe ser de unos seis metros, lo que no discrepa mucho de la realidad y es un dato que nos comprueba las diversas interpretaciones que vamos efectuando.

Sondeos eléctricos núms. 71 y 72.—A la Val del Caño desemboca otra, llamada de la Gitana, y en esta última fue donde fijamos los sondeos núms. 71 y 72. De los dos, el primero está a 300 m. al N.-25°-O. del pozo antes citado, es decir, del sondeo n.º 69. El otro, o sea el n.º 72, se encuentra a 20 m. al O. del n.º 71. No llegaron más que a los 20 m. de profundidad, realizándose cada medida de metro en metro.

A corta distancia de los sondeos existe un manantial, de poco caudal, cuyas aguas brotan y discurren por la superficie del suelo. Los sondeos indican que el agua, en dichos puntos, es bastante superficial y, aunque la interpretación no es muy exacta, creemos que se debe encontrar a unos dos metros de profundidad.

Sondeos eléctricos núms. 73 y 74.—Éstos y los que les siguen se encuentran al O. y S. de Castejón de Monegros y a poca distancia del pueblo. El sondeo n.º 73 se situó a 850 m. al S.-20°-E. del nacimiento de la fuente pública de que se abastecen los habitantes del lugar y en el sitio donde han de ir los Huertos Familiares.

El sondeo n.º 74 está a 30 m. al O. del anterior y también en los Huertos Familiares.

Los dos se encuentran en el llamado Paso de la Varella, en la Val de Lanaja.

Al analizar las curvas se pone de manifiesto la existencia de tres capas, de las que la central es la menos conduc-

tora. El agua, tanto en uno como en otro sondeo, y de acuerdo con los valores obtenidos para la resistividad aparente en los dos puntos, no parece ser muy mala y posiblemente utilizable para bebida y con fines agrícolas; claro está que esto no se puede asegurar.

Desde luego, creemos aconsejable la perforación de un pozo en cualquiera de esos puntos, con profundidad de unos 10 m., que es la probable del agua. No obstante, y una vez llegados a dicha profundidad, tal vez convenga proseguir la excavación y hacer varias galerías de captación. En principio podemos adelantar que dos galerías, en dirección transversal al valle, incrementarían bastante el caudal.

Sondeos eléctricos núms. 75 y 76.—El sondeo núm. 75 se halla enclavado en terrenos de la viuda de Vicente Aviión, a 300 m. al SE. del núm. 73. El otro está a 30 metros al O. del núm. 75 y en los Huertos Familiares. Los dos tienen 30 metros de profundidad aproximada de investigación, habiéndose efectuado las lecturas de metro en metro.

Desde luego, no podemos decir de ellos lo mismo que de los anteriores, puesto que, si bien el agua parece estar más superficial, su calidad parece peor, por lo que no es aconsejable la ejecución de un pozo.

Sondeos eléctricos núms. 77 y 78.—El sondeo núm. 77 se encuentra a 350 m. al SE. del núm. 76, en los Huertos Familiares y en terrenos del hortelero Urcia, y el núm. 78 a 30 m. al O.-30°-S. del anterior, también en los Huertos Familiares y junto al camino viejo de Pina.

En los dos puntos existen análogas condiciones en el subsuelo, siendo preciso buscar el agua hacia los siete metros de profundidad.

No obstante, hay que tener alguna precaución para

hacer pozos en estos puntos, ya que no parece poseer tan buenas condiciones como los sondeos núms. 73 y 74.

Sondeos eléctricos núms. 79 y 80.—Nos encontramos ya en la parte meridional de Castejón, junto al camino de Almolda y al N. del cementerio del pueblo. El primero de estos sondeos se halla en terrenos de don José Soler, a 500 m. al SE. del sondeo núm. 78, y el segundo a 30 m. al O.-35°-N. del núm. 79. Como de costumbre, llegamos en ellos a una profundidad de investigación de unos 30 metros.

El paralelismo de las curvas de resistividad aparente indica que en los dos lugares las condiciones son similares.

La interpretación da como profundidad del agua en ambos sondeos la de nueve metros, lo que está de acuerdo con la realidad, pues a poca distancia de ellos existe un pozo en el que se encuentra el agua a esa profundidad.

La calidad de dichas aguas no parece ser muy mala, lo que las hace utilizables para muy variados usos.

b) *ZONA DE ALCUBIERRE (VALDECARNICERO).*—Hacia el NO. de Alcubierre, y en la zona de Valdecarnicero, hicimos 10 sondeos eléctricos de 30 m. de profundidad, para reconocer una extensión de unos dos kilómetros de longitud.

Estos sondeos están numerados de 81 a 90, ambos inclusive. Además, se hicieron otros dos cerca de la Balsa de Pina.

Sondeos eléctricos núms. 81 y 82.—Los hemos situado unos 200 m. al O. del Km. 61,300 de la carretera de Bolca a Sariñena. El núm. 81 está en la partida El Júcar, propiedad de don Luis Casa-Mayor Cajal, junto al pozo de seis metros de profundidad y cinco de diámetro existente en dicha finca. El sondeo núm. 82 lo colocamos a 15 metros al S.-30°-E. del anterior.

El agua en ambos puntos está a los cinco metros de profundidad, lo que está de acuerdo con los resultados obtenidos al abrir el mencionado pozo. El caudal es de unos 3.600 litros por hora. Para aumentar la superficie de captación en dicho pozo recomendamos el emboquillamiento de una galería en dirección SO., de una longitud que estará supeditada a los resultados que se obtengan.

En su parte final deben hacer dos galerías de dirección opuesta y de poca longitud, normales a la anterior.

Sondeos eléctricos núms. 83 y 84.—El primero se encuentra en las tres parcelas de los Huertos Familiares, en el también llamado Valdecarnicero, habiendo situado el núm. 84 a 25 m. al S. del sondeo núm. 83, también en los Huertos Familiares. Al O. de los dos sondeos hay un corral que lleva el nombre de Corral de Solana.

Las curvas de resistividad para los dos puntos indican que el agua se encuentra entre los seis y ocho metros, aunque no es probable que haya gran cantidad.

Sondeos eléctricos núms. 85 y 86.—Sin salir de los Huertos Familiares, fijamos el punto donde se debía ejecutar el sondeo núm. 85, y a 100 m. al E. del núm. 84, en tanto que el del núm. 86 lo establecimos a 25 metros al Sur del anterior.

También las curvas representativas de estos dos sondeos indican que el agua se encuentra a los siete metros aproximadamente.

Sondeos eléctricos núms. 87 y 88.—El primero de ellos se encuentra a 100 m. al E. del sondeo núm. 86 y el segundo a 25 m. al S. de éste, ambos en los Huertos Familiares. Los dos, como de costumbre, tienen 30 m. de profundidad. La interpretación de dichos sondeos nos hace pensar que el agua en estos puntos está a unos nueve metros, aunque ninguno de los dos parece adecuado para situar un pozo.

Sondeos eléctricos núms. 89 y 90.—Éstos son los dos últimos sondeos efectuados en los Huertos Familiares, próximos a Alcubierre. El núm. 89 se encuentra a 100 m. al E. del 88 y el núm. 90 a 25 metros al S. del sondeo número 89.

Las dos curvas indican igualdad de condiciones geológicas en ambos lugares. El agua posiblemente se encontrará a los siete metros en dichos puntos.

Sondeos eléctricos núms. 91 y 92.—Al S. de Alcubierre, y a unos tres kilómetros de dicho pueblo, hay una balsa que llaman Balsa de Pina. Cerca de esta balsa, en el barranco de los Manantiales, colocamos los dos sondeos núms. 91 y 92. El primero de ellos está en el cauce del barranco, 100 m. al E.-30°-S. de la citada balsa. El segundo está a 10 m. al O. del anterior.

En estos lugares, aunque hay agua a poca profundidad, creemos que en mayor cantidad debe estar hacia los ocho metros. Para su captación puede hacerse un pozo, con el inconveniente de tener que elevar sus aguas por procedimiento mecánico o bien emboquillar una galería a una cota inferior a dichos sondeos, en la que el agua saldría por su pie.

F) ZONA DE LANAJA.—En ella se hicieron diversos sondeos al S. y SE. del pueblo y un poco alejados del mismo (unos cuatro kilómetros). Comprende un total de ocho sondeos eléctricos con profundidades de 30 metros.

Sondeos eléctricos núms. 93 y 94.—En una finca que tiene don Juan Mariano Verdún, al SE. de Lanaja, hay tres pozos de diámetros respectivos 3,8, 4 y 3,5 m., a corta distancia unos de otros, que dan agua abundante.

A 10 m. al O. del pozo central se colocó el sondeo 93, en tanto que el núm. 94 está a 23 m. al E. del anterior.

Del examen de las curvas de resistividades se despren-

de que en los dos puntos donde se han situado los sondeos las condiciones geológicas son diferentes.

En el primero de ellos se aprecia que el agua se encuentra hacia los siete metros, aunque hay indicios de ello a menos profundidad, lo que está de acuerdo con la realidad. En el otro, en cambio, no creemos que haya agua, o al menos, si la hay, es en pequeña cantidad.

Para aumentar la cantidad de agua de los pozos ya existentes, conviene, además de enlazarlos por medio de unas galerías, emboquillar otra en el pozo más meridional y también con dirección Este.

Sondeos eléctricos núms. 95 y 96.—En la finca «La Val», propiedad de D. Jesús Abad, hay otros tres pozos de 8 m. de profundidad, con agua abundante. A 15 m. al SO. del pozo central se situó el sondeo núm. 95, haciendo lo mismo con el núm. 96 en dirección N.-30°-E. e igual distancia.

En ellos se pone de manifiesto que los pozos no están mal situados, ya que la curva da, para el primero de los sondeos, una profundidad de nivel hidrostático de unos 8 m., en tanto que en el otro dudamos de que haya agua.

Para incrementar la captación en los pozos existentes, conviene hacer una galería en su fondo y dirección SE.

Sondeos eléctricos núms. 97 y 98.—Están en la finca «El Grallar», propiedad de D. Antonio Latorra, a unos 300 m. de la carretera de Lanaja a Pallaruelo, no lejos del Km. 17 de esta carretera. El sondeo núm. 97 está junto al pozo de 11 metros existente en dicha finca, y el núm. 98 a 15 m. al E. del anterior. Su profundidad fue de 24 metros, con medidas de metro en metro.

El estudio de las curvas pone de manifiesto que en la superficie existe una zona de gran resistividad, sostenida por otra en que la conductividad es algo superior. Efecti-

vamente, en estos sondeos el agua se manifiesta a partir de los 11 m. de profundidad, por lo que es recomendable continuar unos metros más la perforación, aunque sin grandes esperanzas de obtener gran caudal.

g) ZONA DE PALLARUELO DE MONEGROS (REGUERO BANZO).—Se realizaron cuatro sondeos en el barranco de las Viñas, que en el pueblo llaman Reguero Banzo, junto a un manantial allí existente. Los sondeos están numerados del 99 al 102.

Sondeos eléctricos núms. 99, 100, 101 y 102.—Los dos primeros distan entre sí 10 m.; se situaron junto al manantial que existe en este reguero y los otros dos también a poca distancia uno de otro, a 90 metros al NE. de los anteriores.

Todos ellos indican que el agua está en esta zona a poca profundidad, por lo que es aconsejable la ejecución de varias zanjas, en vez de pozos, con lo que se aumentaría bastante la captación.

III. Conclusiones

La deducción más importante del estudio efectuado, es que el problema hidrológico de la zona recorrida en Los Monegros, que principalmente es la del Sur, es de difícil solución.

Las demás conclusiones del mismo, son las siguientes:

1.^a Las mejores aguas que es posible alumbrar, salvo excepción, de interés local, son semejantes a las del pozo Valfarta, cuyo análisis indica 125° hidrotimétricos, y además con gran cantidad de yeso. El agua de este pozo mejora cuando se aumenta el gasto; pero a lo más, se puede emplear para dar de beber al ganado y regar la tie-

rra, con el grave inconveniente de inutilizarla al cabo de los años, por sus aportaciones salinas.

El Reguero, que va desde Val de Castejón a Valcuerna, desciende hacia el Ebro, pasando por Valfarta y Peñalba, con un recorrido de 28 Km. Sus aguas, salvo algunas excepciones, son del tipo de las que acabamos de mencionar.

En su largo recorrido, los 39 sondeos eléctricos ejecutados indican un nivel acuífero comprendido entre los 4 y 10 m., profundidad cuyo nivel aparece en la superficie una vez pasado Peñalba, cerca del Km. 35 de la carretera de Caspe a Selgua, formando entonces el llamado arroyo de Valcuerna.

Este nivel acuífero, que a pesar de sus defectos es de gran utilidad, se le encuentra también en varios valles angostos, pero de gran recorrido, cubierto por una capa de pocos metros de terreno cuaternario.

La apertura de pozos en los lugares correspondientes a los sondeos eléctricos que se indican después, solucionaría en parte el riego de los terrenos que están por debajo de sus respectivas curvas de nivel. Este nivel ha sido localizado por numerosos sondeos eléctricos, que han indicado hallarse el agua a profundidades de 3 a 5 metros.

2.^a Los lugares recomendables para alumbrar este tipo de agua son los sondeos: 1, 10, 19, 29, 33, 35, 43, 51, 64, 65, 66, 67, 69, 71, 74, 78, 80, 81, 84, 86, 90, 91 y 105.

3.^a Algunos sondeos eléctricos que alcanzaron mayor profundidad, demuestran la existencia de contactos de horizontes diferentes, donde se podría esperar alguna acumulación acuífera. No recomendamos, sin embargo, las labores necesarias para confirmarlo, porque siendo yesoso uno de los horizontes en contacto y el otro muy arcilloso, parece poco probable la existencia de agua en cantidad aprovechable, sobre todo cuando se encuentra a

profundidades del orden de 85 m., como sucede en el sondeo núm. 103. Además, aunque esa cantidad de agua fuese de consideración, es de esperar que sería de una calidad aún peor que la del mencionado pozo de Valfarta.

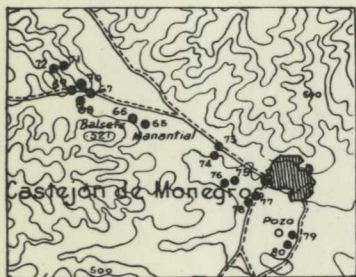
* * *

La parte septentrional de la zona de Los Monegros no ha sido aún estudiada suficientemente y quizá fuese conveniente una investigación complementaria, aunque no abrigamos muchas esperanzas de éxito.

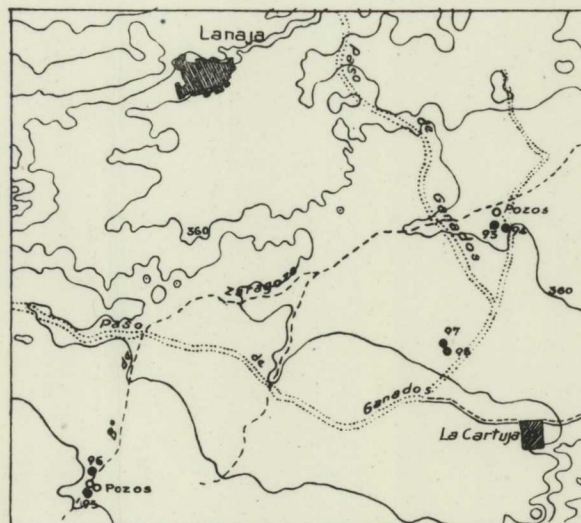
Aunque sólo es de interés local, mencionaremos que en el manantial que abastece la villa de Castejón de Monegros se emboquillaron dos galerías de avenamiento; una de 7 m. de longitud con dirección E.-35°-S., que se encuentran algo desquiciadas. Saneando esta galería y aumentando su longitud en unos 20 m. para después abrir en su parte final dos galerías de 5 m., perpendiculares a la principal, aumentaría su caudal en cantidad apreciable. Lo mismo sucedería en el término municipal de Lanaja, en las tres fincas denominadas La Huerta y La Val, uniendo por medio de una galería los tres pozos existentes y prolongando aquélla, además, unos 20 metros en dirección E. y SE., respectivamente.



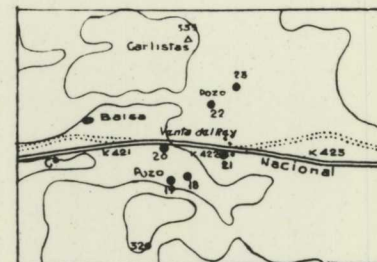
SITUACIÓN DE SONDEOS



ZONA DE CASTEJO DE MONEGROS
SONDEOS 65 al 80



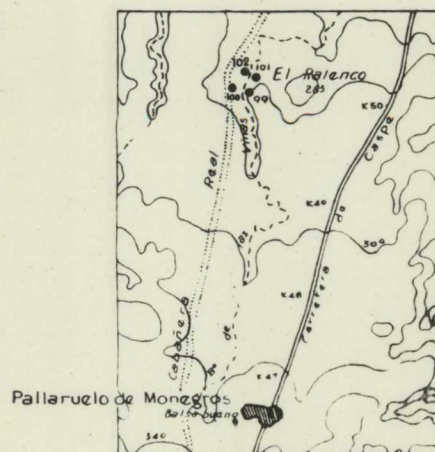
ZONA DE LANAJA
SONDEOS 93 al 98



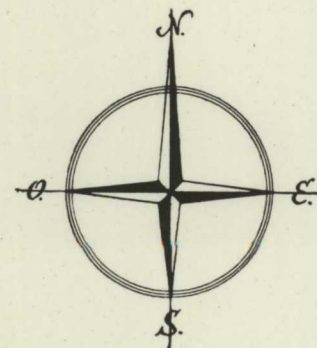
ZONA DE VENTA DEL REY
SONDEOS 81 al 92



ZONA DE ALCUBIERRE (Valdecarnicero)
SONDEOS 81 al 92



ZONA DE PARALIUELO de MONEGROS
SONDEOS 99 al 102

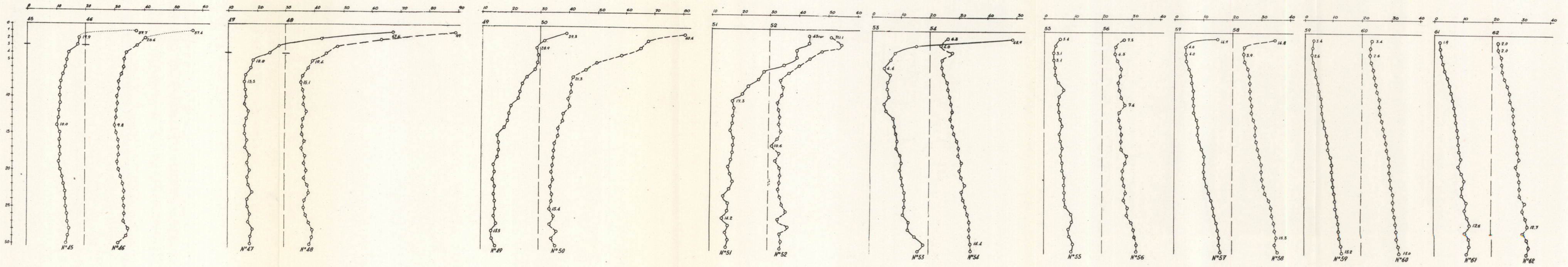


○ Pozos
● Sondeos electricos



INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA POR EL MÉTODO ELÉCTRICO EN LOS MONEGROS

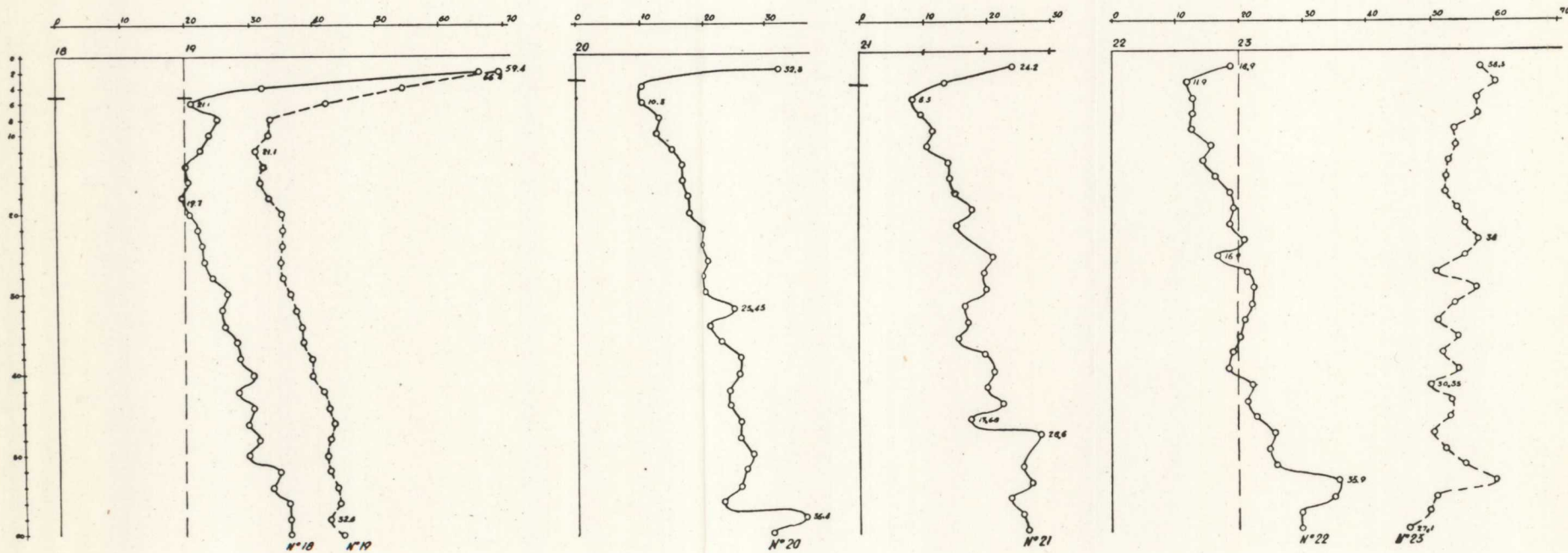
SONDEOS ELÉCTRICOS
ZONA VALFARTA-PEÑALBA
2.^a



INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA POR EL MÉTODO ELÉCTRICO EN LOS MONEGROS

SONDEOS ELÉCTRICOS

Zona de Venta del Rey



CAPÍTULO X

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA, POR EL MÉTODO ELÉCTRICO, EN LOS LLANOS DEL MARQUESADO (GRANADA)

La investigación eléctrica realizada en Los Llanos del Marquesado, cerca de La Calahorra, ha sido consecuencia de las indicaciones hechas en una Memoria del ingeniero D. Manuel Pastor Mendivil, Vocal de este Centro, en las que estudia las posibilidades de existencia de agua subterránea en esta zona.

El trabajo geofísico se ha efectuado por el método eléctrico de corriente continua, con el aparato modelo «Siñeriz», y su finalidad ha sido determinar las zonas más adecuadas donde hacer los alumbromientos, teniendo en cuenta la situación y profundidad de los presuntos mantos acuíferos.

Se podrá apreciar, por lo que se expone a continuación, que los resultados obtenidos han sido favorables, en relación con el objeto mencionado.

I. Reseñas geográfica y geológica

Después del documentado informe del citado ingeniero de Minas Sr. Pastor, realizado por encargo del Instituto

Geológico y Minero de España, sobre las condiciones hidrogeológicas de Los Llanos del Marquesado, en Granada, poco resta añadir fuera de lo relativo a la prospección geofísica que acaba de realizarse. Es decir, que, en cuanto a las circunstancias complementarias en su aspecto geográfico-geológico, e incluso sobre las posibilidades que la zona ofrece, confirmadas, por otra parte, por la aludida prospección, según más adelante se detalla, habremos de limitarnos a la exposición de lo indicado por el citado ingeniero.

Reseña geográfica.

Se trata de una extensión sensiblemente llana, formando un pequeño valle entre dos vertientes muy suaves. La flecha máxima de tal superficie combada viene a ser de unos 30 a 40 m., en una anchura media de 10 Km., aproximadamente. Por contraste, en sus dos bordes NE. y SO. se alzan con cierta brusquedad las dos laderas correspondientes a las sierras de Baza y Nevada, donde aparecen cotas de nivel que alcanzan rápidamente los 1.400 m. sobre el nivel del mar. Este es el caso de los cerros de San Cristóbal y Pocito, en la zona del Charches, y de otros de rango parecido en las inmediaciones de Ferreira, Dólar y Huéneja, en la vertiente opuesta, para coronar la primera, con 1.700 y 1.800 m. en Sierra Filabres, y exceder la segunda de los 3.000 m. en los picos Veleta y Mulhacén.

En las inmediaciones de Huéneja, sobre la línea que une los cerros de San Cristóbal y Dólar, se encuentra la máxima altura de Los Llanos que es del orden de 1.120 metros, donde se establece la divisoria de las aguas que vierten respectivamente hacia Almería y Guadix. En este segundo sentido se extienden Los Llanos, que es la zona de estudio, entre altitudes como la indicada y la de 1.080 metros de la zona de Alcudia.

Desde el centro de la misma, y en faja marginal a la rambla de la Canal, se inician las erosiones que van gradualmente creciendo hasta las inmediaciones de Alcudia de Guadix, donde bruscamente se acentúan en los términos que alcanzan los cortes naturales del terreno, que son del orden de 30 y 40 m., con profundas chorreras laterales.

Los dos cortes geológicos que se incluyen dan idea clara de la configuración superficial de la zona y evitan mayores detalles.

Desde el punto de vista hidrográfico, corresponde la zona a la cuenca parcial del río Guadix y por extensión a la del Guadalquivir, en su cabecera. Está representada esencialmente por la aludida rambla Central o rambla de la Canal, que se inicia en la divisoria de Huéneja y baja en cauce divagante por el centro de la vega, cerca del ferrocarril, hasta incorporarse al mencionado río en las inmediaciones de la población. Dicha rambla recoge las aguas de las dos indicadas vertientes, es decir, de las sierras de Baza y Nevada, que los naturales del país encauzan por medio de acequias y emplean para el riego de sus predios.

Tres cursos más completan la red fluvial de la zona: el de Benejar, el de Alquife y de Lanteira; los tres tributarios de Río Verde, hasta la región de El Puntal, donde se reúnen en un solo cauce. Todos corresponden a la vertiente septentrional de Sierra Nevada y son de régimen muy variable, casi torrencial. Esto, unido a la gran permeabilidad del terreno Diluvial, arenoso en su parte alta, y a la fuerte erosión en el curso del río de Guadix, que favorece el escape y no la retención de ese caudal sobrante, conduce a la consideración pesimista que señala el Sr. Pastor.

Quizás un medio que pudiera facilitar el aprovechamiento del agua, sea el ya empleado en la región, es decir, la multiplicación de presas y depósitos en la parte alta de las

vegas, e incluso la apertura de galerías de drenaje en plena ladera; pero ello requiere un estudio más detenido de carácter geológico y esencialmente estratigráfico.

Reseña geológica.

La región, en términos geológicos, se puede dividir en dos partes: una fundamental, constituida por las dos vertientes mencionadas del valle, correspondientes a los macizos de la Sierra Nevada y de Baza; y la otra, derivada de ellas por tratarse de zona de arrastre, que es la que comprende a los aludidos Llanos del Marquesado.

La parte primera está representada por elementos petrográficos del Estrato cristalino. Sus rocas esenciales son pizarras silíceas y granitíferas y micacitas, predominando la mica biotita.

Se presentan a veces con inclusiones de cuarzo blanco, lechoso y amorfo.

En los altos horizontes de este núcleo esquistoso, particularmente en la zona de Charches, que fue la observada, por estar la opuesta cubierta de nieve, se intercalan algunas capas de caliza marmórea, de grano fino, a veces veteadas, que alternan con las micacitas y bancos de apariencia néisica; todo el conjunto orientado de NE. a SO., quizá influenciado por la existencia cercana de una masa hipogénica de la que luego hablaremos.

Aparentemente superpuesto al macizo arcaico, se observa en ambas vertientes otro horizonte calizo (véase el plano general y corte geológico número 2), considerado como perteneciente a la formación triásica. Su estratificación es, superficialmente, algo confusa, enmascarada por los agentes exteriores, dando en muchos lugares la sensación de masa informe, sobre todo en la región de Charches. Aquí no sólo no se dibujan exteriormente sus hila-

das, sino que incluso se determina más su contacto con el terreno moderno de la zona de vega, por cuya suave vertiente se prolonga una especie de costra calcárea, producto sin duda del derrame por disgregación y disolución de la roca caliza.

En los cabezos de la ladera opuesta o de Sierra Nevada, zonas de Alquife, La Calahorra, Dólar y Huéneja, la estratificación es más precisa, aunque la orientación y buzamientos varían mucho. Los bancos se ciñen a la configuración del macizo arcaico que le sirve de apoyo. En todo caso parece que deben seguir bajo los terrenos modernos para empalmar por el fondo con la ladera opuesta (véase el citado corte geológico núm. 2).

ROCAS HIPOGÉNICAS.— Como ya hemos dicho, en la zona de Charches, en el paraje denominado El Pedregal, próximo al cerro San Cristóbal, hay un pequeño asomo hipogénico. Mejor dicho, existe una fila de cabezos orientados según la estratificación de las capas esquistosas, o sea NE. a SO., que aunque la mayoría de ellos están recubiertos por dichas capas, hay uno que sobresale de los demás y aflora, siendo lógico suponer que los restantes de la misma alineación están sólo coronados por el arcaico y se encuentra la misma roca eruptiva a poca profundidad.

Se han obtenido unas muestras del expresado asomo, que están algo alteradas por ser muy someras. Se entregaron para su análisis a la Sección de Petrología del Instituto, obteniéndose el siguiente resultado:

Roca verdegrisácea. Fractura irregular concoidea.

La muestra tiene una costra limonítica y presenta señales de alteración. Se halla tan descompuesta que únicamente puede decirse que contiene un feldespato plagioclasea clasificado convertido en caolín, calcita y mucha clorita, a la que debe su color.

También presenta numerosas agujas de ilmenita transformada en leucoxena. Tal vez provenga de la alteración hidrotermal de una roca diabásica, pasando a ser una roca verde.

Aunque la presencia de dicha roca no tiene importancia ni altera el juicio en cuanto se refiere al estudio hidrológico de la zona de estudio, anotamos su existencia de una parte para completar la estructura interna de dicha zona en sus proximidades, y segundo, por la relación que pueda tener en el proceso metalogénico de los minerales de la región.

SEDIMENTACIÓN DE LOS LLANOS.—La composición del terreno en Los Llanos del Marquesado y posición de sus tongadas, completamente horizontales, corresponden indudablemente, de acuerdo con la opinión del Sr. Pastor, a la formación terciaria de sedimentación tranquila (probablemente Plioceno) en sus niveles de vega, y al terreno Diluvial en las partes altas, de marcado carácter de arrastre.

El terreno se presenta en tongadas prácticamente horizontales o con ligerísimas inclinaciones u ondulaciones locales, propias del acomodamiento de los sedimentos, más acentuadas en los bordes. Sus elementos pétreos corresponden a los mismos componentes de las rocas de las laderas, y son tanto más semejantes a ellas cuanto más cerca se observan. Así, por ejemplo, en la divisoria de aguas de las cercanías de Huéneja y en toda la banda que festonea la ladera, abundan las tierras de labor francamente micáceas, carácter que va perdiendo, tornándose más arcillosas o arenosas a medida que se separan del borde y se internan en la vega. Tales elementos alternan entre sí y están depositados con arreglo a sus respectivas densidades y a la intensidad de las diferentes avenidas. Las

zonas arcillosas no aparecen en forma de depósitos continuos, sino con intermitencias, tanto en longitud como en profundidad, alternando con mantos de canto rodado y arenas.

Tal estructura y disposición, unido a la fuerte erosión que se observa en las márgenes de Río Verde y Vega de Guadix, no son ciertamente características que permitan esperar que, en ese nivel alto de Los Llanos, o sea en el tramo del nivel superior a la citada vega de Río Guadix, sea horizonte adecuado para la retención de aguas. Ello no quita, naturalmente, que en determinados lugares del mismo, favorecidos por la disposición de las arcillas, haya acumulaciones o retenciones locales, como ocurre en el centro de la llanura, donde están abiertos varios pozos, como el del cortijo del Sobrestante y otro de la zona de la estación de Alquife, que han alcanzado el agua a unos 23 m. de profundidad, pero que se agotan con relativa facilidad.

Los resultados del estudio geofísico, llevado a cabo por el método de sondeos eléctricos hasta la profundidad de 110 m., han sido francamente desfavorables, confirmando lo anteriormente expuesto.

ZONA PROFUNDA.—Bajo el nivel de la erosión superficial, es decir, por debajo de la cota de unos 1.000 m., las cosas habrán de suceder de otro modo. Los aportes de las sierras, relativamente abundantes sobre todo en lo que se refiere a la Sierra Nevada, han de ser alimentación permanente de la vega. Gran parte de dichas aguas discurren superficialmente y son aprovechadas por los regantes en las épocas apropiadas o se encauzan por las ramblas. Las que penetran impregnando sus niveles altos, favoreciendo esto los depósitos arenosos y filtrantes, son en parte retenidas, y otras discurren hacia la vega de Guadix. Pero

queda una buena cantidad que penetra a través de esos mismos bancos de aluvión arenoso y se acumula en el fondo de la cuenca rellena. Tal embalse interno, cuyo nivel debe de quedar a una profundidad del orden de 200 metros, puede tener importancia.

Creemos interesante la prolongación del estudio aplicando el método sísmico para determinar la profundidad del fondo, tanto en lo que respecta a su nivel, como por precisar la no interrupción de la caliza triásica que en los bordes de la zona se interpone entre los terrenos modernos de Los Llanos y el Estrato cristalino de la sierra. Esto tendría la doble importancia en el aspecto minero y en el hidrológico. En el primero, se trata del armazón del yacimiento ferrífero, de notable interés industrial, y en cuanto al segundo, su configuración en forma de cuenca, permite presumir la existencia de una gran cantidad de agua.

II. La investigación eléctrica

Se ha empleado en ella el método de sondeos eléctricos de corriente continua, habiéndose realizado 18 en total, que se han llevado hasta la profundidad de 110 metros.

Los cuatro primeros se hicieron en las inmediaciones del pozo denominado del Sobrestante, y los demás a lo largo de la carretera de Guadix a Huéneja, cuya descripción haremos por separado.

ZONA DEL POZO DEL SOBRESTANTE.—En sus proximidades, y distribuidos en la zona que indica el plano horizontal, se han realizado cuatro sondeos en forma de dos pares, a corta distancia mutua (5 m.). Un par (1 y 2) casi junto al pozo, y el otro (3 y 4) 50 m. más al Sur.

El pozo tiene su nivel de agua a los 23 m. de profundi-

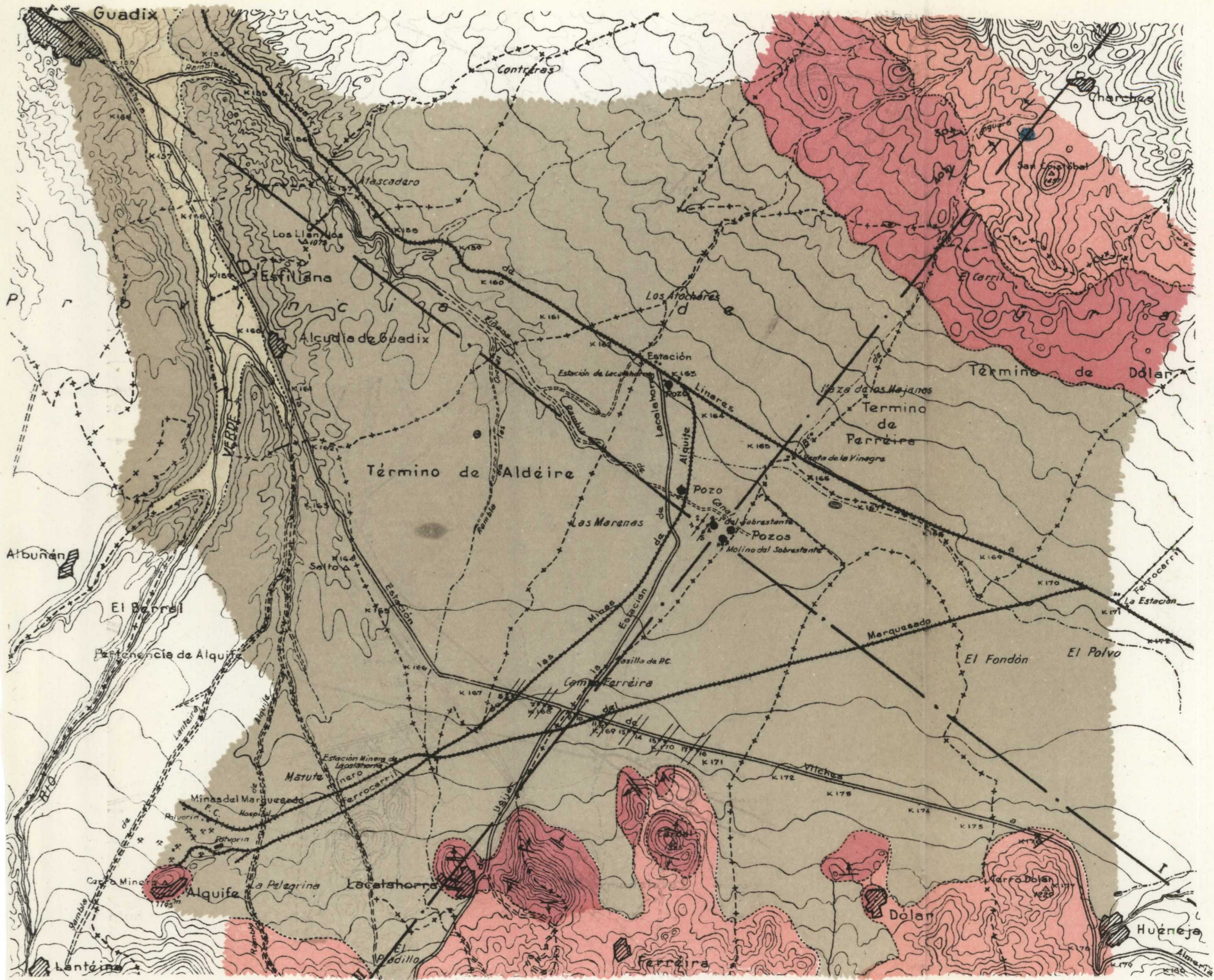
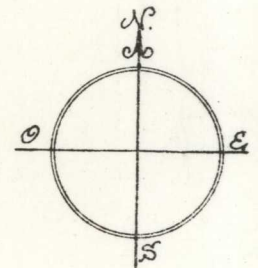


INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA
DE LOS
LLANOS DEL MARQUESADO

PLANO HORIZONTAL

ESCALA 1:75.000

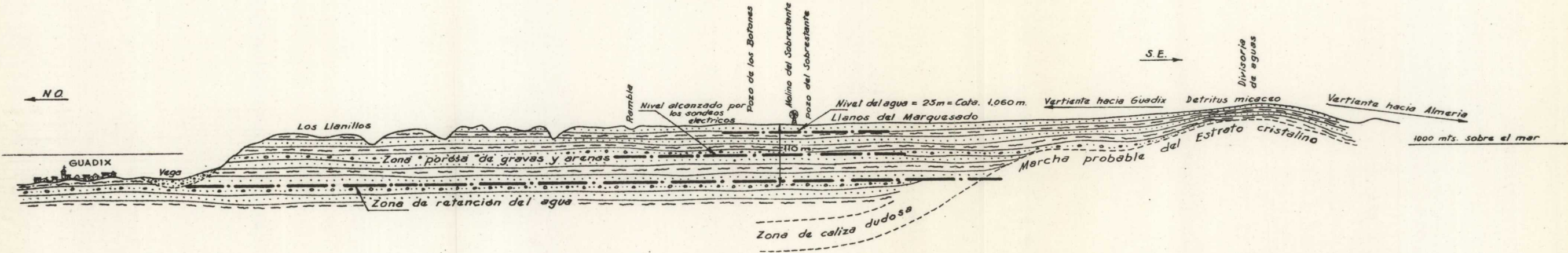
-  Aluvial
-  Diluvial
-  Triásico
-  Estrato cristalino
-  Hipogénico
-  Sondeos eléctricos



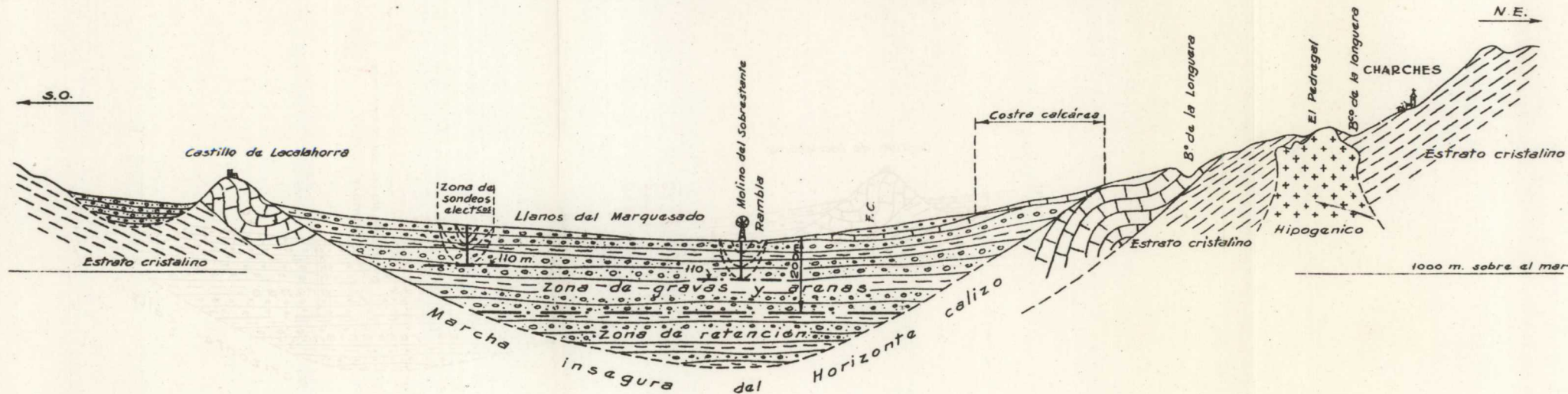
INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS LLANOS DEL MARQUESADO CORTES GEOLÓGICOS

ESCALAS { Horizontal 1:75.000
Vertical 1:15.000

N.º 1.—CORTE GEOLÓGICO DESDE GUADIX A LAS CERCANÍAS DE HUÉNEJA



N.º 2.—CORTE GEOLÓGICO DESDE LACALAHORRA A CHARCHES



EXPLICACIÓN

- Aluvial
- Diluvial
- Triasico
- Estrato-cristalino
- Hipogenico

dad. El objeto de estos sondeos ha sido, como en otras ocasiones, conocer las resistividades aparentes del nivel acuífero, para que sirva de guía en la interpretación de los demás gráficos de la zona.

El horizonte hidrológico es de gravas y arenas limpias, impregnadas de aguas muy puras. No lo conocemos en toda su potencia, debido a que el pozo no pasó de 27 ó 28 metros de profundidad. Pero de los gráficos se deduce, aplicando nuestros métodos de interpretación, que continúa el mismo horizonte poroso a base de gravas y arenas hasta bastante más hondo. En los sondeos números 1 y 2, se manifiesta entre 25 y 55 m., y en los otros, entre 15 y 25 ó 30 m.; a mayor profundidad, el terreno se hace más arcilloso (véanse los gráficos).

PERFIL DE LA CARRETERA.—Está constituido por los sondeos eléctricos efectuados en la zona de La Calahorra, a lo largo de la carretera de Huéneja a Guadix, desde el kilómetro 167,500 (sondeo 5) al 170,500 (sondeo 18), realizados también en pareja a corta distancia mutua para que sirvan de confirmación de las variaciones de resistividad.

En los 5 y 6 se supone un nivel acuífero hacia los 55 metros, contenido en un horizonte de bastante resistividad, que pueden ser de gravas y arenas o de calizas triásicas.

En los 7 y 8 se manifiesta un nivel a los 60 m., que posiblemente será el mismo anterior.

Los sondeos 9 y 10 se consideran de mayor interés hidrológico; además de dos niveles más someros de menor importancia, se encuentra uno a los 70 m. de profundidad, que es el más importante. Es el lugar que recomendamos para perforar un pozo.

También son interesantes los 11 y 12, con posibles niveles acuíferos explotables a los 50 y 95 metros.

En los siguientes, se manifiesta un horizonte acuífero a la profundidad indicada en los gráficos, pero nos ofrecen menor garantía sus resultados.

III. Conclusiones

1.^a Las aguas procedentes de la vertiente Norte de Sierra Nevada, al discurrir hacia el valle en la zona estudiada de La Calahorra, impregnan a las capas de grava y arena del supuesto Plioceno. Pero éstas, intercaladas de bancos irregulares arcillosos, retienen el agua parcialmente a determinadas profundidades, constituyendo con ello mantos acuíferos aprovechables.

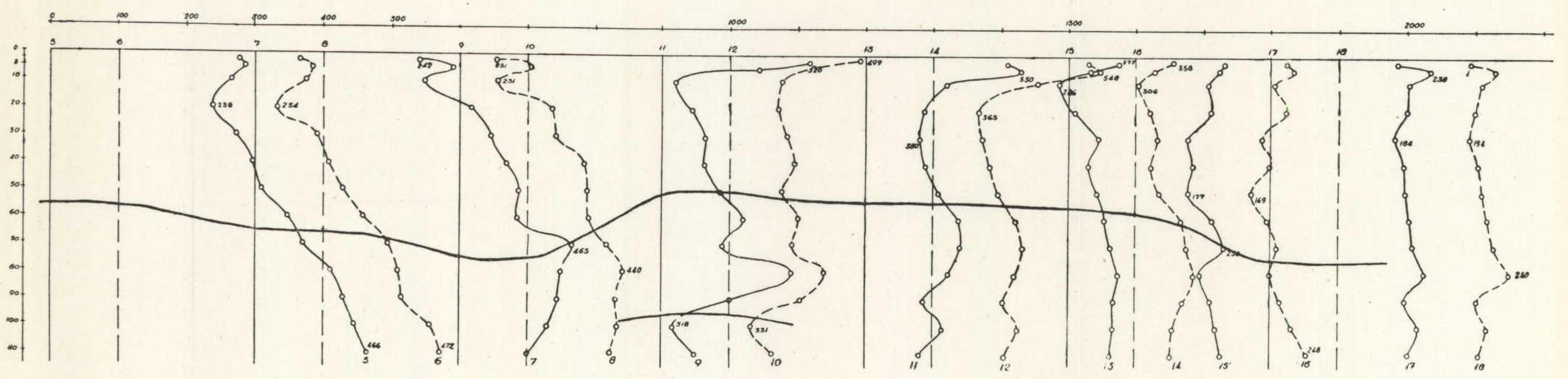
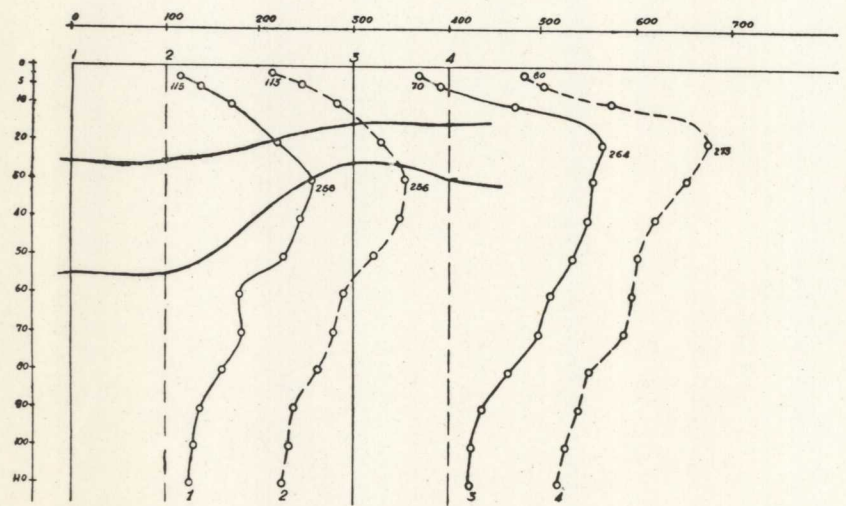
2.^a Todo el valle de Alcudia-Marquesado constituye una gran cuenca subterránea, con un cierre hacia Levante, que ya determinó, en las proximidades de Abla, esta misma Sección de Geofísica en otra investigación hidrológica llamada de Piñana (1949). La salida natural de todas estas aguas es al propio río Guadix, con sus cotas ligeramente inferiores a 1.000 m. Por debajo de esta cota las aguas quedarán mucho más retenidas, pues no tienen más salida que la subterránea a través de las capas porosas, en muchos kilómetros de recorrido, hasta el río Guadalquivir. Por consiguiente, los niveles hidrológicos han de ser mucho más ricos, pero habrá que atravesar para alcanzarlos un espesor del orden de 200 m., por ejemplo, en la zona del pozo del Sobrestante.

3.^a En la zona de la carretera de Guadix a Huéneja, se podrá alumbrar agua a no mucha profundidad, aunque por estar muy al borde de cuenca nos tememos sea en pequeña cantidad; sin embargo, esperamos que en condiciones económicamente aprovechables.



INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA EN LOS LLANOS DEL MARQUESADO

SONDEOS ELÉCTRICOS



CAPÍTULO XI

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA, POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO, EN SAN JAVIER (MURCIA)

La investigación gravimétrica denominada de San Javier, por haberse realizado desde este lugar como base de operaciones, abarca, en realidad, la extensa llanura comprendida entre San Pedro del Pinatar, Cartagena y las proximidades de las sierras de Villora y Altaona.

Ha tenido por objeto el reconocimiento de la estructura del subsuelo, formado por depósitos cuaternarios y terciarios en sus partes más altas y probablemente por el Trías y el Estrato cristalino en su fondo.

Para ello se ha utilizado el gravímetro «Nörgaard», que nos ha permitido conocer la configuración del contacto de los terrenos antiguos con el Terciario. En cuanto a la profundidad de estos contactos, tendría que ser determinada en un trabajo complementario por el método sísmico. Sin embargo, por comparación con algunos lugares donde existen sondeos mecánicos, hemos podido dar una idea del orden de dichas profundidades.

I. Reseñas geográfica y geológica

Descripción geográfica.

La zona objeto del presente trabajo corresponde al borde occidental del Mar Menor, es decir, abarca desde las inmediaciones de San Pedro del Pinatar hasta Cartagena y La Unión. Esta planicie se conoce vulgarmente con el nombre de «Campo de Cartagena».

La máxima diferencia de nivel topográfico, dentro de ella, considerada desde el mar hacia el interior, en una franja costera de 20 kilómetros, es de unos 100 m. próximamente; se trata, pues, de una extensión sensiblemente llana o ligeramente alabeada por la erosión, con caída suave hacia Levante.

Por contraste, se halla interrumpida dicha extensión por unos asomos o «cabezos» que rompen la monotonía de la llanura. Uno de ellos, el más notable por su altura, que se hace visible desde todos los puntos de la zona, es el conocido con el nombre de Cabezo Gordo, situado entre las carreteras de la estación del ferrocarril de San Javier, frente a su Km. 32, y el camino vecinal desde la misma estación a Roda y Los Alcázares. Tiene, en su base, unos tres kilómetros de longitud por uno de ancho, rematado en altura por varios picachos, de los cuales el más elevado alcanza 608 m. de altitud. De menor elevación son otros tres montículos próximos a la costa, al Sur de Los Alcázares. El mayor de ellos es el Carmolí, con 111 m. sobre el nivel del mar, y 30 los otros dos.

Al Este, dentro del Mar Menor, sobresalen las islas Perdiguera y Mayor, con alturas máximas de 46 y 101 m., respectivamente; la del Sujeto, con 16 m., y en la misma

dirección cierra el dique natural arenoso, sostenido sin duda por otros asomos que se alzan en su parte central, denominados Isla Grosa, El Farallón y otros escollos más, orientados al hilo del propio dique.

Por el Sur y Poniente circundan la mencionada llanura las lomas de Sancti Spíritus y Sierra Gorda, que forman la barrera litoral, con cotas del orden de 300 metros. Como avanzada de estas lomas hay otra serie de cabezos de menor importancia entre La Unión y Cartagena, que constituyen sus contrafuertes por el Norte. Más al Oeste se alza la sierra de Pelayo, con su castillo de Atalaya, de 242 m. de altitud, para doblar por Perín con rumbo septentrional hacia las sierras de Los Gómez y Las Victorias, terminando bruscamente, en forma de espolón, entre Fuente Álamo de Murcia y El Estrecho, cerca ya de la carretera de Balsapintada.

Fuera del plano, y al Norte, se extienden las sierras de Carrascoy y Columbares, que forman la divisoria superficial de las aguas de esta zona y la vertiente oriental del río Sangonera. La orografía se completa con la sierra de Escalona, que inclina sus capas hacia el llano, siendo originaria en gran parte del artesianismo de sus aguas.

Hidrográficamente tiene escasa importancia, por corresponder la mayoría de las aguas pluviales de la región a la cuenca del Sangonera. Está alimentada por una serie de ramblas que desembocan en el Mar Menor, y sólo llevan agua en determinadas épocas del año. Las dos más importantes son las del Albuñón y de Miranda.

Reseña geológica.

Puede decirse que la constitución geológica de esta zona, superficialmente considerada, está representada por

materiales cuaternarios, ya que los asomos o cabezos que se intercalan en ella son de muy escasa extensión y se encuentran sólo en su borde suroccidental, no afectado directamente por el estudio. Enumerados los terrenos de mayor a menor edad son como sigue:

ESTRATO CRISTALINO.—Forma el borde meridional de la llanura, constituyendo la separación entre la misma y el mar. Arman en él los criaderos minerales de plomo y hierro, que han dado gran esplendor a la minería de Cartagena, siguiendo aún activas algunas explotaciones dentro del núcleo néisico. Sigue hacia el Oeste la misma formación, y dobla al Norte hasta El Estrecho, reapareciendo en forma de cabezo en el término municipal de San Javier. Esto permite suponer que dicho terreno y el granito constituyen el verdadero substratum de las formaciones sedimentarias allí existentes. Del granito hay un pequeño asomo al N. de la llanura, único que hemos visto.

La roca es el neis micáceo en términos generales, sin los clásicos nódulos de feldespatos o neis glandular que caracteriza el tramo inferior. Abundan las micacitas tinte violeta o vinoso, que se confunden fácilmente, observando de lejos, con las margas irisadas del Keuper.

Tal ocurre en la falda septentrional del Cabezo de San Pedro, en el barrio de la Concepción y el Saladillo, en Cartagena, y en la misma sierra de Las Victorias, cerca del Estrecho. En el asomo de Cabezo Gordo está intervenado de caliza espática, a veces sacaroides; es de estructura cuarzosa, y otros contienen mucha mica, abundando la biotita. La particularidad de este cabezo es que en su falda meridional se observa, orientada sensiblemente de Levante a Poniente, una zona espática con abundante carbonato de hierro, siguiendo la misma marcha que la aparente estratificación néisica. Ésta dio lugar en épocas pasadas a

investigaciones dentro de su montera oxidada, de las cuales se ven algunas labores abandonadas en la actualidad.

SECUNDARIO.—Está representada esta formación en la mayoría de los cabezos y sierras de la zona de Cartagena y La Unión, formando la cobertera directa del núcleo néisico. Son, casi por exclusión, calizas, consideradas como triásicas, unas veces compactas y puras, otras fibrosas o brechiformes. Su dirección es la misma que la de la sierra y su buzamiento general hacia el Norte, lo mismo que la aparente estratificación del neis, que es como hemos dicho el núcleo que la soporta. El colorido varía entre el pardo-rojizo y el negro, abundando este tono, sobre todo en las de estructura fibrosa.

TERCIARIO.—En la superficie de la zona de estudio no hay otra representación de esta serie que algunos asomos de capas sabulosas alrededor de determinados cabezos atribuidos al Mioceno inferior, tal como el conocido por el nombre de Cabezo de la Viuda, en las cercanías de Cartagena. Sin embargo, su existencia y extensión están acreditadas por los innumerables pozos que hay perforados dentro de la llanura y las capas que asoman en la zona norte de la misma, y que siguen por su flanco hasta coronar la sierra de Escalona. Obsérvense los cortes geológicos que se incluyen, uno de los cuales, el n.º 2, ha sido tomado de los antecedentes que fueron suministrados por la Sección de Hidrología del Instituto.

La naturaleza de las capas es marcadamente sabulosa en los horizontes altos, con alternancia de margas y calizas en el fondo. Nosotros hemos incluido en esta serie la que denominamos costra, que arranca del pie de la sierra y envuelve a los cabezos hipogénicos. Se trata de un manto brechiforme producto de los arrastres procedentes

de las laderas calcáreas. Está denudado en algunos lugares y se interna bajo los terrenos de labor en otros.

Una circunstancia importante de los bancos de esta serie terciaria es que se hallan en posición violenta en las inmediaciones de los asomos hipogénicos, lo que hace suponer que éstos surgieron con posterioridad a su depósito.

CUATERNARIO. — Como hemos dicho, esta formación ocupa la casi totalidad de la extensión de la zona de estudio y es tal circunstancia la que justifica la intervención del método gravimétrico, aplicado con el fin de conocer la disposición estratigráfica o estructura interna que recubre.

Sus tongadas se disponen de un modo horizontal o simplemente con ligera inclinación en los bordes, por adaptación a los mismos en su depósito inicial.

Está representado por sus dos tramos clásicos: el Diluvial y el Aluvial. Constituye el primero una sola terraza de naturaleza algo arcillosa en el fondo, alternando con cantos rodados y horizontes lastrosos, alguno de los cuales asoma de vez en cuando, aunque lo más corriente es que estén recubiertos por una capa terrosa que es la que se cultiva.

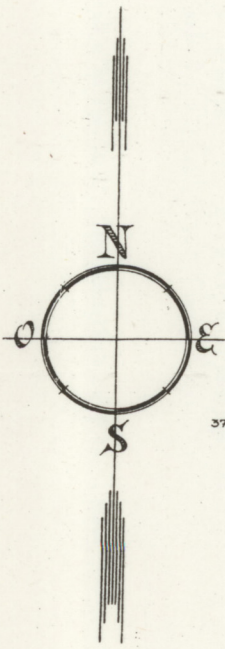
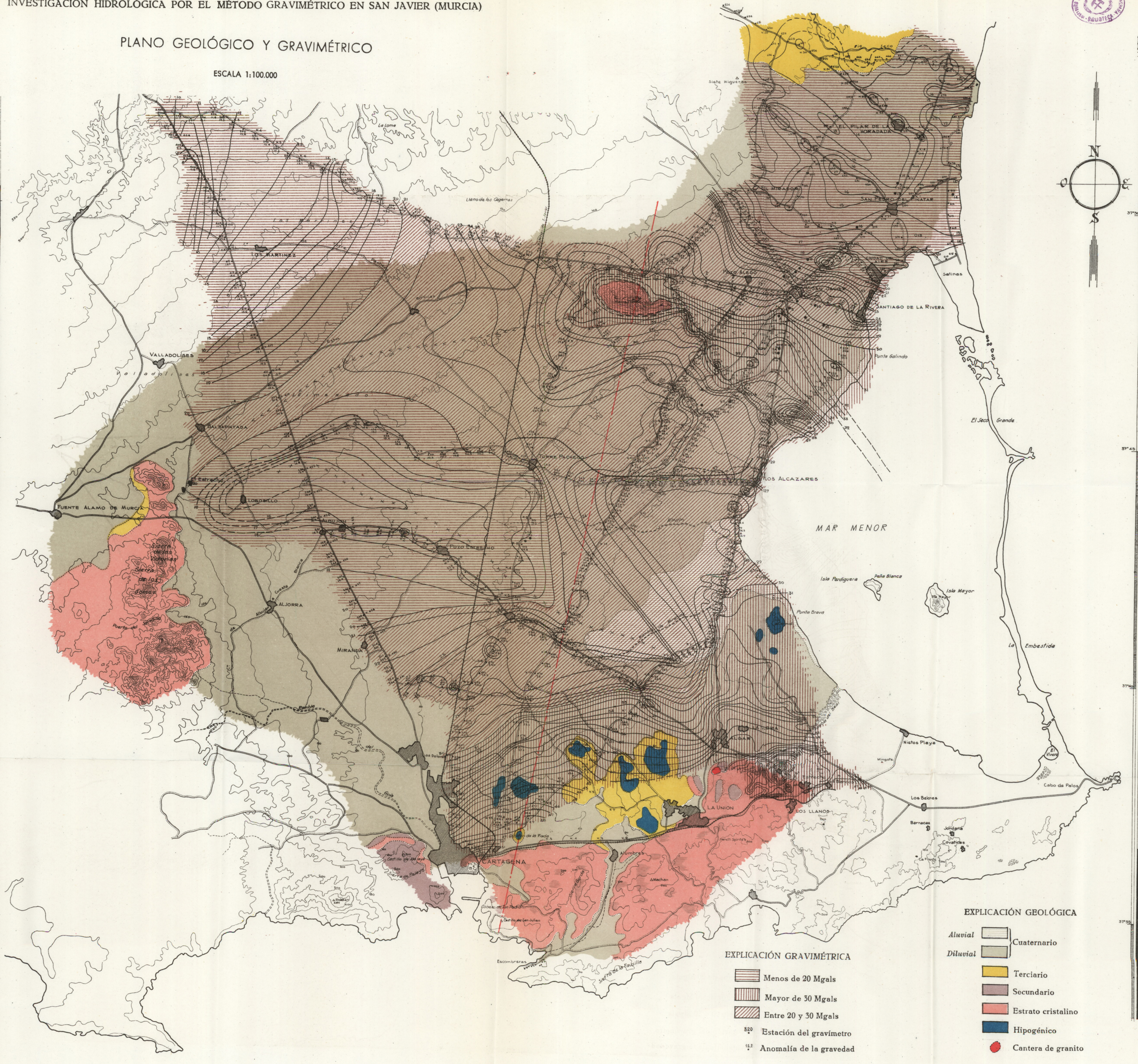
La zona más reciente o aluvial queda limitada a la región pantanosa de Los Alcázares, Punta Brava, que penetra tierra adentro hasta las inmediaciones de la carretera de Pozo Estrecho y sigue bordeando la ensenada. Sus tongadas son arenosas o de légamo, según el lugar.

OFITAS. — Completan el cuadro de las formaciones geológicas una serie de asomos ofíticos, de los cuales se han tomado muestras en los correspondientes al Carmolí y han dado, según el análisis hecho por la Sección de Microscopía del Instituto Geológico, los siguientes caracteres:

Macroscópicos: Color gris; fractura desigual y astillo-

PLANO GEOLÓGICO Y GRAVIMÉTRICO

ESCALA 1:100.000



LATITUD
 37° 45'
 37° 40'
 37° 35'
 37° 30'
 37° 25'
 37° 20'
 37° 15'
 37° 10'
 37° 5'
 37° 0'
 LONGITUD
 0° 55'
 0° 50'
 0° 45'
 0° 40'
 0° 35'
 0° 30'
 0° 25'
 0° 20'
 0° 15'
 0° 10'
 0° 5'
 0° 0'

EXPLICACIÓN GRAVIMÉTRICA

- Menos de 20 Mgals
- Mayor de 30 Mgals
- Entre 20 y 30 Mgals
- Estación del gravímetro
- Anomalía de la gravedad

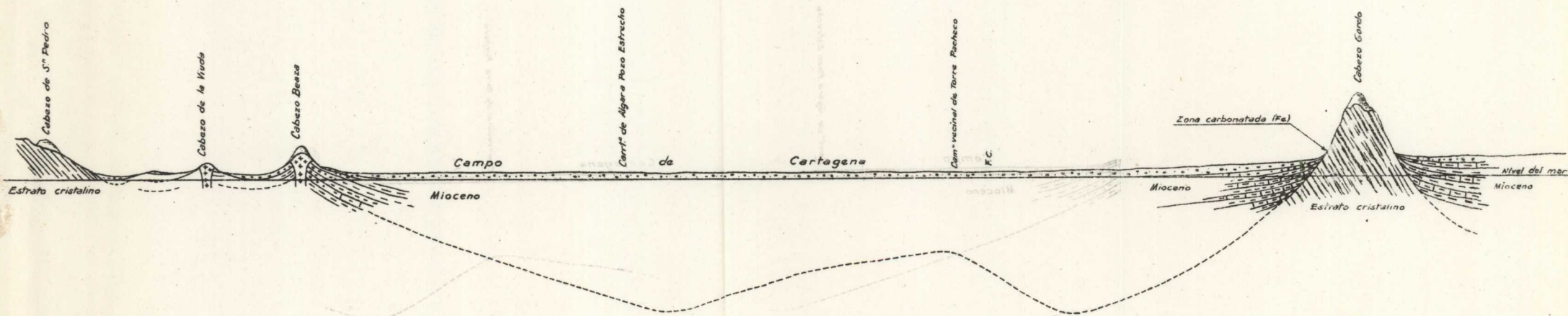
EXPLICACIÓN GEOLÓGICA

- Aluvial
- Diluvial
- Cuaternario
- Terciario
- Secundario
- Estrato cristalino
- Hipogénico
- Cantera de granito

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO
(EN SAN JAVIER (MURCIA))



CORTE GEOLÓGICO DESDE EL CABEZO DE SAN PEDRO,
EN CARTAGENA, AL CABEZO GORDO, EN SAN JAVIER



sa; tacto áspero, distinguiéndose a simple vista delgadas láminas de feldespato blancuzco.

Microscópicos: Estructura de fenocristales esenciales del apatito, hiperestena, augito y feldespato labrador, rodeados de una pasta de textura microlítica con magnetita y microlitos de feldespato.

Como particularidades y observaciones se ven: la hiperestena con una o dos exfoliaciones en ángulo recto según las secciones; el augito representa mezclas múltiples; el labrador presenta frecuentemente textura zonar; termina clasificándola como una andesita de hiperestena y augito.

La aparición de estas rocas hipogénicas es evidentemente moderna, con posterioridad al Mioceno inferior, puesto que sus capas se hallan alteradas en su posición, y en cierto modo embebidas por las coladas, a juzgar por las aureolas de metamorfismo observadas en sus bordes. Han de tener evidente relación con la génesis de los criaderos minerales de la región y su estudio, desde este punto de vista, pudiera ser de gran interés para el futuro de dicha minería.

II. La investigación gravimétrica

La investigación gravimétrica se ha realizado con ayuda del gravímetro estático de «Nörgaard». Las estaciones se han distribuido en forma de polígonos cerrados a lo largo de las carreteras y caminos de la zona, abarcando con ellas: hacia el Norte, la línea San Pedro del Pinatar-El Mirador (al N. de San Javier), Km. 407 de la carretera de Murcia a Cartagena; hacia Levante, la costa, desde San Pedro del Pinatar hasta La Unión; hacia el Sur, la línea La

Unión-Cartagena y, hacia el Oeste, la carretera de Cartagena a Murcia, hasta el Km. 407.

En total se han hecho 839 estaciones útiles sobre el plano, llegándose con las repetidas, tanto de base como de cierre de polígonos, a la cifra de unas 1.190 estaciones.

En general, se han efectuado sobre el terreno de 500 en 500 metros. Sin embargo, en algunos se han acercado a 250 de distancia mutua, con el fin de obtener en el resultado mayor detalle.

La estación base lleva el n.º 1 y se repite al principio y al final del trabajo diario. Se ha situado junto al mojón kilométrico 42 de la carretera de San Javier a Sucina, con una altitud sobre el nivel del mar de 28,5 metros. Hacia la mitad del trabajo se hizo el traslado de base a otra auxiliar BC, que se situó junto a Cartagena, en la parte baja del camino de Betel, en su bifurcación con la carretera de La Unión, cuya altitud sobre el nivel del mar es de 16,3 m.

El gravímetro empleado ha sido el n.º 255, por tener una temperatura de trabajo de 18º y ser por tanto el que mejor se adaptaba al clima de la región.

Se ha hecho la corrección de temperatura y además, en el estado aparte de cálculo de las anomalías de la gravedad, se han efectuado las correcciones de Bouguer (B) y al aire libre (H), empleándose las fórmulas que van impresas en dicho estado, aplicándose la densidad 2 en la correspondiente a la acción del terreno. Hasta llegar a las anomalías utilizadas en la interpretación se han hecho también las correcciones de deriva y de latitud. Con el fin de que todas las anomalías tengan valor positivo, se ha partido de un valor de la gravedad cuya magnitud ha sido de 978832,38 mgls.

En la última columna del mencionado estado se anotan las anomalías de la gravedad obtenidas de esta forma. Re-

sultan del orden de 10 a 30 mgls., variando entre los límites de 55,3 mgls. de máxima, en la estación BC, y 7.3 mgls. de mínima en la estación n.º 404, situadas la primera junto a Cartagena y la segunda en el mojón kilométrico 409,500 de la carretera Madrid-Cartagena.

Estas anomalías se han situado sobre el plano horizontal, indicando el número de orden de cada estación y su valor en mgls.

De acuerdo con ellas se han trazado las curvas isanómalas a equidistancias de un miligal.

Para que se distingan sobre el plano las distintas zonas según su valor gravimétrico se destacan en amarillo las de menos de 20 mgls., en rojo las comprendidas entre 20 y 30 mgls., y en azul las de más de 30 mgls.

Hecha la interpretación de este plano gravimétrico, se han dibujado los ejes anticlinales y sinclinales de la región estudiada, resultando lo siguiente:

El cerro denominado Cabezo Gordo determina un anticlinal, que llamaremos en adelante de Cabezo Gordo-Balsapintada, cuyo eje pasa por el Km. 6,5 de la carretera de Torre Pacheco a Los Martínez y sigue por el Km. 419,5 de la carretera de Madrid-Cartagena, hacia Balsapintada, buzando en esta dirección. Este buzamiento es muy pronunciado junto al afloramiento de Cabezo Gordo y suave al acercarse a Balsapintada. Hacia Levante cruza la carretera de La Unión a San Javier, en su Km. 19,5, con valor gravimétrico de 33,13 mgls., y dobla bruscamente hacia el SE. en dirección a la Isla Mayor, que es un afloramiento hipogénico.

El conocimiento de este anticlinal tiene bastante importancia, pues separa en dos cuencas la extensa zona estudiada, constituyendo una barrera que impedirá total o parcialmente el paso de las aguas saladas hacia el interior.

En segundo lugar, las líneas isanómalas indican el paso de un sinclinal cuyo eje teórico cruza por el Km. 5,5 de La Unión a San Javier; luego pasa a un kilómetro al N. de Pozo Estrecho y sigue por el Km. 421,7 de la carretera de Madrid a Cartagena. Este sinclinal constituye una vaguada geológica con inclinación hacia el interior, y por consiguiente con muchas probabilidades de ser una importante laguna subterránea, con las máximas posibilidades de almacenar y conservar todas las aportaciones de aguas procedentes de las sierras murcianas. Esta laguna ha de tener su mayor profundidad entre el pueblo de Lobosillo y la carretera de Madrid-Cartagena, puesto que más a Poniente afloran de nuevo los terrenos que forman su fondo; sin embargo, hemos de apuntar el inconveniente de que por la zona comprendida entre el Carmolí y Los Alcázares cabe la posibilidad de que existan aportaciones de agua salada del Mar Menor, e igualmente podría haberlas por la prolongación del eje sinclinal de la citada ensenada; a pesar de ello no creemos que sean estas aportaciones lo suficientemente considerables para que lleguen a hacer inutilizables las aguas del interior de la mencionada laguna en las proximidades de Lobosillo, Albuñón y Pozo Estrecho. El cierre de la misma hacia el Norte lo constituye el anticlinal de Cabezo Gordo-Balsapintada, pero que no impedirá el paso de las aguas procedentes del interior a partir de cierta altura.

En el extremo norte de la región investigada, o sea al NO. de Los Martínez, se descubre un nuevo sinclinal gravimétrico de dirección al parecer Norte-Sur, pero mal definida por falta de más datos, que tiene un especial interés, ya que existiendo la presa de contención, que significa el anticlinal de Cabezo Gordo-Balsapintada, es de esperar no solamente que contenga agua en cantidad considerable

sino, además, que no esté impurificada por el agua de mar.

Su eje pasa por el Km. 409,5 de la carretera de Madrid y por el Km. 1 de la que conduce desde esta misma a San Javier.

Sobre este sinclinal se producen los valores gravimétricos mínimos de toda la zona estudiada.

Esto es en términos generales lo que se deduce de la extensa prospección gravimétrica; pero añadiremos todavía algunos detalles entre los muchos fácilmente visibles, con la simple observación del mapa gravimétrico.

En el territorio de San Javier ya hemos indicado que el eje del anticlinal de Cabezo Gordo se interna en el Mar Menor. Pues bien, igualmente ocurre con las líneas isanómalas que marcan las dos vertientes norte y sur de la divisoria geológica. Por consiguiente, el agua de mar tendrá fácil entrada por todos sus estratos permeables. Por ejemplo, entre San Javier y Los Alcázares, a Poniente del Km. 16 de la carretera que los une, existe una pequeña vaguada muy pronunciada, con inclinación hacia el mar, pero hay muchas probabilidades que las aguas que se puedan alumbrar sean salobres. Igualmente ocurre en un pequeño cono, mucho menos pronunciado, situado a 1,5 kilómetros de Los Alcázares, por la carretera de Algar.

Hacia el Norte de San Javier la vertiente geológica se hace muy pronunciada en dirección al Mirador. Pero en esta zona subsiste el peligro de aportaciones salinas hacia el interior. Por el contrario, el montículo que se marca hacia el Km. 24 en la carretera de San Pedro, otro situado a tres kilómetros al SE. de San Javier, y la eventualidad de nuevos accidentes favorables en dirección a San Pedro, más allá del límite de nuestro estudio, hacen posible que las aportaciones de agua dulce del interior sean superiores

y compensen a las de mar, resultando aprovechables las aguas de la zona situada al S. y SE. del Mirador.

De mucho interés también ha sido el conocimiento de la configuración geológica del sector norte de Cartagena.

Se trata, según las deducciones obtenidas con este estudio, de una ladera bastante inclinada en dirección NO. hacia el centro de la citada laguna, donde han de parar las aguas que viertan por ella. Teniendo además en cuenta que toda la costa es una barrera impermeable formada por sedimentos secundarios y más antiguos, lo probable es que las aguas que se alumbren no sean salobres por las aportaciones procedentes del mar.

Añadiremos aún que, vista la regularidad y claridad de los resultados gravimétricos obtenidos, sería interesante prolongar las investigaciones hacia el Norte del mencionado poblado del Mirador y de San Pedro del Pinatar, así como también el estudiar la prolongación del sinclinal de Lobosillo-Pozo Estrecho hacia Nietos Playa, en la costa, con el fin de reconocer lo mejor posible la existencia o inexistencia de barreras de cierre de las aguas saladas hacia el interior.

Dada la configuración geológica de la región, las aguas profundas han de ser en general artesianas surgentes.

ZONA DE SAN PEDRO DEL PINATAR. — Como puede verse en el plano gravimétrico, si bien la tendencia general de las líneas es a disminuir de valor hacia el N., no obstante existen varias anomalías que juzgamos de interés.

Procediendo de S. a N. se aprecia que la tendencia a disminuir de los valores de las curvas, pronto se ve detenida por una elevación de importancia. Creemos que esto puede ser debido a un anticlinal gravimétrico a lo largo de la carretera de San Pedro del Pinatar a Siete Higueras.

Al S. de este anticlinal hay un valle, angosto, pero con

comunicación con el mar. El hecho de que la gravedad disminuya tierra adentro, a lo largo de esta zona de valores negativos, hace sospechar que el thalweg de este valle buza hacia el O., lo que posiblemente favorezca la penetración de las aguas del Mediterráneo hacia el interior, con la posible contaminación de las aguas dulces que provenga del interior.

Al N. de la citada zona de valores positivos hay otra de valores negativos, limitada al Norte por una serie de anomalías positivas que parecen dibujar un nuevo anticlinal gravimétrico.

Entre paréntesis digamos que al hablar de anomalías positivas o negativas nos referimos a su comparación con los valores máximos o mínimos, que suelen denominarse así en prospección gravimétrica. Asimismo, al hablar de anticlinales o sinclinales gravimétricos, nos referimos a las posibles colinas o valles que encontraríamos en el terreno subyacente al Mioceno si pudiésemos hacer desaparecer este terreno, es decir, a la orografía premiocena.

La anomalía negativa antes citada, que se extiende en dirección NO.-SE., tiene gran interés por tener cerrada su comunicación con el mar por todos lados, pues las anomalías positivas que la limitan al NE. y SO. se enlazan por el SE., impidiendo el paso de las aguas saladas. Este valle va adquiriendo profundidad hacia el NO.

Hemos de citar también en esta zona la anomalía negativa costera, flanqueada al N. por otra positiva de no muy gran extensión. Esta anomalía negativa sugiere la existencia de una depresión en esta faja costera. Su profundidad será máxima en la parte N., y sus bordes, suaves hacia el S., son abruptos al N., donde, en poco espacio horizontal, pronto se alcanza la zona de anomalías positivas.

ZONA DE ALGAR. — Los resultados de esta zona, confir-

man el hecho de que la cuenca hidrológica citada está perfectamente cerrada por este sector.

Como se aprecia por el aumento de la gravedad hacia el S., a medida que avanzamos en esta dirección, el Mioceno va perdiendo espesor, con predominio del substratum. Esto se confirma geológicamente, puesto que en seguida entramos en plena sierra de Cartagena, de calizas triásicas y Estrato cristalino, pero acusando en El Beal una cubeta menor entre los cabezos, que debe estar rellena por Terciario y Cuaternario, suposición que está confirmada por los contactos de estos terrenos al S. del Llano.

Aunque existe la posibilidad de aporte de aguas saladas a aquella cubeta grande, dado que por la zona costera el cierre no parece tan perfecto, no nos parece muy probable.

Aun cuando la investigación no ha podido prolongarse mucho en dirección oriental, la forma de las curvas podría sugerir la presencia de otra pequeña cubeta costera, y entonces la seguridad sería absoluta.

Las aguas procedentes de la sierra de Cartagena, algo mineralizadas, deben tener tendencia a extenderse hacia el NE. del Algar más que hacia la cuenca antes citada, discurriendo en dirección N. y hacia el mar.

III. Conclusiones

El trabajo gravimétrico de San Javier presentaba un especial interés para nosotros, por tratar de conocer la magnitud de las anomalías que debíamos encontrar en una prospección de este tipo, teniendo en cuenta que, de ser pequeñas éstas, llegarían a confundirse con las locales sin

interés geológico alguno o con los naturales errores del sistema operatorio.

Este primer objetivo ha quedado bien claro con sólo observar el plano y ver la regularidad con que se suceden las anomalías de cualquier perfil que se quiera analizar.

En cuanto a conclusiones prácticas, apuntaremos las siguientes:

1.^a Se descubre una laguna geológica, cuyo punto más hondo está en las proximidades del Km. 422 de la carretera de Madrid a Cartagena, al NE. de Lobosillo y NO. de Albuñón.

2.^a Los bordes de esta laguna están determinados: por el N., por un anticlinal gravimétrico que se ha llamado de Balsapintada-Cabezo Gordo; por el Este, por la costa del Mar Menor; por el Sur, por la cadena de afloramientos secundarios y antiguos de La Unión-Cartagena, y por el Oeste con la prolongación de estos mismos afloramientos hasta Balsapintada.

3.^a Esta laguna tiene forma de amplio valle, cuyo eje está marcado por el sinclinal gravimétrico que pasa entre Algar y el pico Carmolí, y tiene su inclinación hacia el interior.

4.^a El defecto de esta cuenca hidrológica es que puede recibir alguna aportación de agua salada del Mar Menor, pero precisamente por la zona costera al S. de Los Alcázares. Sin embargo, añadamos que, debido al llano geológico que se encuentra entre la costa y la carretera de Pozo Aledo a Cartagena, a Levante del Km. 12, es de esperar que esta corriente salada encuentre en su camino obstáculos y ondulaciones locales que la impidan llegar lejos de la costa.

La prolongación hacia el Este del citado sinclinal también puede servir de entrada a las aguas procedentes del

Mar Menor, aunque esto lo creemos poco probable, debido a la dirección del eje hacia Nietos Playa y a su distancia considerable a la costa, antes de la cual es de esperar que existan elevaciones ocultas de terrenos antiguos en la línea Sancti Spíritus-Carmolí, que impidan esta entrada perjudicial. Para confirmarlo, habría que hacer una ampliación del trabajo en esta zona.

5.ª El contacto geológico de la línea Cartagena-La Unión es bastante inclinado y buza hacia Lobosillo y Albuñón. Estas aguas deben ser buenas en lo que se refiere a salinidad procedente del mar, por constituir ese sector de la costa una barrera impermeable.

6.ª Al NO. de Los Martínez se determina un nuevo valle geológico con valores gravimétricos mínimos, donde la profundidad del fondo de la cuenca ha de ser bastante grande. Pero debido a la barrera Balsapintada-Cabezo Gordo, sus aguas han de proceder exclusivamente de las sierras murcianas del interior.

7.ª Probablemente las aguas procedentes de este valle geológico de Los Martínez verterán por encima de la presa o anticlinal de Balsapintada, para incrementar las de la laguna de Pozo Estrecho-Albuñón, pero este detalle no queda bien aclarado por falta de datos suficientes, y sobre todo, para conocer la profundidad a que se encuentra el eje del supuesto anticlinal secundario, tendría que ser estudiado por el método sísmico.

8.ª Hacia el N. de San Javier, parece se producen dos pequeños valles separados por un levantamiento intermedio; el más meridional es angosto y con posibles aportes de agua salada del Mar Menor. El otro está cerrado en todas direcciones, excepto al NO., hacia donde va profundizando.

9.ª En la zona costera, al NE. de San Pedro del Pina-

tar, interpretamos la forma en las curvas como indicando una posible vaguada en el substratum, con máxima profundidad al N. y forma asimétrica.

10.ª Entre los cabezos del Beal y San Ginés existe una depresión de alguna importancia, que indica que los terrenos estrato cristalinos en que arman los criaderos metalíferos, deben encontrarse a bastante profundidad, pero al mismo tiempo constituyen una importante acumulación de agua subterránea.

CAPÍTULO XII

INVESTIGACIONES MAGNÉTICA Y GRAVI- MÉTRICA EN BILBAO

Desde hace algún tiempo se ha sentido en Bilbao la preocupación de un posible agotamiento de sus reservas de mineral de hierro, y como consecuencia de ello se vienen intentando ciertos reconocimientos geológicos con la idea de resolver tan importante problema. Pero unificar los intereses de una gran ciudad industrial nunca es asunto fácil, y hasta el presente, y a pesar de que el Instituto Geológico y Minero de España se ha ofrecido a ayudar por todos sus medios a la resolución de tan vital problema, se puede decir que no se ha hecho mucho para llevar a cabo tan difícil misión.

Una parte del programa propuesto es el estudio geológico detallado de toda la zona posiblemente ferruginosa. Pero estos estudios han de ser complementados y confirmados por determinadas labores mineras y sondeos, trabajos siempre muy costosos, que, a su vez, deben ser precedidos de la prospección geofísica, siempre que ésta sea aplicable al mineral que se busca.

Debido a esto, el mencionado Centro ha encargado a su Sección de Geofísica la realización de algunos estu-

dios preparatorios que sirvan para comprobar el alcance de la aplicación de tales métodos en este problema.

La primera etapa de prueba ha sido la referente al método magnético, y si bien no estamos satisfechos en cuanto a sus resultados, por la pequeña susceptibilidad magnética, tanto de los carbonatos como de los óxidos de hierro de la zona, hemos de decir, sin embargo, que la labor no ha sido estéril, pues los datos obtenidos sirven de norma y comparación para futuras prospecciones de este tipo.

I. Descripciones geográfica y geológica

Breve descripción geográfica.

La configuración topográfica de los alrededores de Bilbao es muy accidentada. Sus cotas de nivel, en la pequeña extensión superficial que se ha elegido para este trabajo, pasan, rápidamente, desde las correspondientes al curso de la ría hasta los 300 y 400 metros que alcanzan los montes de Arraiz, Iturigorri y Anótegui, en la vertiente suroccidental de aquélla. En la margen opuesta se alzan también los montes de Mugarrieta y Archanda, de algo menor altitud y más suaves de configuración que los anteriores.

Esta circunstancia, unida a la profusión de líneas eléctricas y férreas y al movimiento general en los lugares inmediatos, ha dificultado mucho las prospecciones geofísicas.

Reseña geológica.

Como ya se ha expuesto en trabajos anteriores, la geología en las inmediaciones de Bilbao, y concretamente donde arma el criadero ferrífero de la zona, está representada esencialmente por la formación cretácea en sus dos grandes divisiones de tramos: el superior, constituido por areniscas, margas, calizas arcillosas y pizarreñas, o cayuela, del Cenomanense, y el inferior por las psamitas o areniscas micáceas y las calizas compactas del Urgoaptense. En este tramo arma el criadero mineral.

Como síntesis de esta previa orientación geológica hemos confeccionado los siguientes cortes estratigráficos de la zona, los cuales dan idea clara de la estructura interna de la misma. A continuación exponemos una breve explicación de cada uno de ellos:

CORTE N.º 1. —Corresponde a la traza longitudinal del criadero. Como en el mismo se observa, dicho criadero se hunde y sigue, en su marcha teórica, bajo la población de Bilbao. Esta circunstancia impide la prosecución de un estudio en tal sentido, hasta la zona de Deusto. Pero suponiendo que siga todavía mineralizado, es tal la actividad urbanizadora y tan alto el valor del suelo que haría difícil cualquier intento de explotación, como no sea en el sector de Baracaldo, y ello con todos los inconvenientes que representarían las labores a niveles inferiores al hidrostático. No obstante, en esta región no deja de ser interesante el estudio de la configuración subyacente para fines relacionados con la marcha o límite del criadero, como así se ha hecho con ayuda del gravímetro.

CORTE N.º 2. —Representa la disposición estratigráfica, en líneas generales, desde Arraiz, donde hubo en otro tiempo intensas explotaciones, hasta la margen derecha

de la ría y monte de Archanda. Tal disposición sinclinal en Arraiz, y anticlinal inmediato y desnudado, deja al descubierto el armazón calizo en posición casi vertical en los tres lugares de afloramiento ferruginoso; siguiendo posiblemente subhorizontal bajo la población y manifestándose con inclinación brusca a la derecha de la ría.

CORTE N.º 3.—Este corte está trazado también desde Arraiz por Iturrigorri, pasando por las minas de «San Luis», «Abandonada» y «El Morro», hasta Bolueta. Ofrece a la vista una interpretación de la disposición estratigráfica en la interesante zona explotada por dichas minas, además de la que pudiera ser objeto de investigación geofísica. Ésta queda comprendida entre las calizas, explotadas en parte en los parajes de Iturrigorri, y las rocas eruptivas que hasta ahora han limitado la conocida zona carbonatada del criadero; disposición que, considerada estratigráficamente, puede afectar la forma de sinclinal hundido.

CORTE N.º 4.—También de interés para el estudio que nos ocupa, presenta los dos flancos del anticlinal ferruginoso. Está trazado desde la Ermita de San Roque hasta el arroyo de Ezcaray, frente al Km. 115 de la carretera general de San Sebastián; indica, como su precedente, la posible disposición sinclinal en la zona de Anótegui o de la ermita mencionada. El anticlinal central, con el asomo de caliza coralígena mineralizada, se observa roto con la interposición en él de algunas fallas locales, apareciendo las psamitas del horizonte inferior del tramo.

Su flanco norte pasa suave y ondulante hacia la margen derecha de la ría.

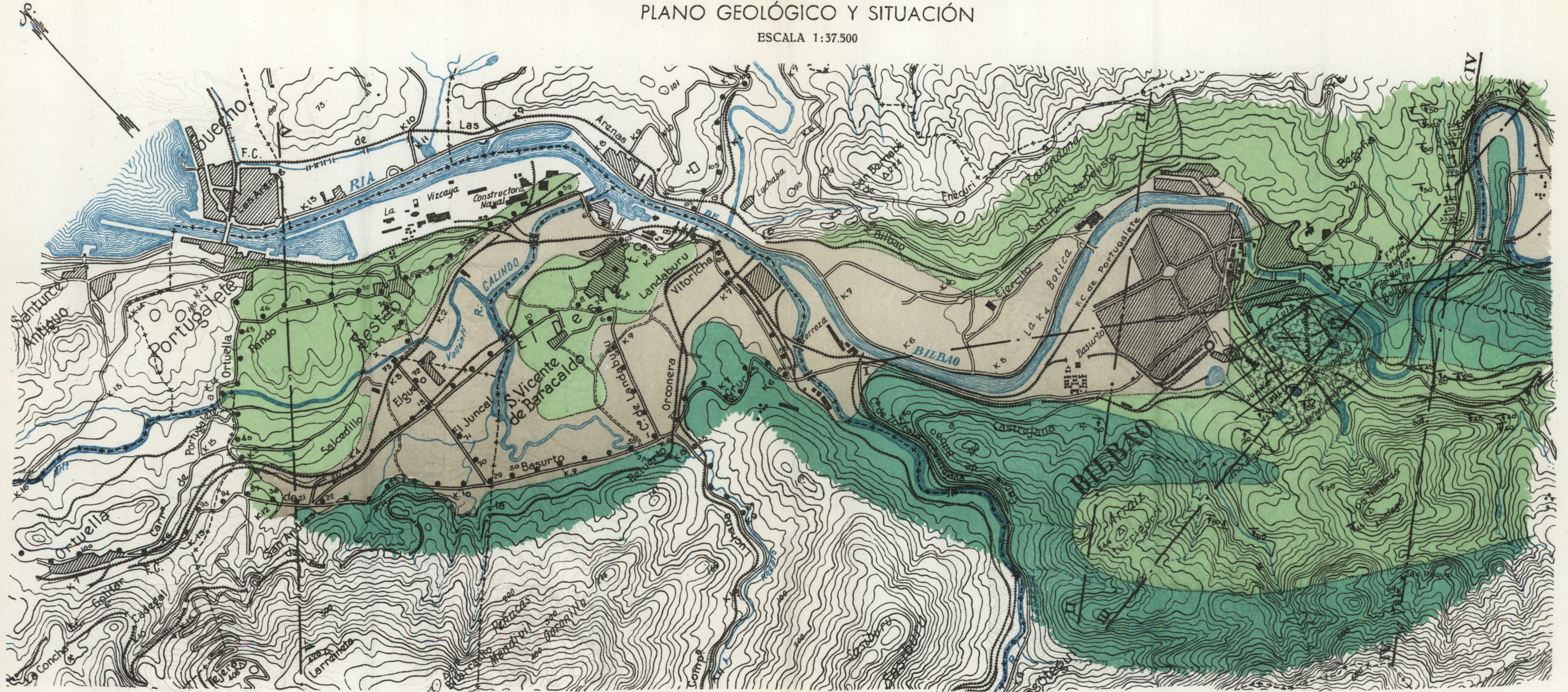
CORTE N.º 5.—Se ha trazado este corte desde la explotación de La Arboleda hasta la ría, en Portugaleta y Las Arenas.

En él se representa, de izquierda a derecha, el tramo

INVESTIGACIÓN MAGNÉTICA Y GRAVIMÉTRICA EN BILBAO

PLANO GEOLÓGICO Y SITUACIÓN

ESCALA 1:37.500



CUATERNARIO

INFRACRETÁCEO
(Psamitas)

INFRACRETÁCEO
(Criadero)

CRETÁCEO

+++ Zona investigación magnética

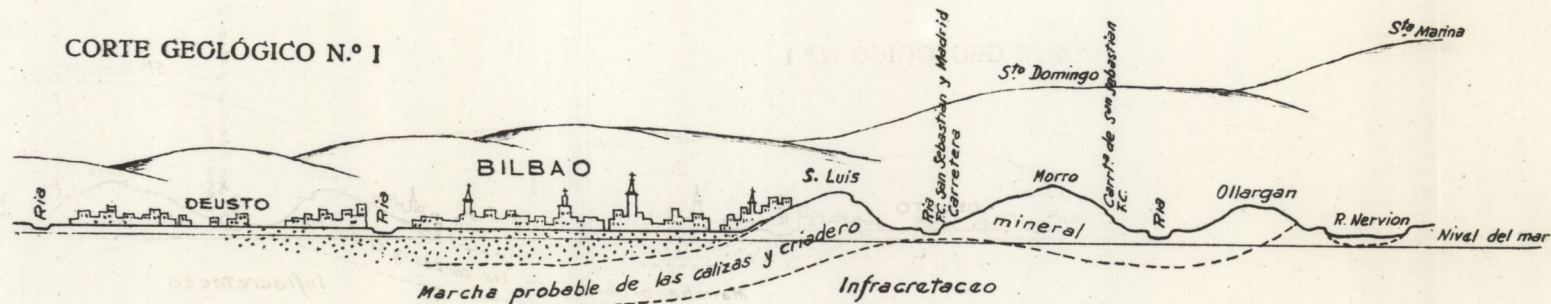
••• Zona investigación gravimétrica

INVESTIGACIÓN MAGNÉTICA Y GRAVIMÉTRICA EN BILBAO

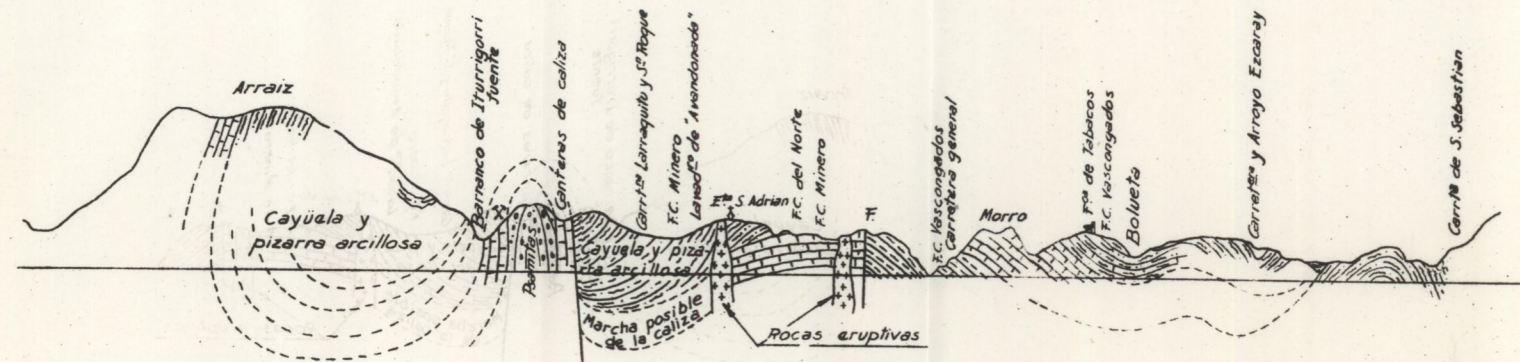
CORTES GEOLÓGICOS



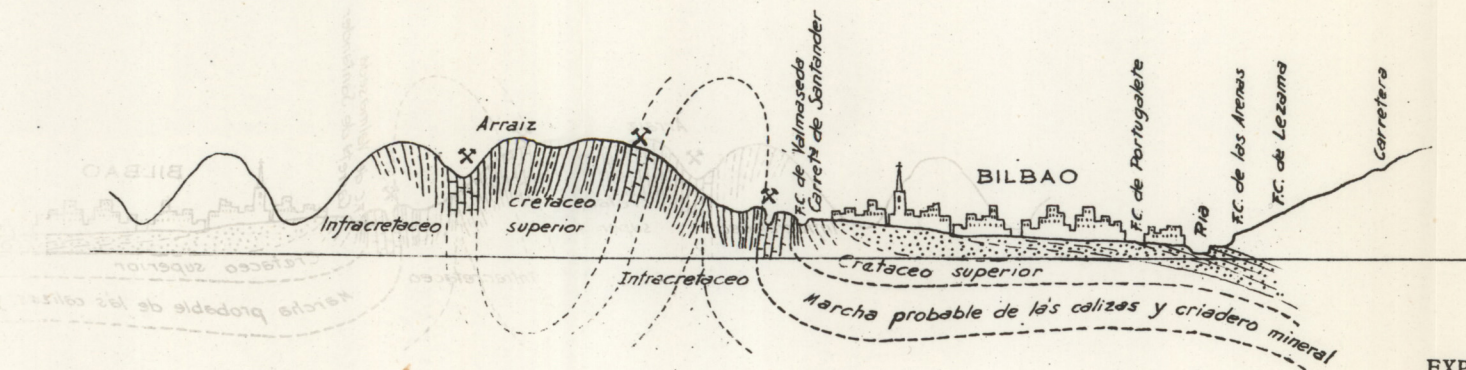
CORTE GEOLÓGICO N.º I



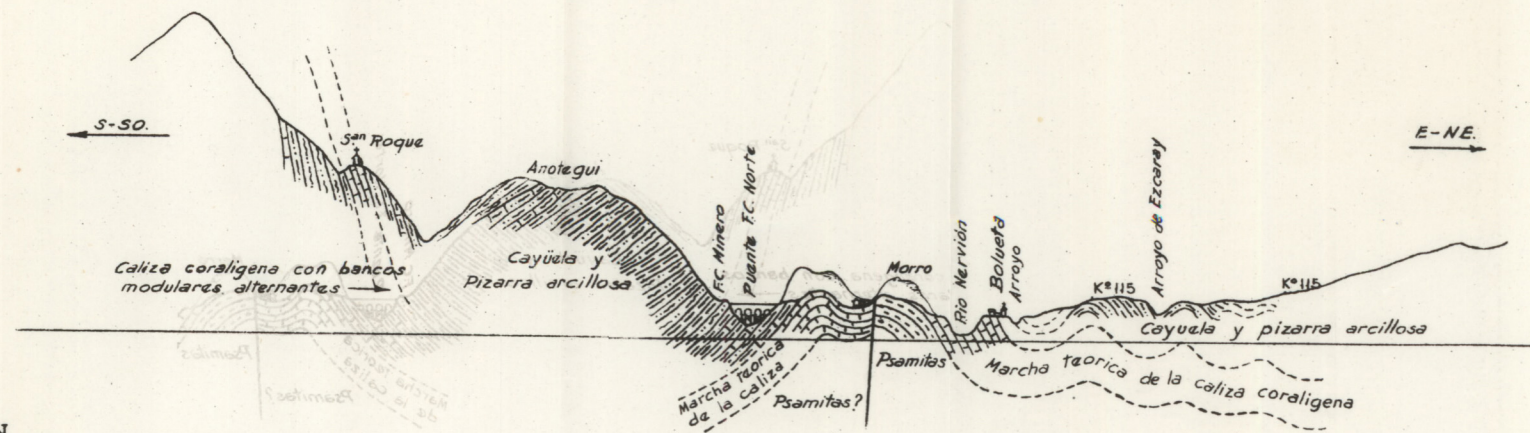
CORTE GEOLÓGICO N.º III



CORTE GEOLÓGICO N.º II



CORTE GEOLÓGICO N.º IV



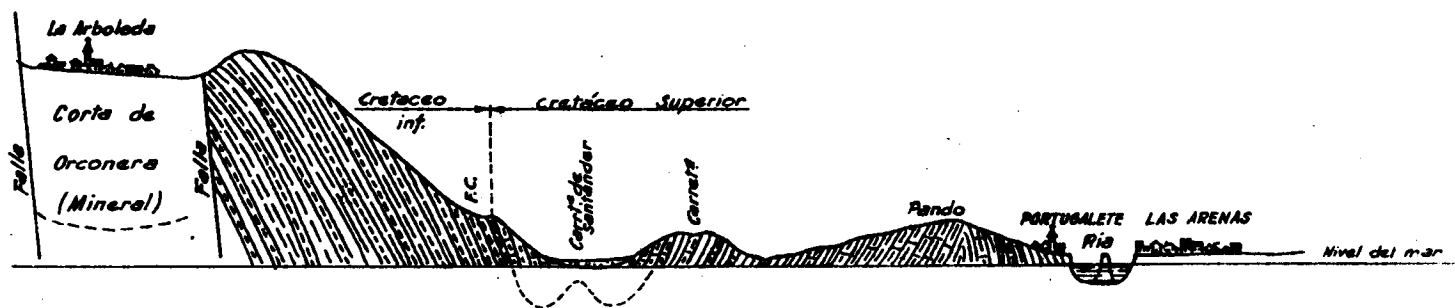
EXPLICACIÓN

CUATERNARIO
 INFRACRETÁCEO (Psamitas)

INFRACRETÁCEO (Criadero)
 CRETÁCEO

ESCALAS } Horizontal 1:37.500
 Vertical 1:15.000

INVESTIGACIÓN MAGNÉTICA Y GRAVIMÉTRICA EN BILBAO
CORTE GEOLÓGICO V, DESDE LA ARBOLEDA A LAS ARENAS



inferior cretáceo constituido por las calizas sabulosas, areniscas y psamitas que forman el flanco NE. de dicho criadero. Después de la falla del mismo rumbo, y pasado el ferrocarril minero, se superponen las calizas arcillosas, margas y cayuela del tramo superior del mismo terreno.

El conjunto estratigráfico adopta la forma de repliegue, cuyas líneas axiales en disposición anticlinal corresponden de un modo visible al montículo de Pande.

II. La investigación magnética

Como se ha indicado al principio, el mineral que se pretende localizar es en definitiva poco magnético, puesto que se trata del carbonato de hierro, cuya susceptibilidad magnética corrientemente es de 35×10^{-5} C. G. S. La del recubrimiento margoso se calcula en 3×10^{-5} C. G. S. próximamente, y las areniscas y las psamitas de fondo y las calizas de 1×10^{-5} C. G. S.; las diferencias resultan en principio suficientes para ser apreciadas por los variómetros. Pero, desgraciadamente, en la práctica éstas no han resultado bastante elevadas para la interpretación de los planos magnéticos obtenidos, dados los numerosos agentes exteriores que tienden a falsear las mediciones geofísicas.

El trabajo de campo se ha llevado a cabo con base auxiliar para compensar la variación diurna, que se ha realizado con otro variómetro fijo en la citada base. La distribución sobre el terreno se ha hecho en forma de perfiles. Éstos se efectuaron con el variómetro móvil, empezando y terminando cada día en la misma base.

El aparato instalado en ésta ha sido el n.º 97120, y el móvil el n.º 97118.

Todas las lecturas se han referido a la de la base, que se colocó a 50 m. al NE. del depósito de aguas de Bilbao.

Los perfiles correspondientes a la primera zona, ya reconocida, se han adaptado a la posición de los sondeos mecánicos que figuran en el plano magnético de situación, indicados S-I, S-A, etc., y a los senderos de la zona, para mayor rapidez en la ejecución del trabajo.

Los demás de la nueva superficie investigada se han hecho en forma de perfiles cruzantes de la estratificación, y de 25 y 50 metros de distancia mutua entre las estaciones, según va en sentido E.-O. o N.-S., respectivamente.

Con relación a la variación diurna se observó que adquiriría valores relativamente elevados cuando se hacían observaciones por la tarde. Pero organizado el trabajo para efectuar las lecturas de campo únicamente hasta las 14 horas, la corrección correspondiente a la variación diurna ha resultado muy pequeña durante el citado período operativo. A pesar de ello se han hecho las mediciones y efectuado las correcciones con todo cuidado, ya que, debido a lo reducido de las anomalías magnéticas observadas sobre el terreno, ha sido necesario llevarlas con la máxima minuciosidad.

MÉTODO OPERATORIO SEGUIDO.—Con el fin de reducir al mínimo los errores de lectura debidos al operador, se han efectuado en general cinco lecturas repetidas para cada estación y seis en la estación base para el cálculo de constantes de los aparatos en las condiciones del trabajo.

Dada la susceptibilidad magnética media de la zona investigada, fue necesario utilizar imanes deflectores de compensación en ambos aparatos.

Antes de hacer el cálculo del momento M de los imanes empleados, fue necesaria la determinación del valor de una división de la escala de cada variómetro. Para lle-

var esto a cabo se recurrió al método del campo artificial, que se hizo variar entre ciertos límites, para tres mediciones diferentes, admitiéndose como valor la media aritmética entre los calculados.

La marcha que se ha seguido puede verse en los estados de cálculo que acompañan a la memoria.

Según se observa, primero se hicieron las oportunas mediciones de constantes para el aparato n.º 97120, que se empleó en la base, dando como resultado un valor $\epsilon = 29,2$ gammas. Posteriormente, y debido a la necesidad de cambiar el ágata del instrumento, se volvió a repetir el cálculo, dando esta vez el valor $\epsilon = 29,9$ gammas. Una segunda corrección del aparato hizo recomendable repetir las mismas operaciones por tercera vez, consiguiéndose un resultado de $\epsilon = 33,2$, valor empleado desde la fecha en que se hizo ésta hasta el final de la investigación.

Repitiendo el mismo cálculo de ϵ para el aparato número 97118, que se utilizó para la realización de los perfiles magnéticos, se obtuvo y comprobó en diferente fecha el valor $\epsilon = 33,3$ con imán n.º 3144 y $R = 26$ centímetros. Para todas las operaciones de campo se tomó este valor. A continuación se hizo el cálculo del momento M para diferentes imanes deflectores en la posición principal de Gauss, empleándose para la realización de los perfiles únicamente el imán n.º 3144, cuyo momento dio un valor de $M = 194,2$.

Por tratarse de una investigación de ensayo, y por tanto siendo de mucho interés ir observando las diferencias que se pudiesen producir al cambiar las condiciones de trabajo de los aparatos, unido al incidente ya mencionado de tener que cambiar el ágata del aparato 97120, se han empleado, aunque sin necesidad, distintos imanes deflectores para este variómetro.

De todos ellos hubo que hacer el cálculo del momento M en la posición principal de Gauss, obteniéndose los siguientes valores.

Para el n.º 2144, $M = 700,4$
 — — 3142, $M = 139,30$
 — — 4407, $M = 71,5$

Los estados de cálculo, que se encuentran a continuación de los mencionados, se refieren a las lecturas del variómetro fijo de la *BASS* y del variómetro móvil. En ambos se han efectuado las lecturas por quintuplicado para reducir los errores.

Los siguientes se refieren a la determinación de la variación diurna. Suele tener bastante importancia y en este caso, en que son pequeñas las anomalías magnéticas del terreno, ha sido indispensable efectuarla. Sin embargo, en los correspondientes estados se puede comprobar cómo la variación diurna no ha llegado nunca a ser del orden de 50 gammas entre las horas en que se han realizado las lecturas de campo.

Dada la pequeña extensión de la zona prospectada, no ha sido necesario llevar a cabo la corrección de la variación normal, por resultar muy pequeña.

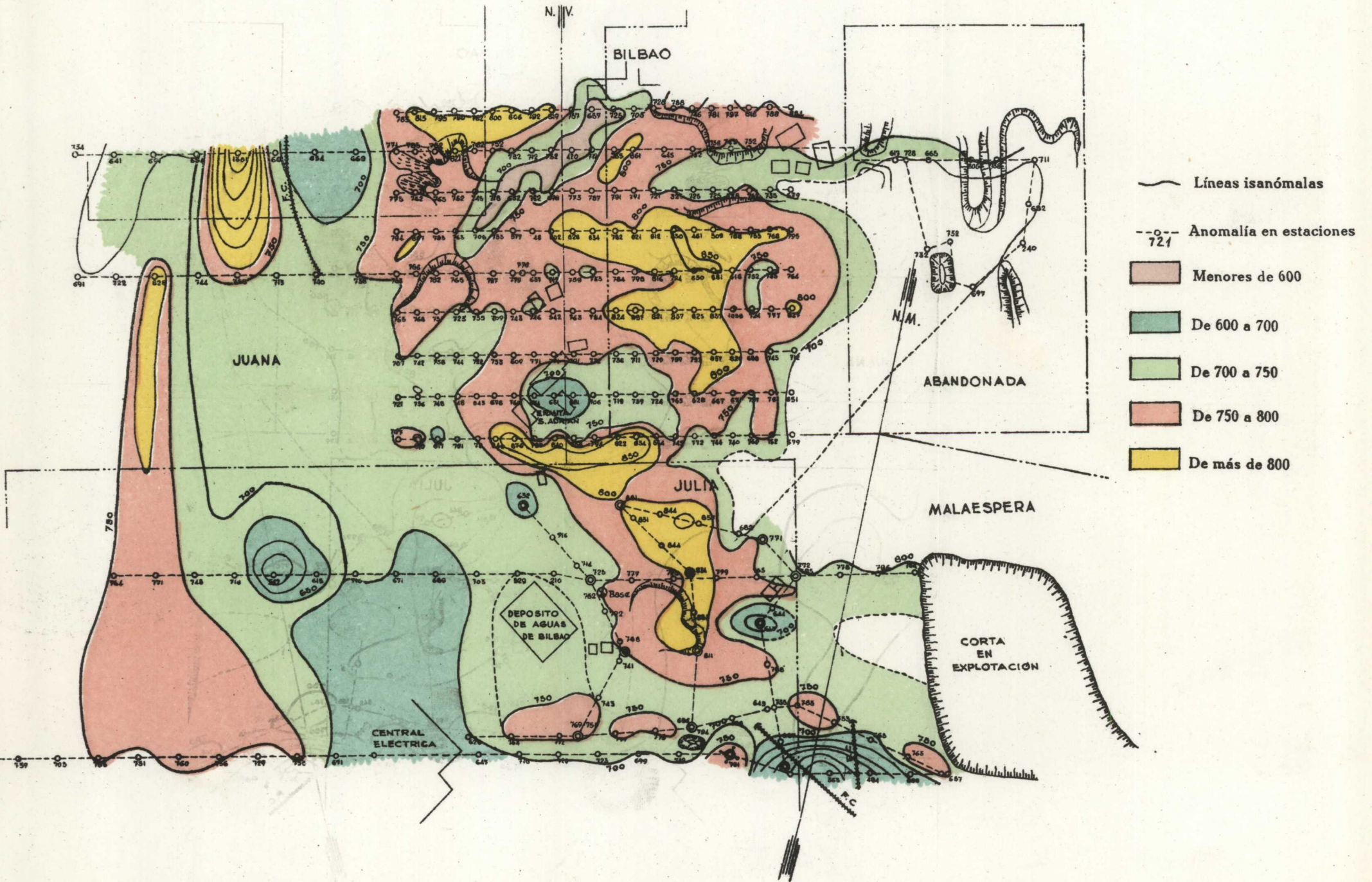
Por último, en el estado que se ha llamado «Cálculo de las anomalías magnéticas», se han indicado en forma ordenada los siguientes datos: la numeración de las estaciones del terreno; la hora; el promedio de las lecturas, su correspondiente componente en gammas; la variación diurna; la componente corregida con ella; la variación que le ha producido el imán en gammas; la componente corregida con el anterior valor, y, por último, la anomalía a partir de un punto arbitrario de valor 1452 gammas, elegido con el fin de que todas las anomalías fuesen positivas.

El trabajo de campo ha quedado distribuido en forma

○ INVESTIGACIÓN MAGNÉTICA Y GRAVIMÉTRICA EN BILBAO

○ PLANO MAGNÉTICO

ESCALA 1:6.000



de 12 perfiles con equidistancias entre las estaciones del orden de 25 a 50 m., según las zonas, sumando un total de 300 estaciones observadas.

Trazadas sobre el correspondiente plano horizontal las curvas isanómalas, han servido únicamente para comprobar que las variaciones magnéticas producidas por los agentes externos que estorban el buen funcionamiento de los aparatos, es superior a las variaciones producidas por la susceptibilidad magnética de las rocas investigadas, al menos en esta zona. Sin embargo, no perdemos la esperanza de que en las posibles prolongaciones del criadero, fuera de las influencias eléctricas de la ciudad, sea posible llegar a conseguir resultados más prácticos de los que se han obtenido en este estudio previo.

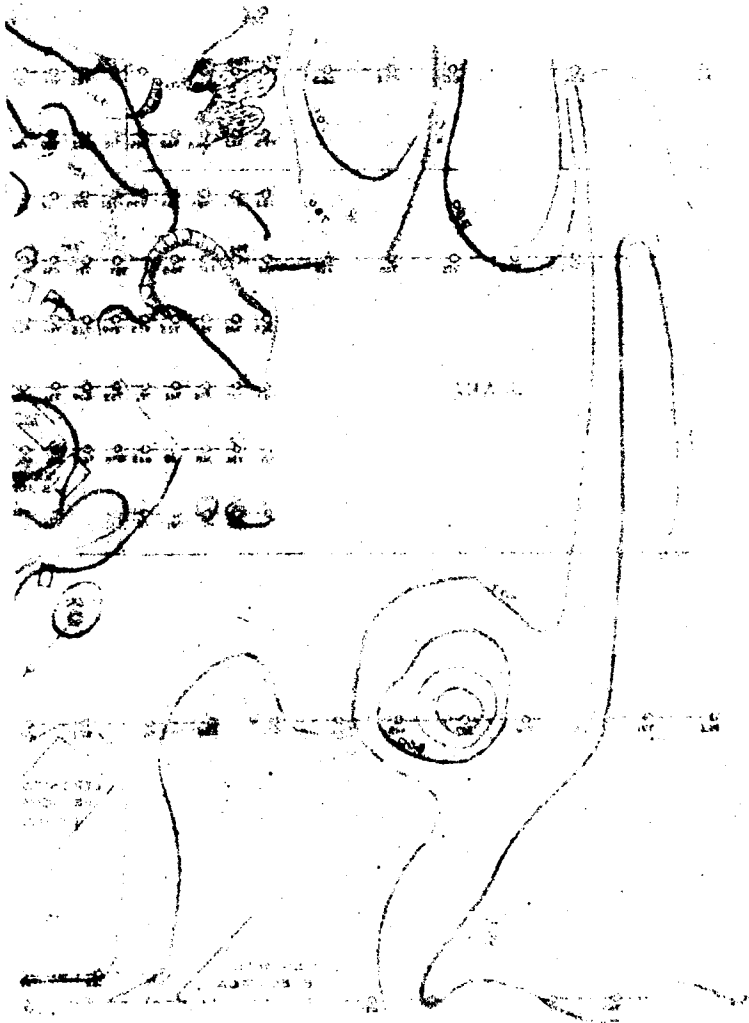
III. La investigación gravimétrica

La prospección gravimétrica se ha realizado con el gravímetro estático de Nörsgaard, distribuyendo las estaciones sobre la zona correspondiente al perímetro formado por la ría de Bilbao, el río Cadagua y los pueblos de Burcena, Ortuella y Portugalete.

La investigación se ha llevado en forma de polígonos cerrados a lo largo de las diferentes carreteras y caminos de la zona, calculándose un total de 116 estaciones útiles efectuadas sobre el terreno, además de las consiguientes repeticiones para el cierre de polígonos.

Las estaciones se han hecho cada 250 metros.

La estación base, que lleva el n.º 1 y se repite al principio y final del trabajo diario, se ha situado junto al mojón del Km. 8 de la carretera de Landaburu a Retuerto, y su altitud sobre el nivel del mar es de 10,5 metros.



Para las correcciones de Bouguer (B) y al aire libre (H) se han utilizado las fórmulas que van impresas en los estados de cálculo, aplicando la densidad 2 en la correspondiente a la acción del terreno. Hasta llegar a las anomalías que han de ser interpretadas geológicamente, se han hecho, además de las mencionadas correcciones de la temperatura, la de deriva y la de latitud. Con el fin de que todas las anomalías tengan un valor positivo, se ha partido del valor de la gravedad en un punto arbitrario, cuya magnitud en este caso ha sido de 978480 mgls.

En la última columna de los estados de cálculo se anotan las anomalías de la gravedad obtenidas de acuerdo con ellos. Estas han sido, en general, del orden de 6 a 10 mgls., variando entre los límites de 3,96 de mínimo la estación 114, y 17,21 de máximo la estación n.º 101.

Una vez situadas estas anomalías sobre el plano horizontal, indicando el número de orden de la estación y su valor en mgls., se han trazado las curvas isanómalas a equidistancia de un miligal.

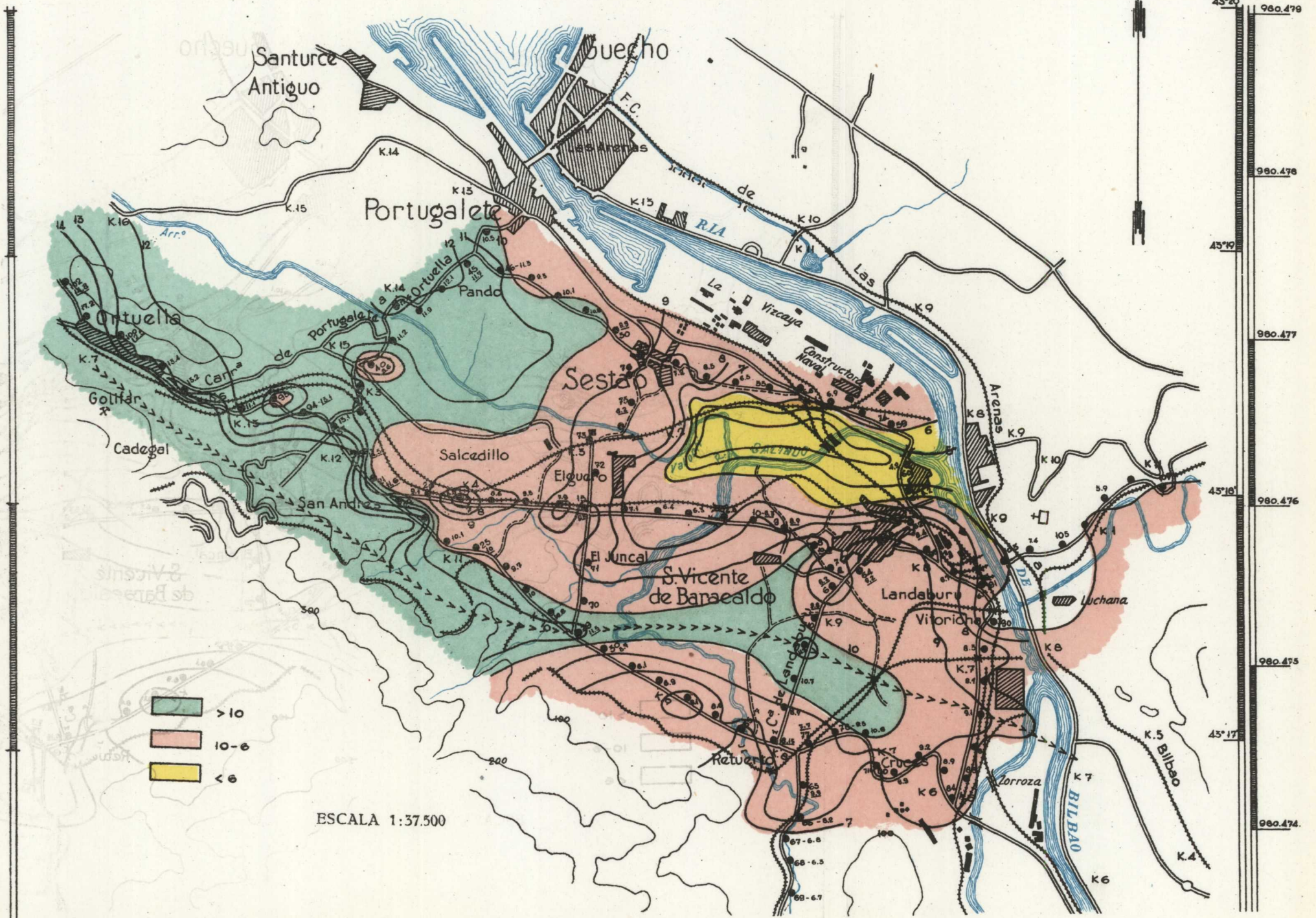
Con el fin de distinguir sobre el plano las distintas zonas según su valor gravimétrico, se destacan las de menos de 6 mgls., las comprendidas entre 6 y 10 mgls. y las de más de 10 mgls.

Observando el plano horizontal en conjunto después de trazadas las mencionadas curvas, se deduce que por los lugares del Km. 6,5 de la carretera de Zorroza a Vitoricha; Km. 9 de la carretera de Retuerto a Landaburu; Km. 10 de la carretera de Bilbao a Ortuella, y proximidades de Ortuella al Sur, pasa un eje gravimétrico que hay que interpretar geológicamente. Recorriendo el terreno, se ve la posibilidad de que no coincida tal eje con el de un anticlinal geológico real secundario, sino que se deba a las anomalías producidas por el contacto ondulado y discordante



INVESTIGACIÓN MAGNÉTICA Y GRAVIMÉTRICA EN BILBAO

PLANO GRAVIMÉTRICO



del Cuaternario con este Secundario. Sin embargo, hemos de decir que este trabajo de ensayo no solamente no ha sido estéril, sino que nos sugiere la conveniencia de una ampliación por las zonas de Deusto, por donde debe pasar la prolongación del supuesto anticlinal, pues quizá con ella se llegue a resolver el problema planteado.

IV. Conclusiones

Del conjunto de la presente investigación geofísica, se deduce lo siguiente:

1.º Que dadas las dificultades que se producen en la zona de Bilbao, debido a la concentración de industrias y de líneas eléctricas, etc., y teniendo además en cuenta la pequeña susceptibilidad magnética del mineral que se trata de buscar, el método magnético no ofrece garantías. Sin embargo, no desconfiamos de que en otros lugares de la misma provincia, no afectados por estos agentes nocivos, se pueda aplicar el método con mejor éxito.

2.º Con relación a los datos del estudio realizado en el gravímetro, se llega a la conclusión de que existe un eje gravimétrico, que puede corresponder en principio con un anticlinal geológico de las mencionadas calizas secundarias, si bien, por estar hecho el trabajo sobre una pequeña cubeta cuaternaria, pueden estar enmascarados estos resultados por la influencia del contacto de los terrenos modernos de recubrimiento.

3.º Que, para terminar de aclarar este problema, se propone la prolongación del estudio gravimétrico sobre la zona llana de Deusto.

INVESTIGACIÓN MAGNÉTICA EN BILBAO

Cálculo de ϵ por medio de un campo magnético artificial

Imán 2144 N \uparrow
Distancia = R = 34 cm.

Variómetro vertical, n.º 97.120. Fecha 21-VI-1947
Observador: Sres. Mesa y Melián

1.ª determinación:

+ E -		+ O -	
Est. B	Hora 9,20	Est. B	Hora 9,20
5,8	0,7	5,3	0,2
6,7	0,2	6,5	0,4
7,2	0,2	6,0	0,4
6,7	0,2	5,8	0,4
5,7	0,4	4,8	0,1
5,7	1,0	4,8	0,6
37,8	2,7	33,2	2,1
+ 6,3	+ 0,4	+ 5,5	- 0,3
Diferencia 5,9		Diferencia 5,8	
n = Promedio = 5,8			

$K = \text{Constante del cuadro} = 31,4$
 $I = \text{Intensidad corriente} = 5 \text{ m. A.}$
 $n = \text{Desviación total} = 5,8$
 $\epsilon = \frac{31,4 \times 5}{5,8} = 27,1$

2.ª determinación:

Est. B		Est. B	
Hora 9,40	Hora 9,40	Hora 9,40	Hora 9,40
6,5	2,3	5,3	3,0
6,3	2,7	6,2	3,0
7,0	2,6	6,5	3,1
7,2	3,0	6,4	3,7
7,4	3,0	6,4	3,9
7,2	3,0	6,4	3,6
41,6	2,8	37,2	20,3
+ 6,9	- 2,8	+ 6,2	- 3,4
Diferencia 9,7		Diferencia 9,6	
n = Promedio = 9,7			

$K = \text{Constante del cuadro} = 31,4$
 $I = \text{Intensidad corriente} = 9 \text{ m. A.}$
 $n = \text{Desviación total} = 9,7$
 $\epsilon = \frac{31,4 \times 9}{9,7} = 29,2$

3.ª determinación:

Est. B		Est. B	
Hora 10,0	Hora 10,0	Hora 10,0	Hora 10,0
2,2	2,0	1,7	3,1
2,3	2,8	1,5	3,1
2,3	2,6	1,7	3,0
3,2	2,0	2,6	2,4
3,7	1,8	2,9	2,4
3,8	1,9	2,8	2,7
17,5	13,1	13,2	16,7
+ 2,9	- 2,2	+ 2,2	- 2,8
Diferencia 5,1		Diferencia 5,0	
n = Promedio = 5,0			

$K = \text{Constante del cuadro} = 31,4$
 $I = \text{Intensidad corriente} = 5 \text{ m. A.}$
 $n = \text{Desviación total} = 5$
 $\epsilon = \frac{31,4 \times 5}{5} = 31,4$

1.ª determinación: $\epsilon = 27,1$
 2.ª $\epsilon = 29,2$
 3.ª $\epsilon = 31,4$
 Suma = 58,5
 Promedio $\epsilon = 29,5$

INVESTIGACIÓN MAGNÉTICA EN BILBAO

Cálculo de M por medio de imanes directores en las posiciones principales de Gauss

Variómetro vertical, n.º 97.120. Fecha 21-VI-1947
Observador: Sres. Mesa y Melián

1.ª determinación:

Est. B		Est. B	
Hora 9,50	Hora 9,50	Hora 10,25	Hora 10,25
Con imán R,34		Con imán R,33	
E	O	E	O
2,0	1,7	8,7	9,0
3,0	3,0	8,4	9,4
3,0	2,8	8,8	9,6
2,1	8,8	8,8	9,7
2,7	9,2	9,2	9,9
12,8	11,3	43,9	47,6
+ 2,6	+ 2,2		- 9,5
Promedio + 2,4		Promedio 9,0	
n = Diferencia = 11,5			

Imán n.º 2144 } \textcircled{a} m/m.
 } \textcircled{b} m/m. $M = 704,7 \cdot 10^6 \gamma \cdot \text{cm.}^{-2}$
 $R = 34 \text{ c/m.}$

$n = \text{Diferencia} = 11,5$ Fórmula $\frac{2M}{R^3} = n \cdot \epsilon$
 $\frac{2M}{R^3} = 29,2$

2.ª determinación:

Est. B		Est. B	
Hora 10,35	Hora 10,35	Hora 10,45	Hora 10,45
Con imán		Con imán R,33	
E	O	E	O
2,8	1,6	1,0	10,7
1,5	1,7	9,1	10,3
1,6	0,6	9,3	10,6
1,3	0,7	8,6	10,5
1,8	1,0	8,8	9,5
2,2	1,0	8,8	9,7
11,2	6,6	54,6	61,3
+ 1,9	+ 1,1	- 9,1	- 10,2
Promedio + 1,5		Promedio - 9,6	
n = Diferencia = 11,1			

Imán n.º 2144 } \textcircled{a} m/m.
 } \textcircled{b} m/m. $M = 679,7 \cdot 10^6 \gamma \cdot \text{cm.}^{-2}$
 $R = 33 \text{ c/m.}$

$n = \text{Diferencia} = 11,1$ Fórmula $\frac{2M}{R^3} = n \cdot \epsilon$
 $\frac{2M}{R^3} = 29,2$

3.ª determinación:

Est. B		Est. B	
Hora 11,0	Hora 11,0	Hora 11,0	Hora 11,0
Con imán		Con imán R,33	
E	O	E	O
2,3	1,3	9,5	10,8
3,2	1,9	10,0	11,0
3,2	2,2	10,0	10,8
3,2	4,8	9,8	10,6
1,4	0,4	10,0	10,6
1,4	0,6	9,3	10,3
14,7	8,2	58,6	64,2
+ 2,4	+ 0,4	- 9,9	- 10,7
Promedio + 1,4		Promedio - 10,3	
n = Diferencia = 11,7			

Imán n.º 2144 } \textcircled{a} m/m.
 } \textcircled{b} m/m. $M = \dots \cdot 10^6 \gamma \cdot \text{cm.}^{-2}$
 $R = 33 \text{ c/m.}$

$n = \text{Diferencia} = 11,7$ Fórmula $\frac{2M}{R^3} = n \cdot \epsilon$
 $\frac{2M}{R^3} = 29,2$

1.ª determinación: $\epsilon = 704,7$
 2.ª $\epsilon = 679,9$
 3.ª $\epsilon = 716,6$
 Suma = 2101,2
 Promedio $\epsilon = 700,4$

INVESTIGACIÓN MAGNÉTICA EN BILBAO

Variómetro vertical, n.º 97.118. $\epsilon = 33,3$. Fecha VII-1947. Calculador: Sres. Mora y Meisón

Variómetro vert. 97.120 (variación diurna) $\epsilon = 29,2$

Cálculo de las anomalías magnéticas

Día	Estación	Horas	Promedios	Componente	Variación diurna	Componente corregida	Variación normal	Componente corregida	N.º
22	B	9,05	- 0,1	- 3		- 3	+ 2207	+ 2204	1
	S-7	9,25	- 3,7	- 123		- 123		+ 2084	2
	1	9,45	+ 4,4	+ 153	- 8	+ 167		+ 2368	3
	2	10,10	- 16	- 53	- 12	- 41		+ 2166	4
	S-5	10,30	- 0,6	- 20	- 12	- 8		+ 2199	5
	3	11,0	- 0,1	- 33	0	- 33		+ 2174	6
	4	11,30	+ 0,8	+ 27	- 6	+ 33		+ 2240	7
	5	11,55	- 0,6	- 20	- 6	- 14		+ 2193	8
	6	12,15	- 0,6	- 20	- 8	- 12		+ 2195	9
	S-4	12,45	- 0,7	- 23	- 19	- 4		+ 2203	10
23	B	13,15	- 11	+ 37	- 29	- 8		+ 2199	11
	B	8,55	0,0	0	- 6	+ 6		+ 2213	12
	S-I	9,50	+ 0,2	+ 7	- 24	+ 31		+ 2238	13
	E	10,05	- 0,2	- 7	- 29	+ 22		+ 2229	14
	S	10,30	+ 0,2	+ 7	- 29	+ 36		+ 2243	15
	O	10,35	+ 0,3	+ 10	- 29	+ 39		+ 2246	16
	S-3	10,45	+ 0,3	+ 10	- 29	+ 39		+ 2264	17
	S-4	11,05	+ 0,8	+ 27	- 29	+ 56		+ 2263	18
	7	11,45	+ 2,0	+ 67	- 29	+ 96		+ 2303	19
	8	12,0	+ 1,5	+ 50	- 29	+ 79		+ 2286	20
	9	12,10	- 1,8	+ 60	- 29	+ 89		+ 2296	21
	10	12,25	+ 1,4	+ 47	- 29	+ 76		+ 2283	22
	S-8	12,35	+ 0,8	+ 27	- 29	+ 56		+ 2263	23
	11	12,50	+ 1,8	+ 60	- 29	+ 89		+ 2296	24
	12	13,0	+ 2,2	+ 73	- 29	+ 102		+ 2309	25
	B	13,10	- 1,6	- 53	- 29	- 26		+ 2181	26

CÁLCULO DE LAS ANOMALÍAS DE LA GRAVEDAD

$$G_1 = L + D + \gamma_0 (\gamma_0 \text{ de un punto arbitrario})$$

$$H = \frac{2h}{R} \cdot g$$

$$B = \frac{3}{2} \cdot \frac{h}{R} \cdot \frac{\theta}{\theta_m} \cdot g$$

$$g''_0 = G_1 + H - B$$

$$A = g''_0 - \gamma_0$$

Investigación en Bilbao

DATOS DE LAS OBSERVACIONES CON GRAVÍMETRO

Perfil	ESTACIONES		Fecha — Mes y día	Hora	VALORES EN m. GALS.			Den- sidad θ	Altitud h	REDUCCIÓN AL NIVEL DEL MAR				Anomalia m. Gals. A
	N.º	Referencia			Lectura L	Deriva D	Gravedad ($\gamma_0 = 978480$) G_1			CORRECCIONES EN m. GALS.		GRAVEDAD EN m. GALS.		
										H	B	Obtenida g''_0	Teórica γ_0	
1	1	Km. 8 carretera Landaburu a Retuertos.	1948 Julio 26	10,30	2000,35	+ 0,00	2000,35	2,00	10,5	3,23	0,88	980482,70	980474,55	8,15
—	2	A 250 m. del 1 en c.º ídem, íd.	—	11,05	2000,53	+ 1,14	2001,67	—	8,8	2,71	0,74	483,64	474,76	8,88
—	3	A 250 m. del 2 ídem, íd.	—	11,30	2001,86	+ 1,96	2003,82	—	8,3	2,55	0,69	485,68	474,94	10,74
—	4	A 250 m. del 3 ídem.	—	11,40	2002,71	+ 2,28	2004,99	—	8,3	2,55	0,69	485,85	475,13	11,72
—	5	A 170 m. del 4 ídem, íd.	—	11,55	2000,45	+ 2,77	2003,22	—	8,6	2,65	0,72	485,15	475,32	9,83
—	6	Km. 9 de la ídem, íd.	—	12,10	1995,34	+ 3,26	1998,60	—	22,8	7,01	1,91	483,70	475,47	8,23
—	7	A 250 m. del 6 ídem.	—	12,55	1992,26	+ 4,73	1996,99	—	29,5	9,08	2,47	483,60	475,56	8,04
—	8	A 250 m. del 7 ídem y calle Victoria.	—	13,05	1994,69	+ 5,22	1999,91	—	29,8	9,17	2,49	486,58	475,74	10,85
—	9	A 250 m. del 8 ídem nueva Galinda.	—	13,15	1992,57	+ 5,39	1997,96	—	30,2	9,29	2,52	484,73	475,84	8,88
—	1	Km. 8 carretera Landaburu a Retuertos.	—	13,40	1993,93	+ 6,42	2000,35	—	10,5	3,23	0,88	482,70	474,55	8,15
—	1	Km. 8 carretera Landaburu a Retuertos.	Julio 27	7,00	1995,09	+ 5,26	2000,35	—	—	—	—	—	—	—
—	9	A 250 m. del 8 en carretera nueva Galinda.	—	7,15	1990,69	+ 5,43	1996,12	—	30,2	9,29	2,52	482,90	475,84	7,06
—	10	A 250 m. del 9 ídem, íd.	—	7,25	1994,08	+ 5,54	1999,62	—	20,3	6,25	1,69	484,18	475,88	8,30
—	11	A 250 m. del 10 ídem.	—	7,35	1994,79	+ 5,66	2000,45	—	10,2	3,14	0,85	482,74	475,90	6,84
—	12	A 250 m. del 11 ídem.	—	7,45	1995,07	+ 5,77	2000,84	—	8,3	2,55	0,69	482,70	475,91	6,28
—	13	A 250 m. del 12 ídem.	—	7,55	1994,67	+ 5,88	2000,55	—	8,1	2,49	0,68	482,37	475,93	6,44
—	14	A 250 m. del 13 ídem.	—	8,05	1995,23	+ 6,00	2001,23	—	8,3	2,55	0,69	483,08	475,95	7,14
—	15	A 250 m. del 14 cruce carreteras.	—	8,15	1997,12	+ 6,11	2003,23	—	8,9	2,74	0,74	485,23	475,97	9,26
—	16	A 250 m. del 15 carretera nueva Galinda.	—	8,25	1995,53	+ 6,23	2001,76	—	9,5	2,92	0,79	483,88	475,99	7,90

CORRECCIÓN DE LECTURA Y TEMPERATURA

Investigación gravimétrica en Baracaldo (Vizcaya).
Baracaldo, 26 de julio de 1948.

Gravímetro Nørgaard n.º 255.

Corrección de la lectura micrométrica: 0,043.

Observador: Sr. Melián.

Corrección de temperaturas: $K(T_o - T_i)^2$ } $K = 0,025$.
 $T_i = 18^\circ$.

Estación n.º 1

Hora 10,30

Altitud 10,5

Temperaturas	LECTURAS			Δg_0 0,043 m ²	Corrección de temperatura	Valor corregido — Miligals	Observaciones
	Micrómetro Derecha	Micrómetro Izquierda	Media Divisiones		0,025 (18 - t _i) ²		
23º,7	17,005,4	16,175,0	16,190,2	$m/m = 16,951,0$ $m = 16,908$ $m^2 = 285,880$ $7 m^2 = 2001,16$	- 0,812	2.000,35	1.—Km. 8 de la carretera de Landaburu a Retuertos, frente a la Iglesia del Sagrado Corazón de Jesús.
23º,4	17,005,4	16,175,0	16,190,2				
	17,005,0	16,175,4	16,190,2				
	17,005,0	16,175,0	16,190,2				
	Media total		16,190,2				

Estación n.º 2

Hora 11,05

Altitud 8,8

23º,9	17,010,0	16,171,0	16,190,5	$m/m = 16,952,5$ $m = 16,909$ $m^2 = 285,914$ $7 m^2 = 2001,40$	- 0,870	2.000,35	2.—A 250 metros del 1, en la carretera de Landaburu a Retuertos.
23º,6	17,010,0	16,171,0	16,190,5				
	17,010,2	16,170,8	16,190,5				
	17,010,2	16,170,8	16,190,5				
	Media total		16,190,5				

Estación n.º 3

Hora 11,30

Altitud 8,3

24º,2	17,007,9	16,175,3	16,191,6	$m/m = 16,958,0$ $m = 16,915$ $m^2 = 286,117$ $7 m^2 = 2002,82$	- 0,961	2.001,86	3.—A 1250 metros del 2, en la carretera de Landaburu a Retuertos.
23º,8	17,007,9	16,175,3	16,191,6				
	17,007,7	16,175,5	16,191,6				
	17,007,7	16,175,5	16,191,6				
	Media total		16,191,6				

Estación n.º 4

Hora 11,40

Altitud 8,3

24º,5	17,006,0	16,179,0	16,192,5	$m/m = 16,962,5$ $m = 16,919$ $m^2 = 286,253$ $7 m^2 = 2003,77$	1,056	2.002,71	4.—A 250 metros del 3, en la carretera de Landaburu a Retuertos.
24º,0	17,006,0	16,179,0	16,192,5				
	17,006,2	16,178,8	16,192,5				
	17,006,2	16,178,8	16,192,5				
	Media total		16,192,5				

Estación n.º 5

Hora 11,55

Altitud 8,6

24º,9	17,008,2	16,173,2	16,190,7	$m/m = 16,953,5$ $m = 16,911$ $m^2 = 285,948$ $7 m^2 = 2001,64$	1,190	2.000,45	5.—A 170 metros del 4, en el cruce de la carretera de Landaburu a Retuertos con camino a Zuzu.
24º,4	17,008,2	16,173,2	16,190,7				
	17,008,4	16,173,0	16,190,7				
	17,008,4	16,173,0	16,190,7				
	Media total		16,190,7				

CAPÍTULO XIII

INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA EN EL LLANO DEL BEAL (CARTAGENA)

Como consecuencia de la sugerencia hecha por D. Bernardino Rolandi, en su memoria sobre la Sierra de Cartagena, la Sección de Geofísica de este Centro recibió el difícil encargo de hacer un reconocimiento con ayuda de sus métodos en aquella zona minera.

Estudiadas *a priori* las posibilidades de éxito en el asunto, se dijo entonces que, en conciencia, no creíamos que por ninguno de los procedimientos geofísicos se podrían localizar con garantía las masas de mineral. Pero, sin embargo, ante la indicación de la conveniencia de iniciar tan importante problema, y teniendo en cuenta que esta Sección nunca ha eludido investigaciones de las que se pudiesen sacar al menos deducciones de orden científico y de interés para futuras prospecciones, aceptamos la difícil misión con las consiguientes reservas y sin muchas esperanzas de resultados fructíferos.

El método empleado ha sido el eléctrico de corriente continua. La zona de trabajo se ha limitado a El Llano del Beal, y la finalidad material ha sido la de localizar las calizas secundarias y masas hipogénicas, entre las que en

términos generales hemos podido comprobar se encuentran las mayores riquezas minerales de la región estudiada.

Veremos más adelante cómo los resultados obtenidos en conjunto no están exentos de interés.

I. Fundamento de la investigación

En opinión de una gran parte de los ingenieros de Minas y otros técnicos que han tomado parte activa en la vida del distrito minero de Cartagena, y en especial en la del Sr. Rolandi, deben de quedar aún importantes reservas de minerales en las entrañas de la que fue tan exuberante sierra en el orden minero, sobre todo en el siglo pasado. Su creencia llega al punto de que pueda llegar a ser posible la repetición de aquella esplendorosa época, para bien de la riqueza nacional.

Debemos, sin embargo, hacer constar nuestro distinto criterio, después de recorridos geológicamente aquellos lugares en cuanto a la posible prolongación de ciertos filones bajo los llanos terciarios y cuaternarios, pues creemos que, dado su origen y tipo de formación, no han de extenderse hasta muy lejos de su raíz, que son las propias masas hipogénicas que han dado lugar a la creación de tan importantes yacimientos. Más adelante se expondrá en términos generales la génesis de los mencionados criaderos.

Considerado de conveniencia el citado tanteo geofísico, a pesar de todo lo expuesto, se tomó la decisión de hacerlo por el método más apropiado y al mismo tiempo más económico, como es el eléctrico, evitándose con ello la aplicación de otros más onerosos, si de las conclusio-

nes de esta previa intervención no resultasen aconsejables.

II. Reseñas geográfica y geológica

SITUACIÓN DE LA ZONA ELEGIDA.—Teniendo en cuenta que la aludida sierra de Cartagena abarca, en el orden minero, desde el Cabo de Palos hasta la misma población, por lo menos, y es prudente sistematizar la investigación dividiéndola en zonas, empezando por aquellos lugares que, dentro de circunstancias análogas para el éxito del trabajo, sean más fáciles y relativamente económicas, se ha elegido para este previo tanteo, según el criterio del proponente Sr. Rolandi, la parte central de dicha sierra. Nuestra zona está situada al Este de La Unión y paraje de El Llano, entre los cabezos de San Ginés y Trujillo (véase el plano general y cortes geológicos que se incluyen), y se ha elegido precisamente por ser bastante llana y coincidir con la prolongación teórica de las grietas y filones anteriormente reconocidos y explotados con éxito en la pasada época. Tales son el aludido «Diccionario», el «Pescador» y sus paralelos. Esta zona satisface además la condición de estar muy próxima a los frentes de las labores suspendidas en la pasada época de trabajo.

Queda definida dicha zona por los expresados cabezos de San Ginés y Trujillo, que la limitan por Levante y Poniente respectivamente; por la carretera de Algar a Cabo de Palos, por el Norte, y por el barrio de El Llano y la propia sierra en el sentido meridional, representando aproximadamente una extensión superficial de tres kilómetros de longitud en la orientación transversal de la marcha teórica de los filones, por dos kilómetros de profundidad, o sea en el sentido de dicha marcha.

Descripción geográfica.

Coincide esta zona con el borde meridional del llamado Campo de Cartagena, teniendo al Sur las primeras estribaciones o contrafuertes de la sierra. Sus accidentes orográficos principales son los mencionados cabezos Trujillo y San Ginés, que con su semejante el Álvarez y el del Canto forman los primeros pilares de importancia topográfica; sus elevaciones son de 150 a 200 m. por término medio. Dentro de su misma alineación se hallan también otros dos de menor elevación; uno de ellos, Cabezo del Beal, próximo y al Sur del poblado del mismo nombre, y el otro Cabezo de Mingote, en la zona de Los Nietos, cerca de la playa, con 150 y 50 m. sobre el nivel del mar, respectivamente.

Más hacia el Norte, fuera del plano y ya en la llanura, se alzan el Carmolí, con 111 metros, y el Cabezo Gordo, con 300, que si bien están superficialmente aislados entre sí y de los anteriores, pertenecen a igual formación, además de otros que se distribuyen por la misma región al Oeste del mismo plano.

La sierra que se interpone entre la zona y el mar gana altura con cierta rapidez en su flanco septentrional, alcanzando el pico más elevado de ella, Peña del Águila, los 400 m., para descender más bruscamente hacia el mar por el flanco opuesto. Por el Oeste se alza el del Pino, con 271 m., dando vista al barrio de Portmán, y a medida que nos acercamos al Cabo de Palos las alturas van siendo cada vez menores.

El llano, con suave pendiente hacia el Norte y un poco más acentuada hacia el Mar Menor, se extiende con cotas inferiores a 60 m. por la falda de los cabezos San Ginés y Trujillo.

La hidrografía apenas tiene interés; en esencia está re-

presentada por la rambla del Beal (la más importante), que se extiende, después de su origen en la confluencia de los barrancos del Francés y Mendoza, hasta el propio poblado de Beal, para desembocar en Mar Menor por la playa de Los Nietos. Otras dos de menos importancia, denominadas del Estrecho y Hoyo del Agua, discurren paralelas por Levante y Poniente de aquélla. Las tres son de régimen torrencial, prácticamente secas en verano y desbordantes en las avenidas, o bien alimentadas de un modo gradual por los desagües de los pozos de mina que en parte utilizan para riegos, o por los fangues de los lavaderos de minerales repartidos por toda la Sierra.

Reseña geológica.

En esta sucinta reseña puede decirse que se han seguido los pasos marcados por el interesante trabajo del Sr. Guardiola, al que para mayores detalles se puede recurrir, sin que se hagan por nuestra parte muchas modificaciones en lo que afecta a la representación esencial de las formaciones o terrenos por dicho autor puntualizados. Resumimos la descripción como sigue:

SERIE CUATERNARIA.—Es la que constituye el llamado Campo de Cartagena y se extiende desde el pie de la sierra del mismo nombre hasta los primeros bancos terciarios que festonean la parte S. de las de Carrascoy y Escalona (fuera del plano), sin más contraste que los cabezos ya referidos, que rompen la monotonía de la llanura.

Sus materiales son, en esencia, arenas y tierras arenosas, arcillas y arcillas sabulosas, en capas alternantes coronadas por la mezcla de *humus* o mantillo y tierras de cultivo. En la parte inferior, o base de la serie, aparecen, según se ve en los cortes naturales del terreno y bordes de las ramblas, una especie de conglomerado travertínico

brechoso que a su vez descansa sobre los primeros estratos de la parte alta del Mioceno. Están sensiblemente horizontales o con ligero buzamiento hacia el centro de la llanura, pero más acentuado en los bordes, donde es frecuente ver descarnado el terreno y puesto al descubierto el conglomerado o costra que constituye su fondo.

Carece en general de fauna, sobre todo de fauna abundante, aunque el Sr. Guardiola cita algunos ejemplares de gasterópodos, como el *Helix hispida* y *Paludina diluviana*.

TERCIARIO.—Está representada esta serie, a nuestro juicio, por dos tramos: uno de aparente facies pliocena en disposición sensiblemente horizontal o con inclinaciones en los bordes solamente, que se extiende por los alrededores de Cabezo Rajado, Atalaya, Rocha y Ventura (no comprendidos en el plano por corresponder a la parte occidental de La Unión, que también se levanta sobre dicha formación). El otro, interpretado como Mioceno inferior, que descansa a media ladera sobre la sierra. Asignamos también al primero otras dos manchas, una de ellas al pie de la falda N. del cabezo de San Ginés, y otra en la llanada de Los Blancos.

El horizonte o tramo plioceno está representado, según los lugares, por esa especie de costra calcárea o travertino, y cuando no por unas calizas margosas blanquecinas que se superponen o alternan con otras capas de arenisca (psamitas o molasas) de colores pardoamarillentos y poco potentes en general.

En lo que respecta al Mioceno, es difícil, sin fauna visible, asegurar que lo sea realmente, pero le incluimos en este nivel estratigráfico, tal como está clasificado en el mapa del Sr. Guardiola, no sin bastantes dudas por nuestra parte, al ser enjuiciado por una facies aparente y presentarse con fuerte inclinación sus bancos, con frecuencia

superior a los 50° y rara vez inferiores a 45°. Su dirección varía entre NE. y NO., según sean observadas sus capas en el borde norte o sur de la mancha, siendo la naturaleza de las mismas marcadamente sabulosa y micácea, con estructura tableada o pizarreña, arcillosa a veces, y fuertemente teñida por las oxidaciones ferruginosas u ocráceas. Está atravesado, lo mismo que las calizas superiores, por filones o grietas mineralizadas que fueron objeto de explotaciones en su época, en general de mineral complejo Pb, Zn y pirita de Fe. El escaso tiempo dedicado a su examen ocular no nos ha permitido hallar ningún fósil, aunque según referencias se han encontrado algunos en las partes elevadas de la sierra y han servido para la clasificación dada hasta ahora.

SECUNDARIO.—A esta serie geológica se atribuyen unas calizas de tinte negruzco que coronan los cabezos de San Ginés, Beal y Trujillo y otras de la zona más llana, y se distribuyen, asimismo, en retazos por la vertiente de la propia sierra. Son calizas —repetimos— negras en la fractura, veteadas frecuentemente de calcita, muy metamorfiizadas en las zonas de contacto, particularmente en las proximidades de las rocas hipogénicas. En este caso se caracterizan por su estructura basta y colorido rubicundo o pardo, que se destaca a lo lejos y es indicio bastante seguro de la presencia cercana de rocas intrusivas.

La orientación de estas capas es variable según la forma del núcleo que la sostiene, y al que generalmente se adapta, siguiendo a veces la de la propia roca hipogénica interpuesta o atravesando la estratificación de las mismas o el contacto del Estrato cristalino. Pero tiene, no obstante, una tendencia muy generalizada hacia el Norte con variaciones sensibles dentro del 4.º cuadrante, siendo su

inclinación alrededor de 45° o menos con el horizonte y buzando siempre hacia el E. o NE.

Aparece muy cuarteada por multitud de rafas o canales, producto de arranques antiguos, unos en forma de trancada, otros en trinchera y los más a zanja de irregular anchura, tal como han sido las potencias del mineral que han llevado. Aún conservan retazos de dicho mineral y otros filoncillos de hierro carbonatado y oxidado con mezcla de manganeso, y adoptan siempre, dentro de estas calizas, la disposición reticulada aunque con una tendencia muy acentuada en la dirección NNO., que es la predominante.

El tan repetido geólogo Sr. Guardiola clasifica estas calizas como superiores, ante la duda, como a otros geólogos les ha sucedido, dada su ausencia completa de fauna, de que pudiera incluso corresponder al propio sistema arcaico; pero, admitiendo esa posibilidad, nosotros las incluimos, por sus facies y hasta por cierta discordancia con las capas del núcleo subyacente del Estrato cristalino, como pertenecientes al Triásico.

SISTEMA ARCAICO.—Como fundamento y sostén de todas las formaciones referidas citamos, por último, el terreno Estrato cristalino, distribuido superficialmente en varias manchas o ventanas geológicas dentro de la zona de estudio. En la región oriental de dicha zona se presenta en forma de herradura (véase el plano general) y en disposición de cubeta, cobijando parcialmente al paquete de supuestas rocas terciarias (véase el corte I). En la región central constituye un asomo de rocas cuarcitosas o asperones en las cercanías del cruce del ferrocarril y carretera desde La Unión a Los Blancos. En la parte occidental se manifiesta festoneando los cabezos del Campo y Trujillo, y están constituídos por las micacitas y láguenas, recu-

biertas por algunas calizas marmóreas en las inmediaciones de la fuente del Piojo, y extendiéndose más a Poniente por la ladera de Sancti-Spíritus, que queda coronada por calizas secundarias.

Las rocas esenciales de esta formación son las pizarras micáceas y micacitas de dos micas, aunque predominando la variedad magnesiana o biotita. En algunos lugares, como el citado anteriormente, correspondiendo a la parte central, desaparece totalmente la mica para convertirse la roca en una verdadera cuarcita, o bien se intercalan horizontes de caliza sacaróide o marmórea, cristalina y clara.

Los criaderos minerales más importantes y de raíz más profunda, como el aludido filón «Diccionario», arman en este terreno; particularmente los de casiterita han sido casi exclusivos de él y algunos de ellos se han explotado solamente en Lomo Largo, entre Los Blancos y El Llano.

La parte superior de este horizonte, cuando se halla en contacto con las calizas superiores o triásicas que se le superponen, e incluso con las marmóreas, aunque no tan manifiestamente en éstas, muestra una faja de variable potencia (rara vez menor de 15 a 20 m.) completamente alterada por la acción de los agentes meteóricos, especialmente las lluvias. Los naturales del país denominan a estos bancos láguenas y los explotan para la fabricación de terrados y con destino a los tejares. Son, sin duda, un producto de alteración o metamorfismo hidrotermal o bien, como hemos dicho, de meteorización por la acción de las aguas de lluvia, y se encuentran siempre en forma de manto entre el Estrato cristalino y las calizas que le recubren. Se le distingue por su colorido violáceo característico, y algunas veces grisáceo y verdoso y su textura blanca y escamosa.

ROCAS BRUPTIVAS O HIPOGÉNICAS.—Estas rocas son, evi-

dentamente, más recientes que los terrenos que venimos describiendo, ya que éstos están, sin distinción, atravesados por ellas.

Es roca principalísima desde el punto de vista del estudio que nos ocupa, por la intervención que indudablemente ha tenido en la génesis de los criaderos de la región, y aparece profusamente distribuída por toda la zona. No hay un solo cabezo, puede decirse, que no esté influenciado por su presencia. En alguno de ellos, como el de San Ginés (véase el plano general y los cortes II y III), son repetidamente visibles en sus flancos y ocupan superficialmente una gran parte de su extensión. Nosotros hemos observado, además de los dos o tres que el Sr. Guardiola señala en la vertiente NO. del citado cabezo, multitud de ellos rodeando el macizo, tanto por su vertiente norte como por la de Levante, constituyendo en uno y otros diques extensos y apófisis numerosos.

En el Cabezo Beal aparece una mancha de 15 a 20 metros de longitud en su vertiente septentrional y próxima a algunos pozos, entre ellos el denominado San Juan Bautista, cuya apertura posiblemente se deba a dicha presencia y a la existencia de una grieta, reconocida en canal, que cruza dicho cabezo de Norte a Sur.

En la misma dirección de estos cabezos, y hacia Poniente, se halla el Trujillo, en cuya vertiente occidental y al hilo del corte o tajo de unas canteras, se ve un nuevo asomo de esta roca hipogénica interstratificada en las calizas superiores (véase el corte III). En el extremo opuesto (corte II) y Cabezo de Mingo, próximo a la playa de Los Nietos, se aprecia un dique importante que atraviesa las calizas y enlaza, sin duda, con otro menos extenso del mismo cabezo.

Más hacia el Sur y en plena vertiente septentrional de

la sierra, inmediato a la mina «San Hilario», en desagüe, siguiendo el camino que sube por la vertiente derecha del barranco del Francés, se aprecia otro dique, que se interrumpe a 100 m. y reaparece en el alto.

Todos estos asomos, con otros muchos que se distribuyen a derecha e izquierda, son de naturaleza diorítica con tránsitos a las diabasas y ofitas, según las rocas atravesadas por ellos, a las que han cedido y de las cuales han tomado parte de sus elementos, alterándose recíprocamente en su composición y estructura.

En el flanco occidental de los cabezos del Campo y de Álvarez, entre los mismos y la carretera de La Unión al Algar (véase el plano general y corte IV), existe otro asomo, no citado en la región hasta la fecha, de naturaleza granítica, que actualmente se explota para la obtención de adoquines y material de afirmado. Su extensión aumenta en profundidad, como se aprecia por los trabajos de arranque, y arma en las micacitas del Estrato cristalino, sin que aparentemente altere las calizas superpuestas. Un pozo de riego situado en el fondo del valle ha cortado en su fondo, según referencias, esa misma roca, lo que parece indicar que sigue aumentando en profundidad, pudiendo ser testigo evidente de una masa granítica sobre la que tal vez descansa todo el sistema estratigráfico enumerado.

Tectónica.

El capítulo anterior resume la serie de terrenos que la zona de estudio comprende. Todos ellos, debido a los trastornos inherentes a la acción de las fuerzas interiores, se hallan más o menos levantados o alterados.

El Estrato cristalino, compuesto de micacitas, cuarcitas y calizas marmóreas, adopta en conjunto la forma de núcleo anticlinal, asimétrico, con hundimiento de la rama

meridional. En la periferia de este núcleo, particularmente cuando se halla en contacto con las calizas superiores, se presenta, como ya hemos dicho, con potencias variables nunca inferiores a 15 m. Se caracteriza por su aspecto, generalmente abigarrado y violáceo, diferente del resto de la formación. En un principio se consideró como perteneciente al período Triásico por su semejanza con las margas del Keuper, pero observadas detenidamente se ve que son un producto de alteración de las propias micacitas del Estrato cristalino. Este horizonte inconfundible es el que se conoce con el nombre de «láguenas» en la región. Su forma de estar o yacer se acomoda a la configuración del núcleo arcaico y a la disposición de las calizas que lo envuelven, estando más o menos alterado según la mayor o menor posibilidad de ataque de los agentes interiores y exteriores que sobre ella han actuado. Aflora en general en las vertientes de los valles y en muchos puntos donde la erosión ha hecho desaparecer las calizas o en los cortes naturales del terreno y en las canteras.

Como substratum de esta formación arcaica presumimos un gran macizo granítico, del cual es sin duda un apéndice el designado y descrito en la falda occidental del cabezo Álvarez, en el término de Algar.

Las calizas triásicas o superiores adoptan una disposición discordante con la del anticlinal arcaico, encontrándose corrientemente con caída o buzamiento hacia el E. y NE., es decir, con basculamiento en dicho sentido.

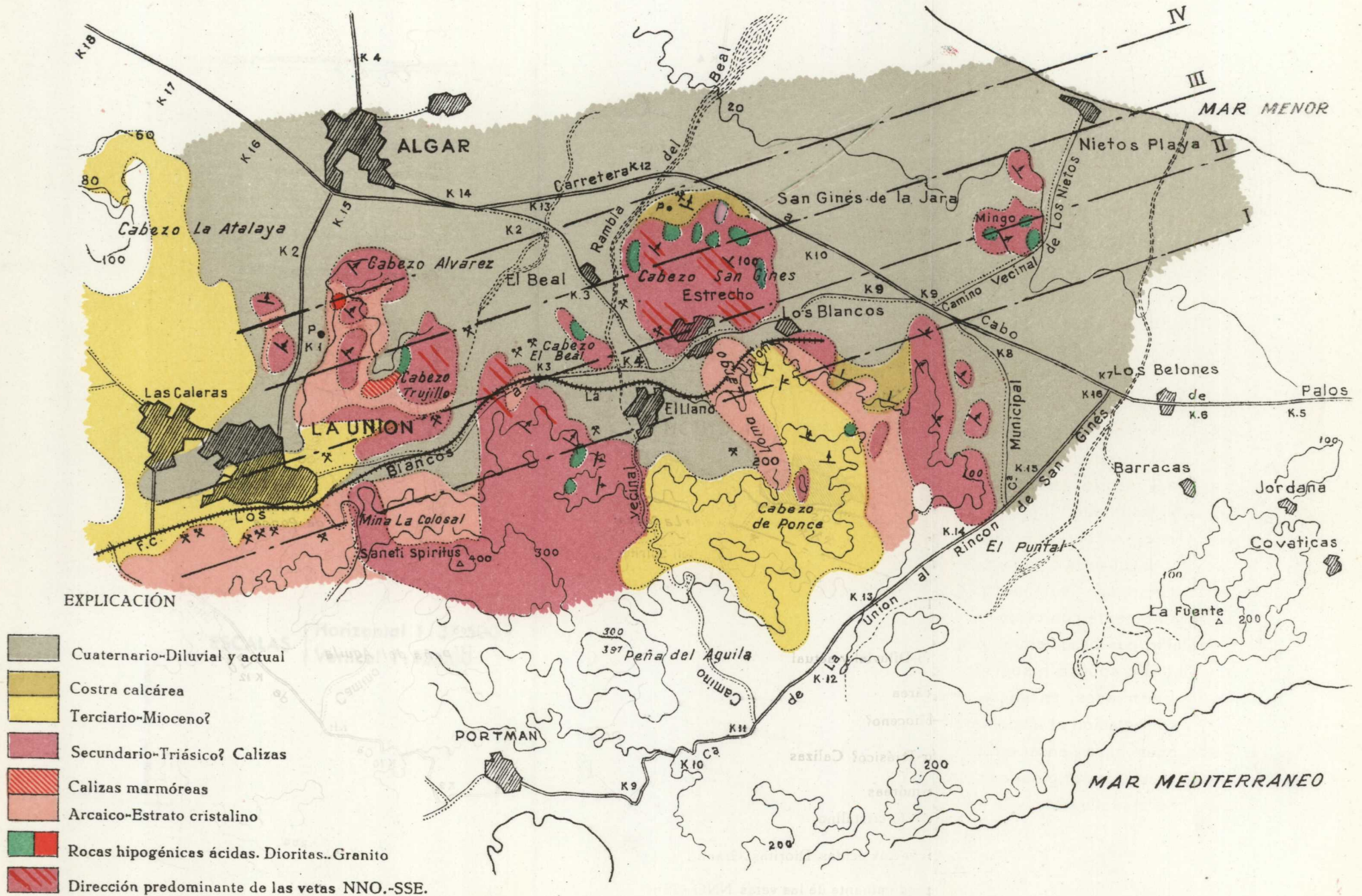
Los diques o apófisis hipogénicos se orientan, superficialmente observados, en líneas sensiblemente paralelas entre sí y con relación al núcleo anticlinal referido.

Todo, pues, hace pensar en la intervención de dos movimientos tectónicos originarios: uno inicial, caledoniano o herciniano, que plegó toda la serie arcaica, y otro posi-

INVESTIGACIÓN ELÉCTRICA EN EL LLANO DEL BEAL (CARTAGENA)

PLANO GEOLÓGICO

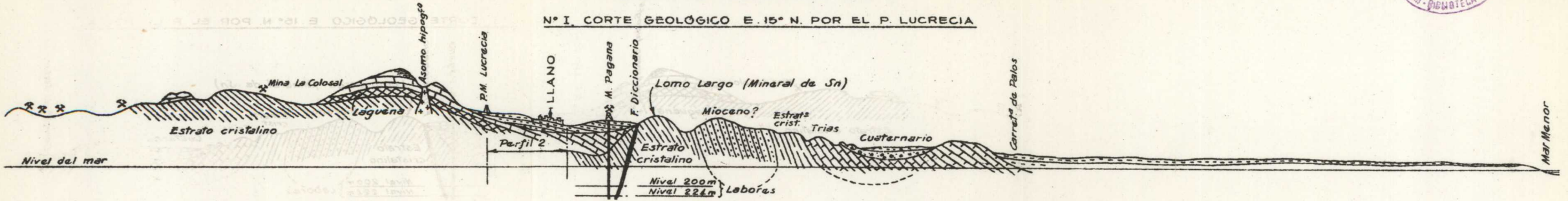
ESCALA 1:50.000



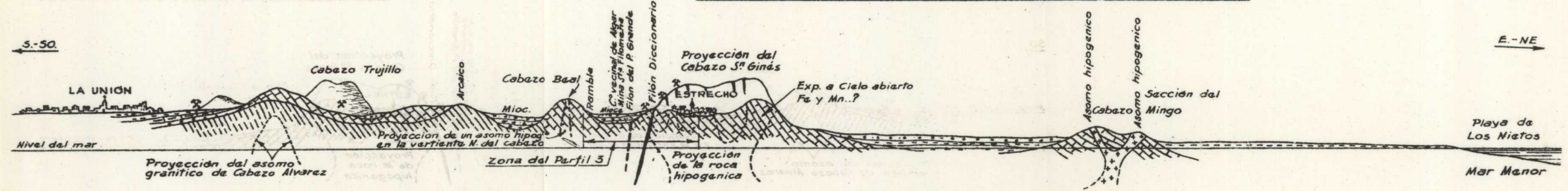
INVESTIGACIÓN ELÉCTRICA EN EL LLANO DEL BEAL (CARTAGENA) CORTES GEOLÓGICOS



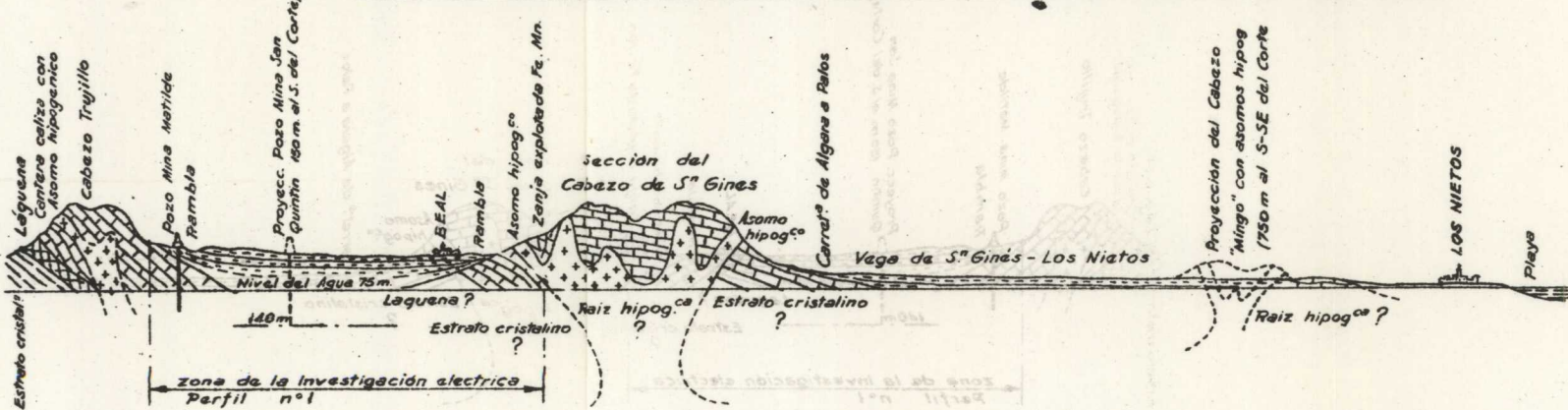
Nº I. CORTE GEOLÓGICO E. 15° N. POR EL P. LUCRECIA



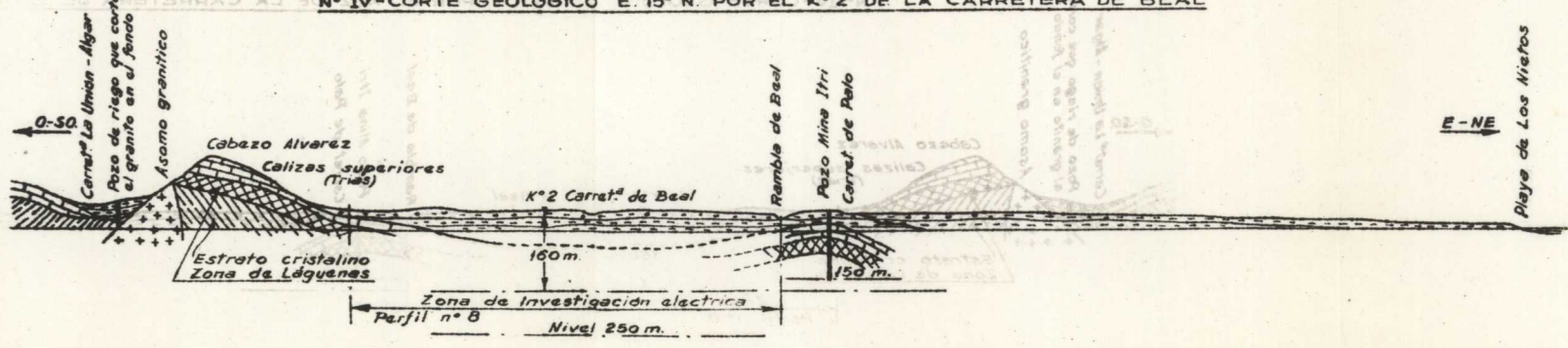
Nº II CORTE GEOLÓGICO E. 15° N. DESDE LA UNION A MAR MENOR



Nº III -CORTE GEOLÓGICO POR LOS CABEZOS TRUJILLO Y SAN GINÉS HASTA "LOS NIETOS"



Nº IV -CORTE GEOLÓGICO E. 15° N. POR EL Kº 2 DE LA CARRETERA DE BEAL



ESCALAS { Horizontal 1:37.500
Vertical 1:15.000

blemente alpino con su cortejo de movimientos epirogénicos, que dieron lugar a dos series de fallas o fracturas con basculamiento de las calizas secundarias e incluso terciarias, completando dos sistemas: una paralela a la costa y la otra transversal a la misma, por donde ha penetrado posteriormente el magma con todo el cortejo de su proceso eruptivo, constituyendo los mantos en las zonas de contacto, rellenando las diferentes grietas del macizo y, en resumen, mineralizando la sierra.

La conjugación de tales movimientos orientó a su vez las grietas en disposición reticulada con arreglo a esas dos direcciones fundamentales, o sea paralelas sensiblemente a las trazas de esos dos sistemas de fallas dentro de los bloques o dovelas constituidos por ellas. Por tal razón, presumimos la limitación del campo de fracturas derivadas, circunscritas a las partes elevadas o zonas de descompresión, como puede ser la costera por el hundimiento a que hemos aludido, teniendo por límite dichas fallas. Por eso resulta poco probable que se prolonguen las grietas por la parte baja o de llanura, en virtud de ser zona comprimida.

Antecedentes mineros.

A pesar de tratarse de un distrito minero de antigua raíz y célebre en los anales de la minería española, es bastante difícil recoger antecedentes precisos del mismo. Los planos de labores son en su mayoría imprecisos y poco completos, y la información personal tampoco muy abundante y concreta. Sin embargo, hemos podido sacar la conclusión de que se trata de una zona minera de características un tanto especiales, dividida en concesiones de corta extensión, individualizadas y orientadas en general, salvo casos especiales, a las labores por contrata, con arriendos,

subarriendos y trabajos a sacagénero, cuando no en labor codiciosa; es decir, siguiendo en general la marcha de las metalizaciones sin casi otro objetivo que sacarlas, sin tener en cuenta el futuro. Un sistema anárquico, en aquellos tiempos primeros y esplendorosos, por lo que no es extraño la carencia de antecedentes y lo difícil que es recoger y aunar sus detalles técnicos.

La nomenclatura minera de dicha región se reduce, por otra parte, a la enunciación de «mantos» y «canales»; jamás se habla de sistemas de filones, como es general en el lenguaje normal en los distritos mineros. Ello prueba la irregularidad de tales criaderos, comprobada en algunos planos de labores observados, como el de la mina «La Pagana», en que está cortado y fue reconocido y explotado el famoso filón «Diccionario». Es éste uno de los más constantes de la zona, en el que se observa en sus diversas plantas grandes diferencias. Viene el filón en alguna dividido en dos vetas; en otras, en tres y más, con subdivisiones entre sí y ensanches muy desiguales en su traza; en fin, francamente irregular y no bien definida su marcha.

Si se echa una ojeada y se observa el conjunto de minas y labores superficiales, se saca idéntica conclusión por ser muy escasas las que se orientan en una determinada dirección. Por el contrario, se ven distribuidas en todos sentidos dentro de la zona observada, y ello se repite contemplando toda la sierra y da respuesta cumplida a la citada nomenclatura; es decir, que se trata de «mantos» o criaderos de contacto en posición horizontal u ondulada, y de grietas («canales») o filones dirigidos en los más variados sentidos, en general de no gran longitud, salvo esos casos singulares advertidos, aunque tampoco la han acusado hasta el día en los términos que los filones propiamente dichos suelen presentar. Y ello explica esa profu-

sión de pozos y labores existentes en toda la superficie de la sierra, sin orientación determinada.

Entendemos por lo expuesto, y reiteramos de acuerdo con este primer tanteo en el estudio encomendado, que es poco probable la prolongación de estas vetas bajo el recubrimiento moderno en los términos concebidos, sin que esto quiera decir nada en contra de la conveniencia de proseguir el estudio, dada la importancia que realmente tiene la región y sus posibilidades aún en el orden minero; pero entendido que debieran centrarse dentro de la propia zona trabajada, donde evidentemente quedarán espacios vírgenes e interesantes y en las cercanías de los tan repetidos cabezos afectados por las rocas hipogénicas, que tanta intervención han tenido en la mineralización de los mantos como de las vetas, y cuyos contactos podemos considerar de singular importancia.

III. La investigación por el método eléctrico de resistividad

La investigación por el método eléctrico se llevó a cabo en la zona indicada en el plano horizontal.

Durante el trabajo se encontraron multitud de dificultades que fue necesario vencer: casas en ruinas que no podían soslayarse y obligaban a repetir multitud de veces las observaciones ante el temor de errores motivados por las grandes resistencias de contacto al tener que clavar los electrodos entre escombros. Zonas en que afloraban las calizas triásicas, y al pasar por ellas los electrodos no había forma de suministrar corriente al terrano; líneas de alta tensión, etc., etc. Todas estas causas y muchas más retrasaban considerablemente el trabajo y han dejado

abiertas una serie de interrogantes que desgraciadamente han de repercutir en los resultados del presente trabajo.

Las operaciones de campo se llevaron a cabo a lo largo de alineaciones, de dirección general Este-15°-Norte (salvo dos perfiles E. O., y otros dos más en cruz con los anteriores).

Las medidas se tomaron de 10 en 10 m., y correspondiendo a profundidades de 100 y 160 m., con vistas a obtener los perfiles de resistividad para dos penetraciones distintas. En un cierto número de estaciones se hicieron sondeos eléctricos verticales con objeto de determinar las variaciones de resistividad en profundidad e interpretar, cuando esto fuera posible, el corte geológico en estos puntos.

Métodos y equipos empleados.

Para esta investigación de tipo minero se pensó en emplear varios métodos eléctricos diferentes a modo de ensayo: el de polarización espontánea, el de líneas equipotenciales y el de resistividades, cuya elección debía depender entre otras cosas de las condiciones del terreno. Pero después de hechas las pruebas adecuadas, resultaron los más indicados el método de líneas equipotenciales y el de resistividades.

Para el primero de ellos se proyectó y construyó en los talleres de la Sección de Geofísica un equipo especial, que obtuvo relativo éxito en las primeras pruebas efectuadas, pero después de varios ensayos en la zona de trabajo se llegó a la conclusión de que, para el problema concreto a resolver, arrojaría más luz el método de resistividades, y por esta causa se desistió también de la utilización del anterior. Dentro de este método, y como resultado de todas las pruebas, se llegó también a la conclusión de que

el más sensible y cómodo de empleo era el de cuatro electrodos en línea recta a igual distancia mutua, o disposición de Wenner. Ello fué debido principalmente a que, dadas las enormes resistencias de contacto, la corriente era en general muy pequeña, y convenía aumentar la sensibilidad en el circuito potenciométrico con una superior separación entre los electrodos de potencial.

En algunos puntos, y cuando eran de temer irregularidades laterales, se utilizó el sistema o fórmula particional de Lee, con cinco electrodos para determinar la posición de estas heterogeneidades y ver su influencia en la forma de la curva del sondeo eléctrico.

Se utilizaron los aparatos «Siñeriz» y «Megger»; el primero de corriente continua y, el segundo, de corriente alternada. No obstante, fue preciso descartar el «Megger», por las erróneas medidas que suministraba, debido quizás a las elevadas resistencias de contacto, limitándose exclusivamente a las mediciones realizadas con el aparato «Siñeriz».

El trabajo de campo consistió en hacer varios perfiles de resistividades y algunos sondeos eléctricos, pero con un predominio del primer procedimiento.

Las resistividades se determinaron mediante medidas efectuadas de 10 en 10 m. a lo largo de perfiles normales, en general, a la dirección de la estratificación secundaria. Las separaciones entre electrodos, que dependen de la profundidad de investigación deseada, correspondieron a penetraciones de 100 y 160 metros.

Los sondeos eléctricos se hicieron en puntos característicos que consideramos de interés. Al principio del trabajo sirvieron para determinar las profundidades de investigación a que debían efectuarse los perfiles de resistividad.

Perfiles de resistividad (sondeos eléctricos horizontales).

Como puede verse en el plano horizontal, se hicieron ocho perfiles, con una longitud total de 11.350 m. y con lecturas cada 10 m. Este trabajo comprende 1.153 medidas diferentes de resistividad.

La localización de los perfiles está señalada en el plano citado, dibujándose por separado cada uno de ellos a las dos profundidades de investigación: 100 y 160 metros.

En general tienen dirección E.-15°-N., aunque dos de ellos (los números 2 y 3) se orientaron E.-O. y otros dos, números 1-6, hacia el N.-70°-E. y N.-57°-E., respectivamente.

PERFIL NÚM. 1.—Antes de iniciar el trabajo, y para comprobar la aplicabilidad del procedimiento que se pensaba utilizar, se hizo un perfil en un sitio conocido junto al pozo Santa Ana. En este punto existe un filón, el «Canal del Pescador», y sobre él se hizo el perfil núm. 1, que comprende 21 estaciones, con una longitud total de 200 m. Como todos (salvo el núm. 8), se hizo a dos profundidades, 100 y 160 m., con objeto de comparar los efectos a estas dos profundidades y complementar los resultados del uno con los del otro. Su dirección es N.-70°-E., oblicua con la traza aparente del filón, pero impuesta, como en la mayoría, por las escombreras y ruinas que, en gran número, están repartidas por toda la zona y es necesario evitar para eliminar elevadas resistencias de contacto de los electrodos y falsas lecturas. Las estaciones están separadas 10 metros unas de otras y la situación del perfil puede verse en el plano.

Examinando el gráfico núm. 1 para $a = 100$ m., puede en seguida apreciarse que se inicia en la estación núm. 21 con una resistividad relativamente elevada, que paulatina-

mente va disminuyendo, para alcanzar un mínimo en la estación núm. 11 y volver de nuevo a crecer, pero con valores inferiores a los de la parte oriental.

La forma de la curva recuerda el caso de un filón o grieta de baja resistividad armando en una roca menos conductora.

La curva para $a = 160$ m. es algo más difícil de interpretar que la de 100 m., por ser más irregular, pero a pesar de ello presenta claramente su mínimo en la estación número 10. La correlación de ambas curvas parece confirmar que el buzamiento del filón es hacia el O., ya que la curva de $a = 160$ m. tiene el mínimo desplazado en esa dirección.

Los resultados de la interpretación concuerdan bastante bien con los datos recogidos respecto a la minería en esta zona. El punto donde la curva presenta un mínimo está sobre la traza del citado «Canal del Pescador», cuyo buzamiento es también al Oeste.

Sin embargo, hacemos la advertencia de que en términos generales no podemos asegurar la existencia de un filón, pues cualquier grieta, falla o contactos de terrenos nos daría el mismo resultado del obtenido.

PERFIL NÚM. 2.—Comprende un total de 48 estaciones, en cada una de las cuales las profundidades de la medición corresponden igualmente a los 100 y 160 m. Las lecturas se hicieron de 10 en 10 m., como siempre, y el perfil tiene una longitud total de 480 metros.

La curva para $a = 100$ m. se inicia con valores bastante pequeños de la resistividad aparente, con un mínimo de 39,2 m. en la estación 4, desde la que dicha resistividad va aumentando, para alcanzar un máximo entre las estaciones 15 y 16, a partir de las cuales vuelve a disminuir. Entre las estaciones núms. 21 y 28 tenemos el mínimo

de resistividad, y a partir de este punto se suceden diversas oscilaciones difíciles de interpretar.

La curva para $a = 160$ m., ofrece un valor casi constante de la resistividad entre las estaciones núms. 1 y 12, un valor máximo entre esta última y la 30 y una zona semejante a la del perfil anterior desde este punto al número 48.

Examinadas ambas curvas conjuntamente, se observan algunas anomalías interesantes. En primer lugar ambas curvas presentan máximos de resistividad comparables.

Esto parece sugerir la existencia, por debajo del recubrimiento existente en esta zona, de un posible crestón antiguo, bien de calizas triásicas o de Estrato cristalino que ha sufrido menos erosión que las rocas circundantes.

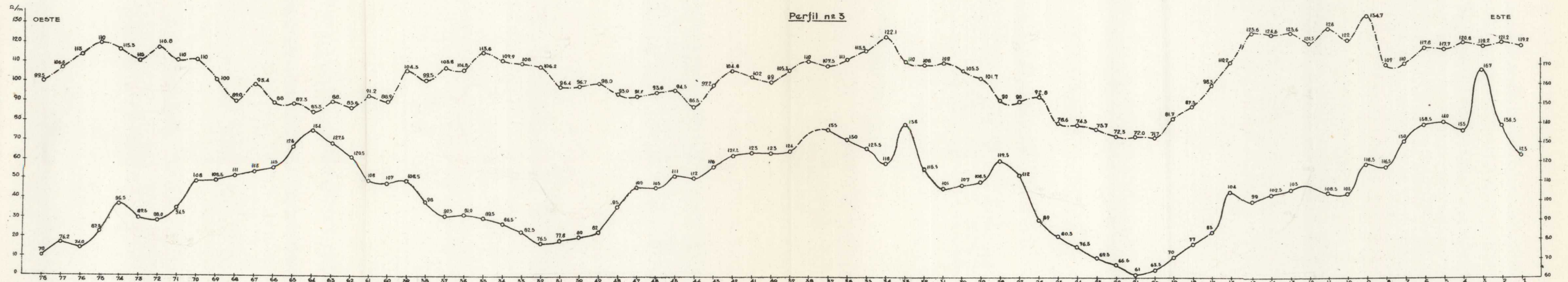
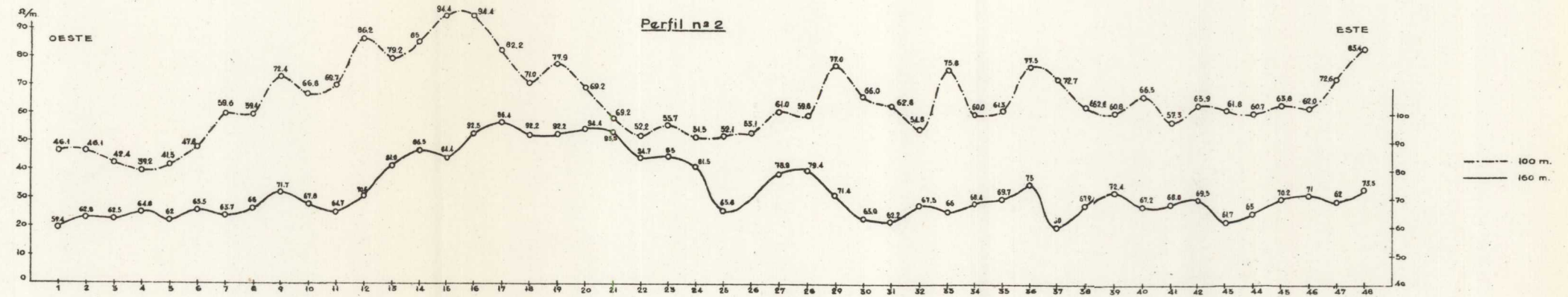
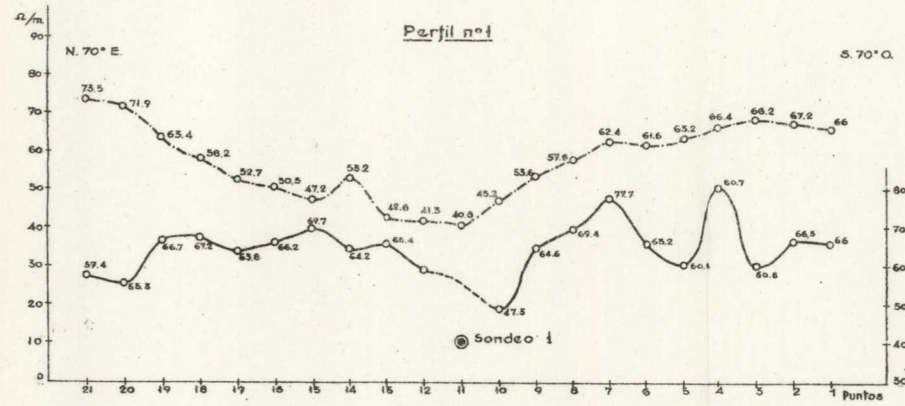
La anchura de este crestón sería de unos 140 m. a los 100 m. de profundidad y de unos 170 a los 160 metros. Las calizas tienen en esta zona valores inferiores de resistividad que las de otros perfiles; no obstante, esto puede ser debido a estar impregnadas de agua en sus fisuras y que este agua sea algo salina; el valor de la resistividad aparente es algo inferior, además, por ser zona trastornada.

El resto de ambas curvas no presenta anomalías suficientemente claras para que nos atrevamos a interpretarlas.

PERFIL N.º 3.—Como en los anteriores, se utilizaron dos profundidades de investigación, 100 y 160 m. Comprende 78 estaciones, con un total de 770 m. de longitud de perfil doble. Su dirección es Este-Oeste, y su posición puede verse en el plano. En la curva para $a = 100$ m. se observa un valor elevado de la resistividad entre las estaciones 78 y 68, a partir de la cual pasa por un mínimo en la estación núm. 64.



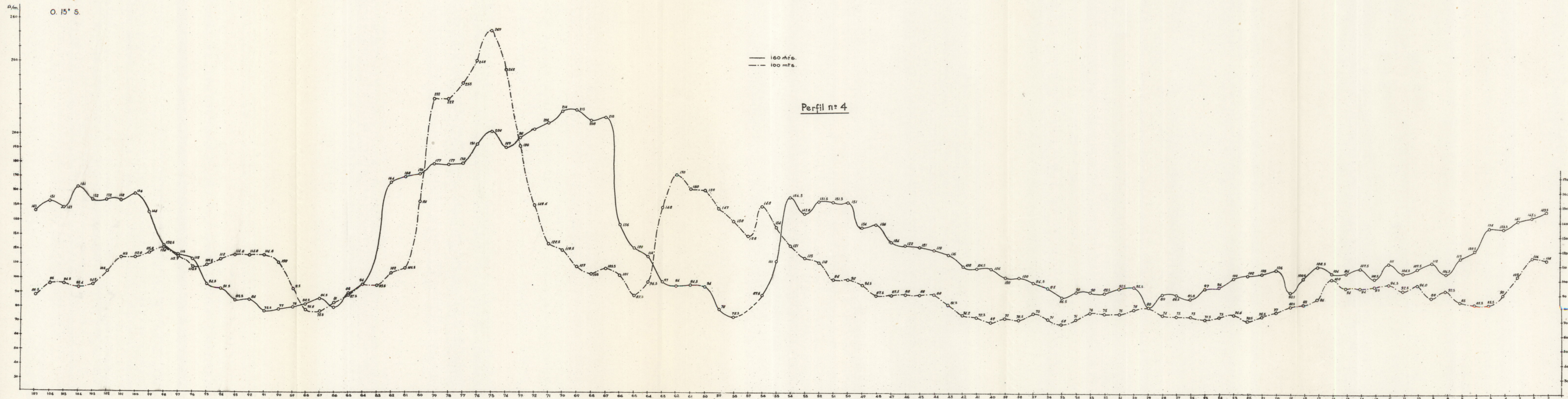
PERFILES





INVESTIGACIÓN ELÉCTRICA EN EL LLANO DEL BEAL (CARTAGENA)

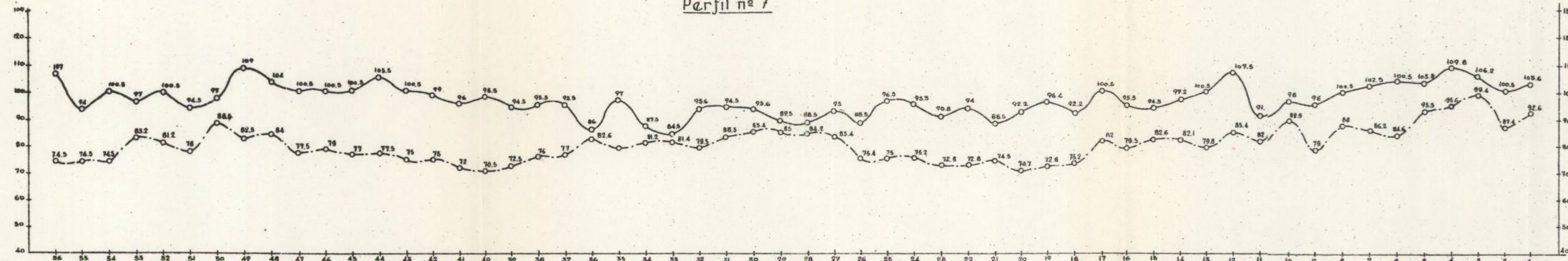
PERFILES



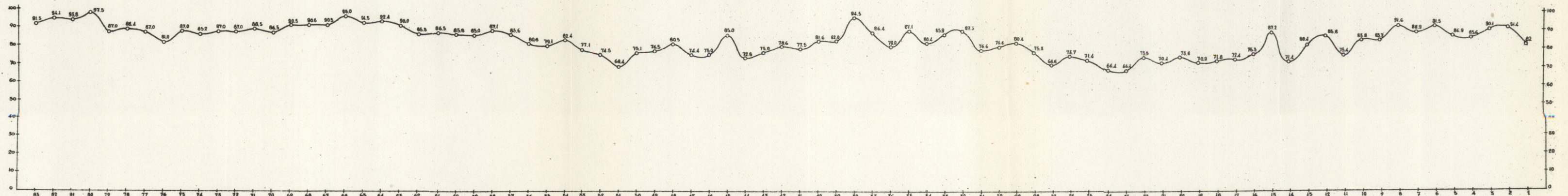


PERFILES

Perfil nº 7



Perfil nº 8

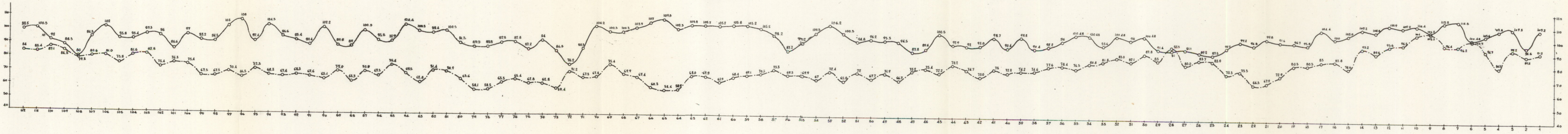




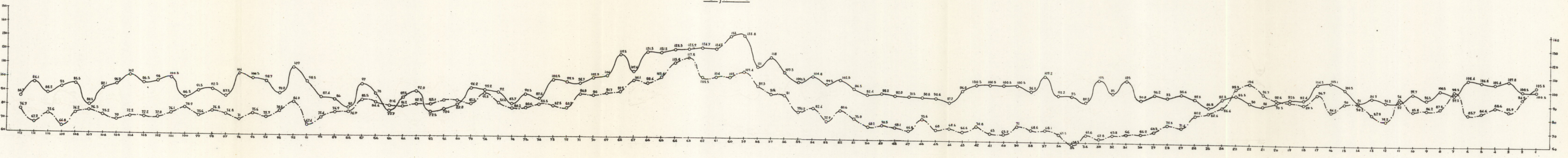
INVESTIGACIÓN ELÉCTRICA EN EL LLANO DEL BEAL (CARTAGENA)

PERFILES

Perfil nº6



Perfil nº5



Desde la estación 59 vuelve a tomar valores superiores con máximos de 113 y 122 ohmios/m. Lo más interesante de este perfil es el mínimo característico en la estación núm. 20, con nuevo incremento de la resistividad hacia Levante.

La curva para $a = 160$ m. tiene aún mayor interés para nosotros. Presenta en la estación 21 un mínimo correspondiente al de la 20 anterior. Además, un máximo en la estación 64, mínimo de la curva de 100 metros.

Los mínimos de las estaciones 20 y 21 de ambas curvas no son pequeños en valor absoluto, debido a la resistividad de la roca encajante, pero es posible interpretar la existencia de un filón falla o contacto conductor, de bastante importancia, dada la magnitud relativa de la anomalía producida.

Según el estudio geológico, pudiera ser el paso teórico del filón «Diccionario».

El resto de las curvas lo interpretamos de la siguiente manera, de acuerdo con las observaciones geológicas:

Desde el paso del supuesto filón o falla en la estación 20 hasta el final del perfil de 100 m. no se sale de la caliza triásica, y la única anomalía interesante es la estación número 64, cuyo mínimo puede indicar el contacto del fondo de la caliza con las láguenas.

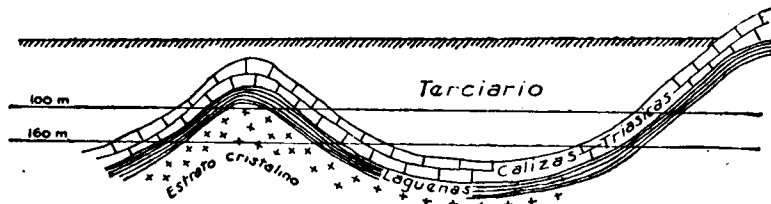
Este punto 64 corresponde con su máximo en la curva de 160 m., lo que es natural, pues aquí debe de corresponder al Estrato cristalino. Los planos de la curva de 100 metros son de resistividad ascendente hacia la de la caliza; los de la curva de 160 descendentes hacia la de las láguenas. Parece natural, por consiguiente, suponer al punto 64 como eje de una elevación del substratum antiguo y, por lo tanto, lugar de posible interés entre los 100 y 160 metros de profundidad, desde el punto de vista minero.

Estos resultados se dan con la natural reserva, ya que la mínima garantía se puede ofrecer, cuando una anomalía se corresponde en los dos niveles investigados.

PERFIL N.º 4.—Comprende 107 estaciones, en las que, como de costumbre, se hicieron medidas a 100 y 160 metros. Su longitud total es de 1.060 m., siendo la separación entre estaciones de 10 m. Según vemos, la curva para $a = 100$ m., presenta una región (entre los puntos 102 y 89 del perfil), de valores relativamente elevados de la resistividad; otra, entre los puntos 80 y 72, en que las medidas alcanzan las mayores cifras obtenidas durante el curso de la presente investigación, y por último, una zona final de valores elevados entre las estaciones 64 y 52. Estos máximos están separados por los correspondientes mínimos, y la parte oriental del perfil más uniforme es otro mínimo de lados muy abiertos y suaves.

La curva para $a = 160$ m. ofrece una gran semejanza con la anterior, con los máximos entre los puntos 107 y 96, 83 y 66, 55 y 42. Todo lo dicho antes puede repetirse ahora.

Examinando la geología de la región e intentando relacionarla con el presente perfil, se debe interpretar como sigue:



El perfil correspondiente a los 100 m. de nivel atraviesa entre las estaciones 72 y 80 un crestón antiguo de Estrato cristalino o granito, que se manifiesta con un má-

ximo de 269 ohm/m. en la número 75 (figura adjunta). Entre las estaciones 80 y 89, en Poniente, y 72 y 63, a Levante, atraviesa el perfil unos mínimos que probablemente corresponden a las lagunas o zona de contacto de posible mineralización. Entre las 89 y 102, a Poniente, y 63 y 52, a Levante, se producen aumentos de resistividad que pueden ser debidos a las calizas. El resto atraviesa terrenos más modernos sin interés en esta prospección hasta la posición 6, en que creemos se vuelven a manifestar las calizas secundarias.

Refiriéndonos ahora al perfil de 160 m., y ante la misma figura para una mejor comprensión, es natural que la altura del afloramiento antiguo sea mayor, abarcando desde la estación 66 a la 83. Luego vienen desplazados hacia Poniente y Levante, respectivamente, las zonas de menor resistividad, que hemos denominado de lagunas o quizá de manto. Por último, igualmente ocurre con el nivel de calizas que se desplaza a los 98 y 107, a Poniente, y a los 55 y 47, a Levante. Al acercarnos al afloramiento del extremo Levante, se manifiestan antes las calizas en el perfil 160 m. que en el 100 m., como es natural.

PERFIL N.º 5.—Tiene dirección E.-15°-N. y comprende un total de 112 estaciones, en las que se ha determinado la resistividad aparente, como de costumbre, a 100 y 160 metros de profundidad. Su longitud total es de 1.110 metros.

Observando las curvas $a = 100$ y $a = 160$, se ven un sinnúmero de pequeñas anomalías, algunas de las cuales pudieran ser interesantes; no tenemos datos suficientes para poderlas interpretar y por eso no lo hacemos.

Únicamente son de gran interés por su correspondencia en ambas curvas de 160 metros con un máximo de 133,8 ohms/m., y entre las estaciones 69 y 56 en la curva

de 160 m., con un máximo de 117,8 ohms/m. Esto se puede explicar igual que en el vértice de la caliza triásica en una extensión de unos 30 m., y a los 160 m. se atraviesa el mismo horizonte a lo largo de 130 m. del perfil, lo que demuestra su posición anticlinal, pero con el techo calizo a nivel más profundo que en el perfil anterior. Vayamos observando además que el paso del eje teórico que hemos marcado en la posición 63 se corresponde con el máximo del perfil 4 en su posición 75, y ambos a su vez con el Cabezo Beal. En los perfiles próximos 6 y 7 se sigue marcando el paso del citado anticlinal.

PERFIL N.º 6.—Consta de 112 estaciones con doble medida, como en todos ellos, o sea un total de 224 determinaciones de resistividad. Su dirección varía un poco de la usual en los otros perfiles, pues debido a causas materiales que dificultaban la colocación del perfil en su forma normal, fue preciso darle la dirección N.-57°-E. Su longitud total es de 1.110 m., como la anterior.

En las dos curvas de resistividad se aprecia una mayor resistividad que en las anteriores. Vamos avanzando cada vez más en El Llano, donde el Mioceno adquiere espesores mayores, para superar probablemente los 300 m. en El Algar.

La curva $a = 100$ m., que antes nos indicaba la topografía del terreno recubierto por el Mioceno, nos señala ahora que el valle va abriéndose en dirección Este-Oeste.

La curva $a = 160$ m. tiene diversas anomalías de interés. Entre los puntos 71 y 57 hay un máximo no reproducido para $a = 100$ m., lo que indica posiblemente la prolongación del tan citado espolón calizo del Cabezo del Beal a superiores profundidades, por lo que no se aprecia su influencia a los 100 m. de profundidad. El eje lo determina la posición n.º 65, con 109,5 ohms/m. de resistividad.

Al acercarnos al afloramiento arcaico, a Levante, se vuelve a manifestar la caliza, pero ahora en ambos perfiles, aunque desplazadas las correspondientes anomalías entre 20 y 30 m., como era natural. La estación 14 de la curva 100 m. se corresponde con la 17 de la 160 m., y la 9 de 100 m. con la 12 de 160.

PERFIL N.º 7.—Es de poca longitud, 550 m. de doble perfil, y comprende un total de 56 estaciones, con la dirección habitual.

Presenta únicamente una anomalía interesante, que es el punto 49 de la curva de 160 m., donde se manifiesta una máxima de 109 ohms/m., que consideramos como posible paso del eje calizo por su correspondencia perfecta, como se puede ver en el plano horizontal, pero con la natural reserva, pues desde el punto de vista geofísico no es dato suficiente.

PERFIL N.º 8.—Como ya en el anterior quedaba el anticlinal calizo a un mínimo de unos 160 m. de profundidad, éste sólo comprendía medidas a este mismo nivel.

Comprende un total de 83 estaciones, de 10 en 10 metros y con una longitud de 820 m. en dirección E.-15°-N.

Su estudio detallado indica una uniformidad general y por consiguiente la casi seguridad de que no se ha llegado a tocar la caliza triásica.

Sondeos eléctricos.

Como complemento a los perfiles de resistividad anteriores, para comprobar alguna anomalía unas veces, determinar la constitución geológica en profundidad otras, se hicieron en total 17 sondeos, con la disposición de electrodos equidistantes.

SONDEO N.º 1.—Se situó en el punto 11 del perfil n.º 1, alcanzando una profundidad de 190 metros. Sirvió para

comprobar dicho perfil a ambas profundidades y confirmó que también se acusa perfectamente el mínimo del perfil de 100 m. de profundidad correspondiente al cruce del supuesto filón. A partir de los 110 m. la resistividad sube, posiblemente debido a la influencia del substratum antiguo, pero en una zona de trastorno y mucha agua que no nos atrevemos a interpretar con datos tan insuficientes.

SONDEO N.º 2.—Se llegó en él hasta los 400 m. de profundidad, situándolo en el punto 28 del perfil n.º 8 con anterioridad a su ejecución, con objeto de determinar la profundidad más adecuada para este perfil.

Como se ve, la curva va aumentando progresivamente sin grandes variaciones, no permitiéndonos sus anomalías asegurar una interpretación. Sin embargo, adelantamos que no creemos que hasta la profundidad de 360 m. se llegue a la caliza triásica.

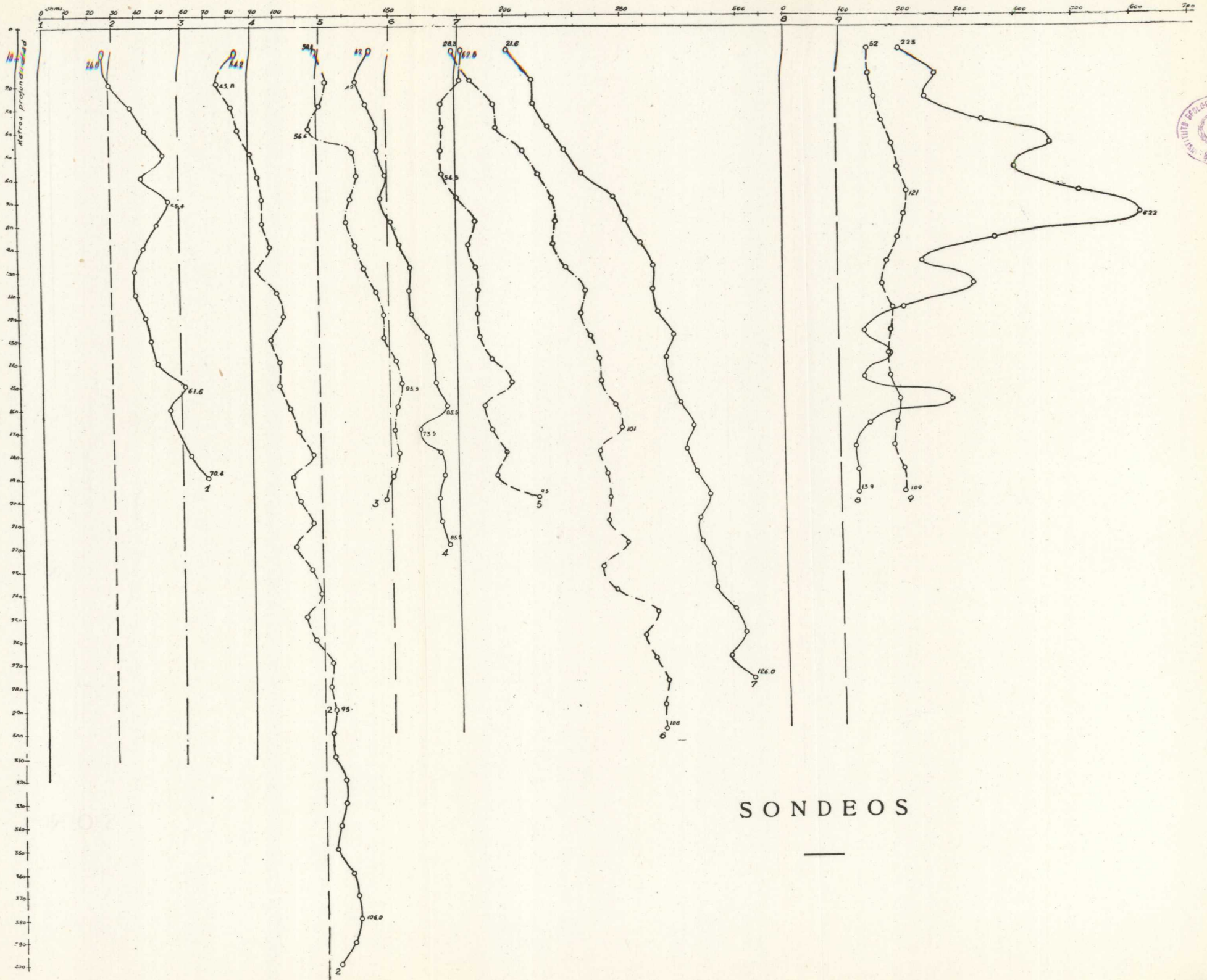
SONDEO N.º 3.—Se hizo a 600 m. al O.-15°-S. del Km. 2 de la carretera de El Llano a El Algar. Llegó hasta los 200 m. de profundidad, no señalando ningún cambio que pueda indicar la llegada a las calizas.

SONDEO N.º 4.—Se situó a 350 m. al O.-15°-S. del Km. 2 de la carretera antes citada, o sea a 250 m. al E.-15°-N. del 3. Coincide con el punto 63 del perfil n.º 8. Tiene 220 m. de profundidad y sin duda no ha alcanzado a la caliza triásica.

SONDEO N.º 5.—Está situado en el perfil n.º 4, a 75 metros al E.-15°-N. del Puerto del Beal. Su profundidad alcanzó los 200 metros.

Hasta los 195 m. no se manifiesta ningún cambio apreciable que pueda ser interpretado como de calizas. Pero de acuerdo con el mencionado perfil creemos que este cambio indica, en efecto, el techo de los buscados bancos calizos.

INVESTIGACIÓN ELÉCTRICA EN EL LLANO DEL BEAL (CARTAGENA)



SONDEOS n.º 6 y 7.—El sondeo n.º 6 coincide con el punto 23 del perfil n.º 7, y el n.º 7 está a 90 m. al E.-15°-N. del sondeo anterior. El primero alcanzó los 300 m. de profundidad y el otro 280 metros.

Su semejanza es muy grande, lo que comprueba el buen funcionamiento del método y aparatos empleados.

Se aprecia un primer cambio a los 50 m., debido al nivel hidrostático, que en esa zona debe estar a tal profundidad. En cuanto al cambio que nos interesa, correspondiente a la caliza, no creemos se produce hasta los 245 metros, en el primero, y 250 m. en el segundo.

SONDEO n.º 8.—Se situó a 44 m. al N. de la estación del gravímetro n.º 80, que coincide con el punto del perfil n.º 4. Se llegó a la profundidad de 200 metros.

Su gráfico es muy interesante, pues después de haberse hecho la interpretación del perfil, y sin ponerlos de acuerdo, confirman las conclusiones de aquél. En el sondeo se corta la caliza triásica a los 40 m.; las láguenas o zona de poca resistividad desde los 90 m. hasta los 155, y el Estrato cristalino a partir de estos 155 metros.

SONDEO n.º 9.—Se situó en el punto n.º 87 del perfil n.º 4, haciéndose con base en dirección N.-S. (casi normal al perfil n.º 4) y llegando a la profundidad de 200 metros.

El gráfico resulta muy diferente al sondeo anterior, debido a que en éste los electrodos de medida se clavaron en un sitio arcilloso de muy poca resistividad superficial, al revés que en el anterior, que eran de gran resistividad las capas superficiales.

La interpretación es, sin embargo, la misma, como corresponde en el perfil 4. A los 40 m. empiezan las calizas; a los 95 m. las láguenas y a los 155 el Estrato cristalino.

IV. Conclusiones

1.º La conclusión principal a que se ha llegado es la de que nuestro método no ha sido estéril en un problema tan difícil, pues tanto el techo de la caliza triásica como el del Estrato cristalino se han ido marcando con cierta precisión.

2.º En el perfil n.º 1, se manifiesta entre las estaciones 10 y 11 el paso de una superficie inclinada de pequeña resistividad, que puede indicar un filón (además de una falla o contacto de terrenos). Ha resultado coincidir con la prolongación del filón llamado «Canal del Pescador», dato de poca importancia práctica, por suponerse ya su paso, pero de mucho interés científico, por marcarse hasta su buzamiento.

3.º El asomo calizo llamado Cabezo Beal se prolonga en forma de anticlinal bajo el recubrimiento mioceno. La dirección del eje parece NNO. y buza en esta dirección. Su paso se manifiesta en los perfiles 4, 5, 6 y muy dudoso en el 7.

La profundidad de la caliza en el perfil 4 es prácticamente 0 en el eje; la del Estrato cristalino menos de 100 metros. Además, en este mismo perfil se han realizado, simétricamente a ambos flancos, los sondeos 8 y 9, resultando en ambos la profundidad de la caliza a 40, y la del Estrato cristalino a 155 metros. En el sondeo n.º 5, situado más a Levante, parece haberse llegado a la caliza a los 195 m. de profundidad.

En el perfil 5 es todavía algo menos de los 100 m. y en el 6 es de unos 160 metros. En el perfil 7 dudamos de que se haya llegado a ella a los 160 m. en el eje. Además, en

los sondeos eléctricos 6 y 7 de dicho perfil, realizados probablemente en el sitio más profundo del valle geológico, se manifiestan las calizas a los 245 y 250 m., respectivamente.

Desplazándonos más hacia el N. hasta el perfil 8, resulta que los 3 y 4 no han llegado a las calizas a los 220 m. investigados, y en el n.º 2, mucho más profundo, ha alcanzado los mencionados bancos a 355 m. de profundidad.



CAPÍTULO XIV

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN AVILÉS (ASTURIAS)

La existencia del Carbonífero, aflorante en Villabona y Ferroñes y su prolongación comprobada bajo los terrenos mesozoicos en las cercanías de ambas zonas de explotación, aparte de la presencia en la de Arnao, sea o no el mismo tramo, y teniendo presente que estos terrenos secundarios están representados por el Triás, el Lías y el Infracretáceo, que son los mismos que cubren y se repiten sobre las pequeñas cuencas de Cancienes y Avilés, es lógico sospechar la posible existencia de tramos hulleros parecidos, dada la analogía del recubrimiento y las circunstancias comunes que en todas concurren.

A tal concepción responde la decisión del Instituto Geológico y Minero de España de ejecutar, por medio de su Sección de Geofísica, una investigación por el método sísmico, distribuída en dos etapas: una en la zona de Cancienes, y la otra en la de Avilés.

La primera etapa se realizó durante el verano de 1949, y la segunda en el de 1950.

I. Reseñas geográfica y geológica

Descripción geográfica.

Como se deduce del plano horizontal, que incluímos, complementado por los cortes geológicos, tanto la zona de Cancienes como la de Avilés comprenden una superficie bastante accidentada, particularmente la primera, con relieve muy acusado.

Sus principales accidentes topográficos corresponden, en la primera, a los altos de Campanones y de Rodiles, que exceden de 200 m., destacando el cerro de Castiello, con 342 m., mientras que el valle por donde discurre el río Albares, en su primer tercio, está comprendido entre 50 y 60 m. sobre el nivel del mar. En la región occidental de esta misma zona destacan los altos de Ferroñes y Arbós, sobre los que se extiende la carretera de Posada a Llanera, y donde se destacan altitudes sobre los 400 metros, como en Santofirme, coronando los 300 metros varios lugares de las inmediaciones de Arlós.

La zona de Avilés, más cercana a la orilla del mar, no es tan abrupta. Destacan en ella el cerrete de la Luz, donde se alza la capilla del mismo nombre, con 112 metros de altitud. En Cruz de Illas y Santo Domingo de Miranda alcanzan alrededor de los 130 metros. Desde esta parte más elevada desciende de un modo gradual y ondulado, alternando las cimas y los valles entre los 87 m. que tiene el cerro más elevado de San Pedro de Navarro y los 10 m. que corresponden a la villa de Avilés, poco más o menos. Destaca, en cierto modo, la zona de Santiago de Ambiedes, que rebasa los 100 m. más al N. de los enumerados, pero sin configuración exagerada, toda vez que sigue descen-

diendo gradualmente hacia el mar para terminar, en el acantilado de la costa, entre 50 y 60 metros.

El estuario de la ría se extiende en sus dos márgenes desde San Juan de Nieva a Trasona, bajo cotas inferiores a 20 metros y con pendiente uniforme.

Un espolón o serrezuela más abrupta es la que divide ambas zonas de estudio. Se extiende desde San Juan de Tamón, con cotas de nivel algo superiores a los 100 m., y sigue por Santa Cruz hacia Bango y Cerro de la Peña, donde culmina en 366 y 340 m., respectivamente. Por su parte oriental sufre una desviación hacia el S., de la que oportunamente trataremos, para proseguir constituyendo el Monte Arao, con altitudes superiores a 260 m. en algunos puntos y en dirección y sentido hacia Cabo Torres, en el Puerto del Musel.

HIDROGRAFÍA.—Está limitada en estas dos zonas a la ría de Avilés y sus afluentes. Dicha ría nace de la confluencia de los arroyos que descienden desde Santiago de Ambás, por Tabaza y Zanzabarnín. Esta confluencia fija el límite de las mareas en la misma.

Como afluentes principales tiene, por su margen izquierda, contados aguas abajo, el río Albares, como más importante, y los arroyos de Molleda y Tejera y el río Raíces, en último término. Por la margen derecha sólo merece citarse el arroyo Vioño, que se origina en San Jorge de Manzaneda y desemboca en San Juan de Nieva, frente a la Dársena. Todos son de origen torrencial y están influidos por las mareas en las cercanías de su confluencia con la ría.

Reseña geológica.

Está representada la región por las siguientes formaciones geológicas, consideradas de menor a mayor edad:

CUATERNARIO.—La extensión más notable de esta formación es la comprendida por el estuario de la ría, que empieza con ancho aproximado de 200 a 300 m. en San Vicente de Trasona y, siguiendo el propio curso de la misma, alcanza alrededor de 600 en la zona de El Pinar, cerca ya de su desembocadura en San Juan de Nieva. En dicha zona se ensancha y extiende hacia Salinas, para constituir el arenal comprendido entre dicho pueblo y la ría, cuyas «dunas», cubiertas en gran parte por tupido pinar, alcanzan alturas de 25 y 30 m. de cota. La misma formación penetra siguiendo aguas arriba el río Raíces hasta Piedras Blancas y, por el lado opuesto, sigue las márgenes del Vioño hasta la carretera del faro.

Se trata de un tramo moderno de la serie o tramo «Actual», cuyos elementos petrográficos son las arenas, légamo y tierra vegetal, con algunas tongadas intercaladas de canto rodado.

Las partes restantes se circunscriben a las confluencias de los ríos y arroyos que desembocan en la ría, con escasa penetración aguas arriba de los mismos.

INFRACRETÁCEO.—El Infracretáceo se viene extendiendo, como las demás formaciones secundarias, en manchas aisladas entre sí desde el interior hasta la costa, en esta parte de Asturias.

Se compone de materiales silíceos de origen clástico, unas veces en tongadas de arenisca pardorrojiza o amarillenta, con potencias y orientaciones bien definidas, y las más en forma de conglomerados, poco trabados, constituyendo la mayoría de las guijeras de la localidad, que explotan para el afirmado de carreteras o como materiales de pavimentación y construcción en las diferentes obras del puerto. En algunos lugares, por su nivel, falta de estratificación y por su facies y sin fauna, pudieran atribuirse al

Cuaternario, pero su semejanza con el resto de la misma formación que se viene siguiendo desde el interior, y muy especialmente por la intercalación repetida de lechos carbonosos o lignitíferos entre sus tongadas, observados en varios puntos de dichas zonas, nos induce a clasificarlos como correspondientes a dicho tramo.

Se extiende en tongadas casi horizontales o con ligera pendiente, como toda la serie, hacia la costa, por el término de Corvera de Asturias; en las inmediaciones de Arlós, recubriendo el criadero de espato flúor, que a su vez coincide con la presencia del horizonte triásico y el Carbonífero de Ferroñes, constituye una pequeña meseta, y en la parte septentrional o zona de Avilés cubre la meseta de San Pedro de Navarro, la de La Garita o Cañeyo y la de La Vallina, dando vista a Arnao, amén de algunos restos, como el de Luz, en Villalegre.

En la zona de Las Huelgas, próximo a la carretera de Serín a Tabaza, hubo algunos reconocimientos sobre lechos carbonosos que indudablemente pertenecen a una de las múltiples capas de lignito intercaladas en dicho tramo, confundidas a la sazón con la formación hullera.

LIÁSICO.—El horizonte inmediato inferior de la serie secundaria está representado por unas calizas negruzcas, tabeadas, con vetas espáticas, frecuentemente en concordancia completa con el tramo precedente y con el Triásico inmediato que en profundidad le sigue. De vez en cuando se interponen entre estas bandas calizas otras pequeñas de estructura pizarreña, pero la casi totalidad de su potencia es calcárea.

Aflora a media ladera en la vertiente meridional de Castiello, dando vista a Villabona, y sigue contorneando dicho afloramiento por el O. el macizo de Campañones y Cervera, en el que penetra con ligera inclinación hacia el

Norte, hasta las inmediaciones de Nubledo. En la iglesia de San Justo, que se alza precisamente sobre estas calizas, coronan dichas rocas hasta topar por occidente con las discordantes paleozoicas (devonianas) y terminar en corte natural sobre la margen derecha del arroyo de Lavares o del Espino.

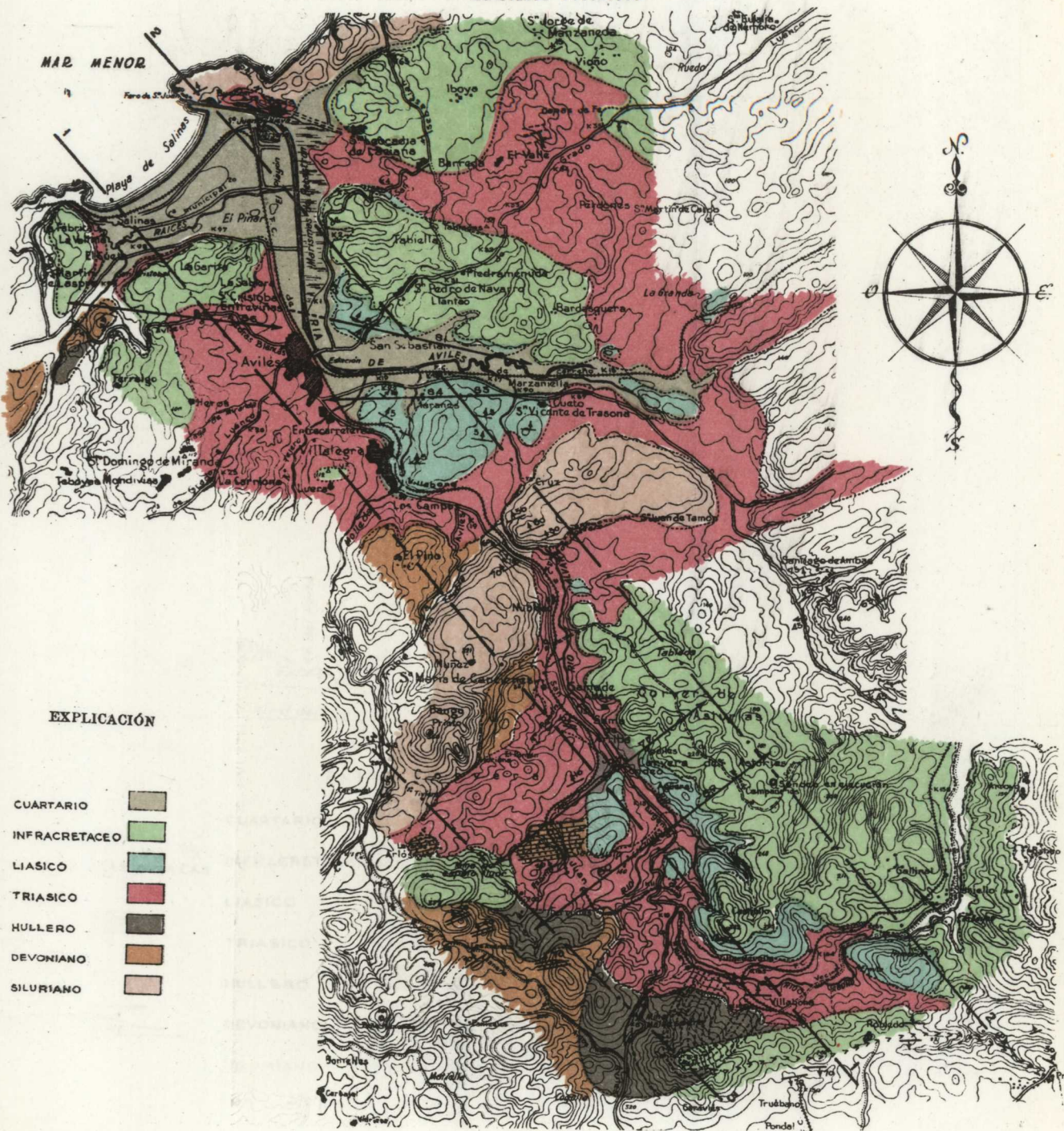
En la zona de Avilés se repiten estas tongadas en el isleo de Llaranes, con la misma inclinación de 5° término medio, con el horizonte y buzamiento al N., lo mismo que en la loma de San Justo, y por último, después del recubrimiento cuaternario del estuario de la ría, reaparecen en el flanco meridional del macizo de San Pedro de Navarro, con la misma o parecida inclinación en el barrio de San Sebastián y siguiendo la curva de nivel topográfico hacia Levante. En el arroyo de Tabiella y Km. 4 de la carretera de Santiago de Ambiades, vuelve a asomar en gran parte de su potencia, pero con buzamiento contrario, es decir, al Sur, lo que acredita la forma sinclinal suave y su límite septentrional probable, ya que a partir de ese borde sólo se observan inmediatas las capas triásicas que le soportan, y seguidamente el Paleozoico, que constituye el fondo de toda la serie estratigráfica que estudiamos.

Entre los arroyos de Zanzabarnín y Tabaza, que origina la ría, se observa un isleo de estas mismas calizas, pero con inclinaciones más acentuadas, y en la parroquia de Santiago de Ambás aparece un fuerte y cerrado sinclinal con ramas aproximadamente simétricas e inclinaciones de 70 a 75° , que indudablemente corresponden al mismo horizonte, toda vez que la que corresponde al flanco norte de dicho pliegue hundido es la que forma el flanco sur de otro levantado más al N. y coincidente su denudada cresta o charnela con la carretera de Avilés a Gijón, abierta sobre las margas y areniscas triásicas. El flanco norte de este

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN AVILÉS (ASTURIAS)

PLANO HORIZONTAL

ESCALA 1:100,000

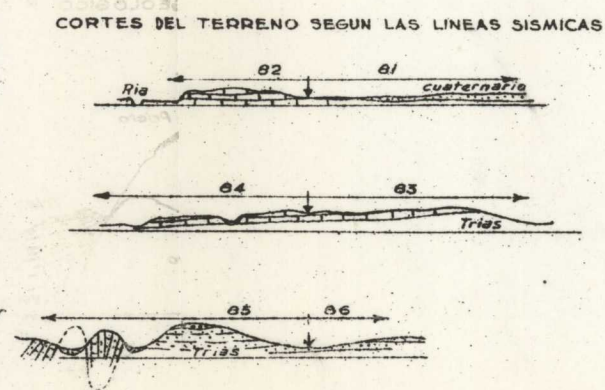
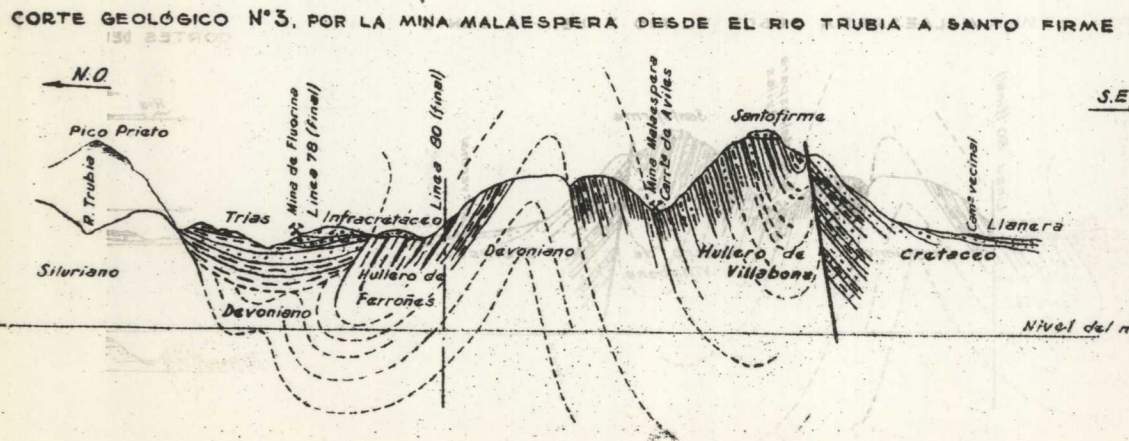
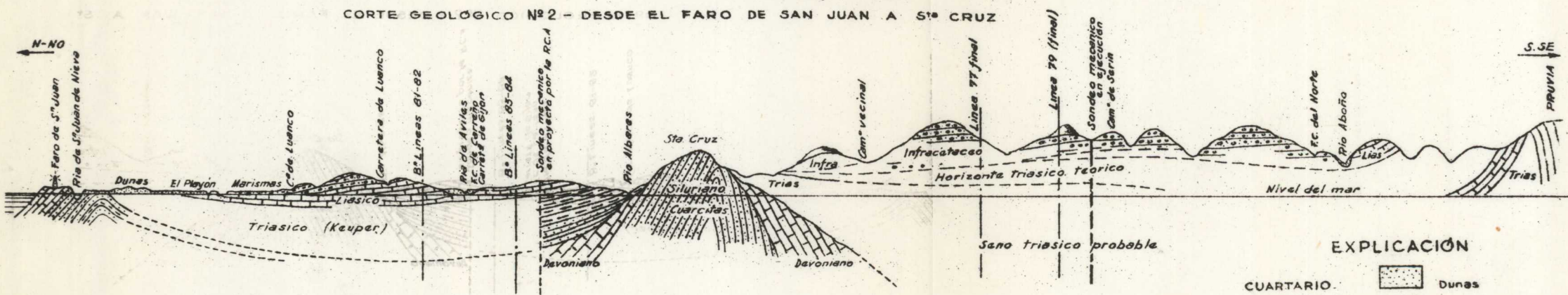
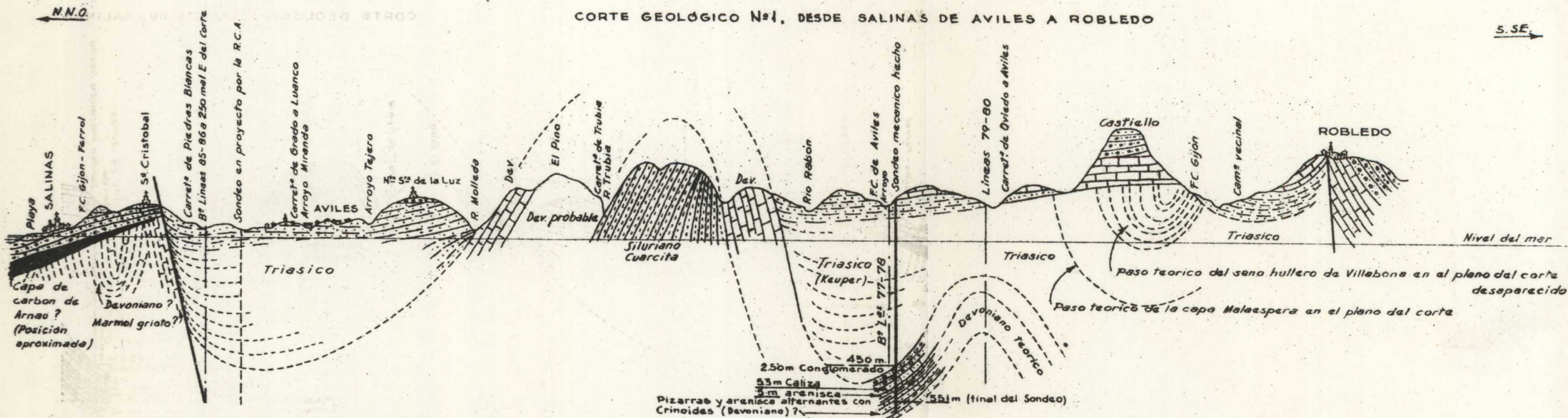


EXPLICACIÓN

- CUARTARIO
- INFRACRETACEO
- LIÁSICO
- TRIÁSICO
- HULLERO
- DEVONIANO
- SILURIANO

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN AVILÉS (ASTURIAS)

CORTES GEOLÓGICOS



EXPLICACIÓN

- CUARTARIO: Dunas
- INFRACRETACEO: Conglomerados
- LIASICO: Calizas y pizarras
- TRIASICO: Arenas y margas
- HULLERO: Pizarras y arenas
- DEVONIANO: Calizas y pizarras
- SILURIANO: Cuarcitas

ESCALAS { Horizontal 75.000
 Vertical 1:15.000

pliegue anticlinal concuerda con el del barrio de La Barre-ra, y se manifiestan sus bancos de caliza negra, con abundantes vetas espáticas, en una cantera en explotación frente al Km. 85 de la expresada carretera de Gijón.

Siguiendo rumbo al N. se hallan otros bancos en posición casi vertical, coincidiendo aproximadamente con la mitad del Km. 13 del ferrocarril de Carreño, que aparentemente son también liásicos (no hemos podido observarlos detenidamente) porque se superponen a las areniscas del Triás, que asoma inmediato y en ancha zona hacia el Noroeste.

La novedad de estas calizas es la discordancia tan marcada en relación con la disposición de las que venimos reseñando en las zonas de Avilés y Cancienes, puesto que mientras en éstas yacen, si no horizontales, con inclinaciones muy suaves y tendencia marcada en su buzamiento hacia el mar, en las que dejamos descritas de la zona de Santiago de Ambás y Tamón, acusan fuertes inclinaciones y repliegues, como si entre ambas se interpusiera un trastorno estratigráfico.

TRIÁSICO.—Como expresión última y profunda de la representación mesozoica aparece en ambas zonas y sus alrededores el horizonte triásico, aflorante en manchas aisladas superficialmente entre sí, pero constituyendo, dentro de cada zona, puesto que ambas están separadas por una barrera paleozoica también aflorante, un todo unido que con el resto de las formaciones o tramos descritos constituyen la cobertera de cada una de ambas cuencas, cuya disposición estratigráfica pretendemos determinar.

La zona de Cancienes es, como se observa por los planos y cortes, como una prolongación tectónica de la de Villabona, y la de Avilés, si no correspondiente a la misma por lo que diremos al tratar de la tectónica, puede estar

relacionada con la de Arnao, cuyo tramo hullero parece posterior.

En todo caso, el horizonte triásico en la zona de Cancienes es prolongación evidente de la de Villabona, puesto que se sigue superficialmente sin solución de continuidad hasta topar con la barrera paleozoica de que hemos hablado y se interpone entre ambas zonas. Su roca predominante es la arenisca, alternando con margas irisadas, con inclinación el conjunto de unos 10° con el horizonte, buzando hacia el Norte.

En la zona de Avilés prosigue el mismo horizonte de areniscas y margas irisadas, aunque son muy escasos los lugares de observación directa por la cubierta de césped, circunstancia muy generalizada en Asturias, que dificulta extraordinariamente la labor del geólogo; pero se aprecia perfectamente el arranque a partir del batiente siluriano, del que ya hemos tratado, y divide ambas zonas. Se desarrolla, pues, a partir de Los Campos rodeando el macizo liásico de Llaranes, bajo el cual se oculta. Sigue por San Vicente de Trasona y Villalegre hasta Avilés, que se alza sobre la misma formación, y pasados los depósitos liásico e infracretáceo de San Pedro de Navarro y La Garita reaparece al Norte en disposición mal definida por la falta de cortes naturales del terreno, pero aparentemente horizontal y con ligero buzamiento, si acaso, hacia el Sur.

Muy pobre en fauna, como es el caso general en dicho terreno, y de facies completamente análoga a la de la zona de Cancienes, lo mismo que su disposición y naturaleza estratigráfica, hemos de considerarlas idénticas. La lengua que penetra en el Valle hacia Manzaneda es de un espesor muy escaso, según demuestran las labores de la mina Concepción, de la «Siderúrgica Asturiana, S. A.», que tiene abierto un socavón de unos 200 metros de longitud,

habiendo cortado el horizonte devoniano, donde arman las capas ferríferas que explota, a muy pocos metros de su entrada (40 metros según referencias tomadas del encargado de la mina). La superficie que cubre esta formación en la zona de Avilés viene a representar alrededor de 100 kilómetros cuadrados, partiendo del lógico supuesto de que prosiga sin interrupción bajo los depósitos altos de la misma serie.

PALBOZOICO. — Las manifestaciones superficiales del Paleozoico quedan limitadas a las dos manchas señaladas en el plano horizontal y cortes 1 y 3, correspondiendo una de ellas, la más importante por ser la que en la actualidad se halla en actividad, a Villabona y Santofirme, y la otra a la inactiva o de Ferroñes, separadas superficialmente por el apéndice devoniano que corta el ferrocarril en su kilómetro 4, poco antes del apeadero del mismo nombre. La mancha tercera corresponde a la zona de Arnao, en la que sólo forma una capa de carbón de gran potencia y suave inclinación hacia el mar, mientras que en la zona de Villabona está constituido el tramo por un paquete de unas 17 capas, incluido un carbonero, en disposición de cuenca o sinclinal cerrado a poca distancia hacia el SO. de los socavones generales, y en ramas abiertas, hasta el momento en sentido contrario, con la particularidad de que, según antecedentes recogidos, en dichas ramas se observa un mayor avance en las galerías que sobre ellas se abren a medida que son más profundas, antes de llegar al horizonte triásico que las recubre; es decir, que la erosión por las mismas sufrida antes de depositarse dicho horizonte, ha ido profundizando de SO. a NE., permitiendo tal circunstancia la sospecha de que puede seguir hasta el paso posible de la falla que se aprecia en la región de Las Huelgas, entre Serín y Tabaza.

DEVONIANO.—Corresponden a esta formación, sin duda alguna, unos paquetes de capas de arenisca rojiza y otros de caliza con intercalaciones pizarreñas que se observan en los cortes del ferrocarril de Villabona a Avilés, uno de los cuales es el que constituye la separación de los dos senos de Villabona a Ferroñes, de que hemos hablado; y el otro corresponde al kilómetro 6 del citado ferrocarril, capas que sobresalen en plena formación triásica completamente discordantes en dirección e inclinación con ella, y tienen su correspondencia interna con la zona por donde se desarrolla la carretera de Posada.

En Santa María de Cancienes son objeto de explotación unas canteras de caliza de la misma formación, que constituyen el flanco SE. de la sierra, y dentro de la zona de Avilés tiene su correspondencia en el flanco NO. de la misma.

En el cerrete denominado de La Plata, en el plano, y cortadas por una trinchera del ferrocarril en construcción Ferrol-Gijón, aparecen unas capas formando las dos ramas de un sinclinal muy agudo, casi verticales dichas ramas, de arenisca rojiza ferruginosa alternando con calizas escamosas, también rojizas, e intercalaciones pizarreñas de color vinoso flanqueadas al N. por la caliza marmórea o griota. Hemos obtenido algunos ejemplares de *Spirifer* y algunas conchas características, como la *Calceola sandalina*.

En una cantera de Piedras Blancas las capas aparecen igualmente con profusión de fauna devoniana.

En plena formación triásica, en el Valle, próximo a la carretera de Luanco, abierto un socavón, cortó a los 40 m. de su entrada las primeras capas devonianas, formadas por areniscas con leyes en Fe superiores al 40 %, que explota la «Siderúrgica Asturiana, S. A.». El socavón alcanzó 200 m. sin salir de dicha formación,

SILURIANO.—La más antigua representación del aludido Paleozoico está constituida por una serie de bancos de cuarcita, con 50, 60 y 70° de inclinación, que forman la sierra que separa ambas zonas de estudio entre Cancienes y Avilés, y se desarrolla desde los altos de Banco hasta San Juan de Tamón. En este punto termina y, después de un desplazamiento hacia el SE. de unos tres kilómetros, prosigue en dirección al Cabo Torres, en El Musel.

Otra manifestación de esta serie primaria antigua se observa cerca de la costa, en disposición anticlinal, sobre la cual se abre la caja de la carretera o camino vecinal al faro, desde su Km. 6 a Iboya.

Las dos precedentes formaciones últimas son las que constituyen el fondo, digámoslo así, sobre el cual descansan las anteriores de la serie secundaria, pudiendo encerrar las primeras senos hulleros productivos, repetición de los análogos de Villabona y Ferroñes, bien que la zona de Arnao, con disposición y potencia muy diferente, puede corresponder a tramo y época distintas, sin repetición tierra adentro.

TECTÓNICA.—Observando el plano general en su expresión geológica y exacta del terreno, después de haber sido éste examinado con la atención requerida por el estudio, se infiere que la sierra siluriana que aparece topográficamente en descenso gradual desde la parte que lleva el nombre de Sierra de Bufarán, pasando por Pico Prieto en el barrio de Bango, en la parroquia de Cancienes, queda superficial y bruscamente interrumpida o limitada en San Juan de Tamón, para reaparecer en su misma estructura y composición petrográfica a unos tres kilómetros hacia el SE., donde se origina su marcha idéntica, constituyendo el Monte Areo para terminar en Cabo Torres y proximidades del Musel, en Gijón.

Tal solución de continuidad implica un evidente accidente tectónico, cuya consecuencia esencial ha sido un desplazamiento de todo el macizo paleozoico oriental hacia la citada dirección. Incluso con el posible arrastre del Carbonífero, ya formado y probablemente plegado a la sazón, teniendo como secuela, además, el hundimiento del terreno en las cercanías del mencionado lugar, como parece deducirse al observar que en dicho bloque oriental desplazado no asoman las capas devonianas, que en el occidental se hallan flanqueando casi sin interrupción dicha formación siluriana.

Por otra parte, de la marcha de la explotación de las minas de Villabona se deduce una fuerte erosión de Paleozoico hacia dicho bache tectónico antiguo, puesto que se va repitiendo el caso de que los pisos abiertos en dicho sentido sobre las capas avanzan más a medida que son más profundos, hasta topar con el horizonte triásico que las recubre inmediato.

Y una nueva observación es la de que, en el bloque oriental, aparecen las capas liásicas aflorantes constituyendo un doble pliegue entre Santiago de Ambás y Logrezaña, cuyos flancos respectivos presentan inclinaciones con el horizonte superiores a 50 y 60°, mientras que en el bloque opuesto, o de Cancienes, rara vez se aprecian superiores a 10° y, en general, con buzamiento hacia el mar o con ligeras ondulaciones.

Se deduce, a nuestro juicio, de todo lo expuesto, que dicho accidente, en su doble manifestación de empuje lateral y hundimiento, con esa fuerte erosión posterior a lo largo del mismo y coincidente con la ría de Avilés, pudo haber dado lugar incluso a la desaparición total del tramo Hullero en ese bache.

Por tal razón, y ayudados en estas consideraciones por

los resultados del estudio sísmico en la zona de Cancienes, confirmados en parte por el sondeo mecánico realizado en Solís, parece de pocas esperanzas dicha zona, sobre todo tanto más dudosa cuanto más se aproxima al paraje de Las Huelgas y de Los Vayos, que coincide con el paso probable de la correspondiente falla y, consecuentemente, con el mayor espesor de los horizontes secundarios de cobertura por la mayor cota de erosión originada.

Las mismas reflexiones nos inducen a suponer más apropiada para la exploración la zona de Avilés, si es que al otro lado del batiente siluriano, que pudo haber permanecido fijo o menos afectado por el empuje, hubo depósitos hulleros.

II. La investigación sísmica

En la zona de Cancienes, correspondiente a la primera campaña de 1949, se han proyectado y llevado a cabo cuatro líneas sísmicas. Las dos primeras, señaladas en el plano horizontal con los números 77 y 78, por seguir la misma numeración que las anteriores prospecciones carboníferas de Asturias, fueron establecidas en la parroquia de Cervera de Asturias, al S. de Cancienes, situando la explosión para las mismas en el arroyo denominado de Lavares o del Espino, próximo a su desembocadura en el río Albares y a unos 250 metros de la carretera de Oviedo a Avilés, siguiendo aguas arriba del mencionado arroyo. Además, dicho lugar coincide con las cercanías del primer sondeo mecánico de la «Real Compañía Asturiana», que a la sazón se estaba realizando.

Las otras dos líneas, 79 y 80, se separaron de las anteriores unos 1.500 metros, siguiendo la misma carretera de

Oviedo a Avilés, en la dirección de la capital, habiendo situado la explosión a otros 250 m. aproximadamente, en la margen izquierda del arroyo que desciende de Ferroñes o de Santa Eulalia y desemboca en el río Albares.

La orientación dada a ambos grupos de líneas sísmicas ha sido la de Levante-Poniente, con pequeña variación angular hacia el N. en el primer cuadrante o NE., que es la misma que por término medio corresponde a esas formaciones secundarias de cobertera.

En la investigación del año presente, correspondiente a la zona de Avilés, el número de líneas que se han proyectado y llevado a efecto han sido seis, siguiendo el mismo criterio establecido para la zona de Cancienes; es decir, haciendo línea y contralínea, con explosión común para ambas. Las dos primeras, 81 y 82, se establecieron en la parroquia de San Pedro de Navarro, fijando el lugar de la explosión en la margen derecha del estuario de la ría de Avilés, próximo al camino vecinal que arranca de la carretera de Avilés a Luando, en el barrio de San Sebastián, y a unos 500 metros de dicho arranque. Las dos siguientes, 83 y 84, se fijaron en el lado opuesto de la ría, en San Vicente de Trasona, paraje de Fafilán y Llaranes, a unos 300 metros de la carretera de Avilés a Gijón. Y, por último, las dos últimas, 85 y 86, se emplazaron en la prolongación, sensiblemente occidental, de las dos primeras, siguiendo la carretera de Piedras Blancas, fijando el lugar de la explosión al Sur del Km. 1 de dicha carretera y frente a la iglesia de San Cristóbal de Entreviñas.

Para la orientación de cada grupo de estas líneas se ha seguido criterio análogo al de Cancienes, dándole a cada uno el coincidente con la marcha de la estratificación de cobertera; es decir, con la orientación de las capas triásicas y liásicas, que en general son concordantes.

A continuación damos cuenta, por separado, del resultado de cada una de las líneas efectuadas.

LÍNEA LXXVII. —El barreno de esta línea se encuentra en la margen derecha del arroyo de Lavares, a unos 300 metros, aguas arriba del puente sobre el mismo arroyo de la carretera de Oviedo a Avilés. Su dirección es E.-30°-N. Consta de 21 estaciones y tiene 2.200 metros de longitud.

Dibujada la curva dromocrónica se llega a la diferenciación de los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{200}{0,095} = 2.100 \text{ m/s.}$$

que corresponde al horizonte superficial más o menos descompuesto.

$$V_2 = V_{2-7} = \frac{700 - 200}{0,029 - 0,095} = 3.700 \text{ m/s.}$$

$$V_3 = V_{7-12} = \frac{1.200 - 700}{0,442 - 0,229} = 2.350 \text{ m/s.}$$

que determinan al Triás margoso y sabuloso.

Si existiesen pizarras carboníferas, que son de elasticidad similar, no se podrían diferenciar.

$$V_4 = V_{12-21} = \frac{2.300 - 1.200}{0,684 - 0,442} = 4.550 \text{ m/s.}$$

indica lo que es para nosotros el fondo de la cuenca, bien calizas carboníferas o Devoniano, o bien cuarcitas y pizarras.

Dada la relación de velocidades entre los diferentes horizontes, no se puede precisar más que la profundidad del fondo de la cuenca. Para calcularla aplicaremos el mismo coeficiente de profundización empleado en toda la región en las investigaciones anteriores, que ha sido $K = 0,30$. Por tanto, el fondo se encuentra a los $1.210 \times 0,30 = 363$ metros de profundidad.

LÍNEA LXXVIII. —Es contralínea de la anterior, por con-

siguiente parte del mismo barreno y tiene dirección Oeste-30°-Sur.

Estudiada la dromocrónica se llega a la determinación de los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{100}{0,065} = 1.500 \text{ m/s.}$$

que indica a la cubierta detrítica.

$$V_2 = V_{1-3} = \frac{350 - 100}{0,119 - 0,065} = 4.600 \text{ m/s.}$$

corresponde a la caliza liásica.

$$V_3 = V_{3-10} = \frac{1.050 - 350}{0,315 - 0,119} = 3.500 \text{ m/s.}$$

representa probablemente el piso triásico, con sus horizontes alternantes y de muy variable elasticidad.

$$V_4 = V_{10-15} = \frac{1.650 - 1.050}{0,368 - 0,315} = 11.000 \text{ m/s.}$$

es la velocidad aparente de la caliza primaria compacta o quizá de cuarcitas silurianas, que además hay que suponer que atraviesa el rayo sísmico en sentido ascendente. Igualmente indica el valor sísmico

$$V_6 = V_{18-28} = \frac{2.450 - 1.950}{0,580 - 0,527} = 9.000 \text{ m/s.}$$

De acuerdo con esto, el parámetro intermedio

$$V_5 = V_{15-18} = \frac{1.950 - 1.650}{0,527 - 0,368} = 1.900 \text{ m/s.}$$

no debe de ser interpretado más que como una falla o escalón descendente y de magnitud considerable.

Tenida en cuenta esta interpretación, el fondo de la supuesta cuenca se encuentra a los $1.050 \times 0,30 = 315$ metros de profundidad.

Refiriendo los resultados al barreno común de ambas líneas, se acepta en su emplazamiento la media de las cifras obtenidas. Por lo tanto,

$$\frac{363 + 315}{2} = 339 \text{ m.}$$

será la profundidad que se admite como primera aproximación para el fondo primario, pues en el apartado siguiente se corregirá esta profundidad, de acuerdo con la inclinación del contacto determinado, que es de consideración en esta zona.

LÍNEA LXXIX.—El barreno de esta línea se ha emplazado en el terreno donde se encuentra la casa de Víctor, a unos 300 metros al Oeste del Hm. 2 del Km. 12 de la carretera de Avilés a Oviedo. Tiene dirección Este-30°-Norte, consta de 23 estaciones y su longitud alcanza 2.350 metros.

Dibujada y estudiada la dromocrónica se llega a diferenciar en ella los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{100}{0,074} = 1.350 \text{ m/s.}$$

que indica la cubierta especial descompuesta.

$$V_2 = V_{1-6} = \frac{600 - 100}{0,253 - 0,074} = 2.700 \text{ m/s.}$$

corresponde a las margas del Triás que se ven aflorando en la zona.

$$V_3 = V_{6-10} = \frac{1.000 - 600}{0,321 - 0,253} = 6.000 \text{ m/s.}$$

$$\text{y } V_5 = V_{18-28} = \frac{2.350 - 1.350}{0,648 - 0,445} = 5.000 \text{ m/s.}$$

son valores que deben de ser atribuidos a calizas y cuarcitas del Primario.

$$V_4 = V_{10-18} = \frac{1.350 - 0,321}{1.000 - 0,445} = 2.800 \text{ m/s.}$$

debe de ser interpretado como un accidente o falla, sin poderlo asegurar.

Según estos datos, el fondo de la cuenca se manifiesta a los $600 \times 0,30 = 180$ metros de profundidad.

LÍNEA LXXX.—Esta es contralínea de la anterior, partiendo del mismo origen y extendiéndose en sentido Oeste-30°-Sur. Tiene 2.400 metros de profundidad y consta de 23 estaciones.

Estudiada la dromocrónica se consideran en ella las siguientes alineaciones:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{100}{0,085} = 1.200 \text{ m/s.}$$

que indica la cubierta detrítica.

$$V_2 = V_{1-4} = \frac{400 - 100}{0,212 - 0,805} = 2.400 \text{ m/s.}$$

es la velocidad aparente de las margas triásicas.

$$V_3 = V_{4-33} = \frac{2.400 - 400}{0,589 - 0,212} = 5.300 \text{ m/s.}$$

corresponde a los paquetes potentes y compactos de calizas y cuarcitas del Primario.

Por consiguiente, el fondo de la cuenca se encuentra a los $400 \times 0,30 = 120$ m. de profundidad.

Refiriendo estos valores al barreno común resulta que, en su emplazamiento, la profundidad del fondo primario debe de ser de

$$\frac{180 + 120}{2} = 150 \text{ m.}$$

Cifra que corregiremos a continuación, por inclinación de las capas.

Corrección de las profundidades obtenidas para las líneas LXXVII, LXXVIII, LXXIX y LXXX.—Según se ha observado, la profundidad en el barreno LXXVII-LXXVIII ha sido, para el fondo de la cuenca buscada, de 339 m., y en el de las líneas LXXIX-LXXX de 150 metros. Estos barrenos se encuentran a 750 m. de distancia horizontal, lo que indica que el contacto tiene una inclinación del 25 por

cientos, próximamente. En estas condiciones, la verdadera profundidad, considerada verticalmente en las líneas LXXVII-LXXVIII, será de 425 m., teniendo en cuenta que el rayo sísmico se ha refractado perpendicularmente al referido contacto. Y en el barreno LXXIX-LXXX será de 187 m., ambas cifras aproximadas, haciéndose el cálculo gráficamente.

Mientras se aceptaba esta interpretación, de acuerdo con las observaciones geofísicas, se proseguía la perforación de un sondeo en las proximidades del barreno LXXVII-LXXVIII, que alcanzó (con posterioridad), a los 450 m. de profundidad, el techo de una caliza compacta, al parecer primaria, sin especificar su edad. Pero cualquiera que sea su edad, lo que parece fuera de dudas es que, si no es carbonífera, se trata de una caliza más antigua, posiblemente devoniana; por consiguiente, nos encontramos en el fondo de la cuenca buscada.

Como se encuentra a los 450 m., y según los cálculos sísmicos debiera aparecer a los 425, se ha cometido un error de 25 m., que está dentro de los límites de apreciación del método empleado.

LÍNEA LXXXI.—Esta línea y las siguientes están al N. del macizo siluriano que se levanta entre Cancienes y Villalegre, cerca de Avilés. El barreno común a ésta y la LXXXII se situó a 20 m. al S. del camino vecinal de Llantao, en el barrio de San Sebastián, del concejo de San Pedro Navarro, coincidiendo con un borde liásico. Su dirección, E. 22° S., la componen 24 estaciones, con una longitud total de 2.300 metros.

Dibujada la dromocrónica correspondiente, distinguimos en ella los parámetros siguientes:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{100}{0,087} = 1.200 \text{ m/s.}$$

que corresponde a la cubierta superficial descompuesta que recubre el Liásico.

$$V_2 = V_{2-18} = \frac{1.200 - 100}{0,317 - 0,087} = 4.800 \text{ m/s.}$$

que suponemos corresponde al tramo liásico, con las irregularidades que provienen de intercalaciones margosas comprobadas en la zona.

$$V_3 = V_{18-18} = \frac{1.700 - 1.200}{0,597 - 0,317} = 1.800 \text{ m/s.}$$

que indica probablemente el Triás arcilloso.

El último tramo, cuyo parámetro consideramos, es el siguiente:

$$V_4 = V_{18-24} = \frac{2.300 - 1.700}{0,719 - 0,597} = 4.900 \text{ m/s.}$$

Por su velocidad y situación se debe atribuir a calizas fuertes o cuarcitas del Primario.

La formación primaria comienza, pues, en esta línea, próximamente a los 510 m. que resultan de la aplicación del coeficiente de profundización:

$$K = 0,30$$

LÍNEA LXXXII.—Es contralínea de la anterior y, por lo tanto, con barreno común. Su dirección es O.-22°,5-N.

Su longitud es de 1.200 m. solamente, pues a partir de esa distancia la línea se internaba en la ría de Avilés, y dificultades de emplazamiento de sismógrafos impidieron su continuación.

Es interesante, sin embargo, el estudio comparativo del tramo liásico, atravesado en ambas líneas.

En el estudio de la dromocrónica de esta línea, podemos considerar sólo dos tramos:

El primero,

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{100}{0,066} = 1.500 \text{ m/s.}$$

que corresponde al recubrimiento descompuesto.

El segundo,

$$V_2 = V_{1-12} = \frac{1.200 - 100}{0,394 - 0,066} = 3.400 \text{ m/s.}$$

que indica las calizas liásicas. Su valor resulta bastante bajo, pero si tenemos en cuenta que se manifiestan claramente los mismos bancos margosos intercalados y que el rayo sísmico atraviesa el conjunto, en sentido descendente de las capas, puede dar este valor, que sólo es aparente. De acuerdo con esto, se debe suponer que la estación de 400 m. epicentralas de la línea LXXXI corresponde a la de 500 m. de la línea LXXXII, y la de 1.000 m. de la línea LXXXI con la de 1.100 m. de la línea LXXXII, lo que significa una diferencia en profundidad de unos 30 metros.

Por lo tanto, podemos aceptar para el Paleozoico la profundidad de $510 + 30 = 540$ metros.

En el barreno común de ambas líneas aceptamos la media

$$H = \frac{510 + 540}{2} = 525 \text{ m.}$$

LÍNEA LXXXIII.—El barreno de esta línea se situó a unos 300 m. al S. del Km. 91 de la carretera que va de Avilés a Gijón, en una propiedad del Sr. Álvarez.

La dirección que sigue esta línea es Este.

El lugar se encuentra sobre el terreno liásico, alcanzando una longitud de 2.300 m., con 23 estaciones de sismógrafo.

En la dromocrónica correspondiente, dibujada con los valores de los tiempos y distancias epicentrales, consideramos los parámetros siguientes:

$$V_1 = \frac{100}{0,063} = 1.600 \text{ m/s.}$$

para la cubierta superficial.

$$V_2 = V_{0-9} = \frac{900 - 100}{0,268 - 0,063} = 3.900 \text{ m/s.}$$

que nos indica, por su velocidad, pertenecer a las calizas liásicas.

$$V_3 = V_{9-17} = \frac{1.700 - 900}{0,556 - 0,268} = 3.100 \text{ m/s.}$$

que atribuimos a las areniscas del Triás, y, por último,

$$V_4 = V_{17-25} = \frac{2.300 - 1.700}{0,668 - 0,566} = 4.500 \text{ m/s.}$$

que demuestra que el rayo sísmico ha alcanzado en su recorrido las formaciones del Primario.

La formación primaria debe hallarse, aproximadamente, a la profundidad

$$H = 1.700 \times 0,30 = 510 \text{ m.}$$

LÍNEA LXXXIV.—Tiene barreno común con la anterior y es, por lo tanto, su contralínea, siguiendo una dirección opuesta, o sea al Oeste.

Alcanzó una longitud de 2.200 m. tan sólo, debido a que penetraba a partir de esa distancia en la zona edificada de las afueras de Avilés, imposibilitando su continuación.

Si estudiamos la línea dromocrónica correspondiente, podemos considerar en ella los tramos diferentes, cuyos parámetros son:

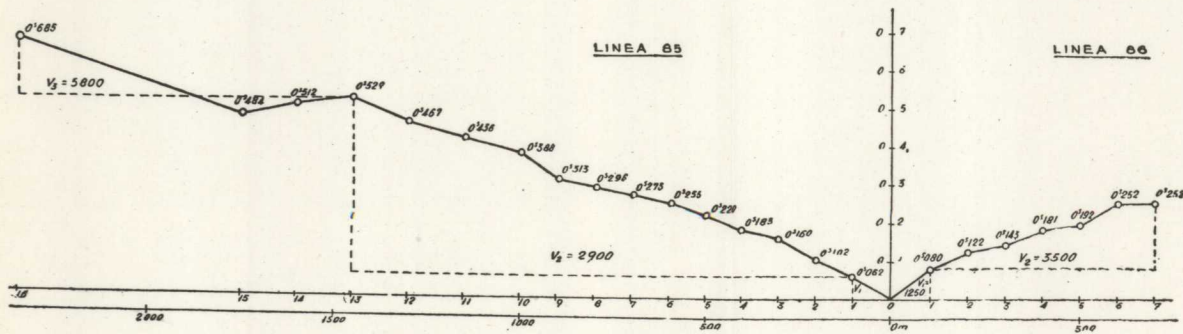
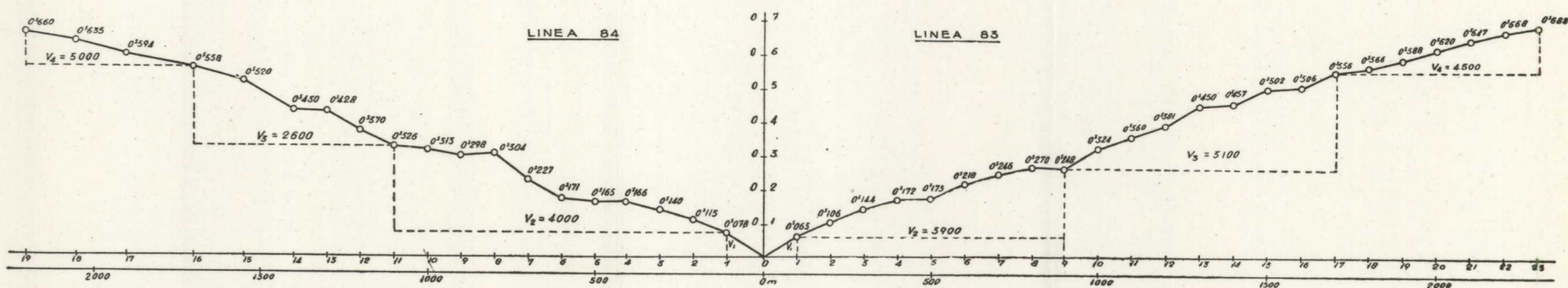
$$V_1 = \frac{100}{0,078} = 1.300 \text{ m.}$$

para la cubierta superficial descompuesta.

$$V_2 = V_{1-11} = \frac{1.100 - 100}{0,326 - 0,078} = \frac{1.000}{248} = 4.000 \text{ m/s.}$$

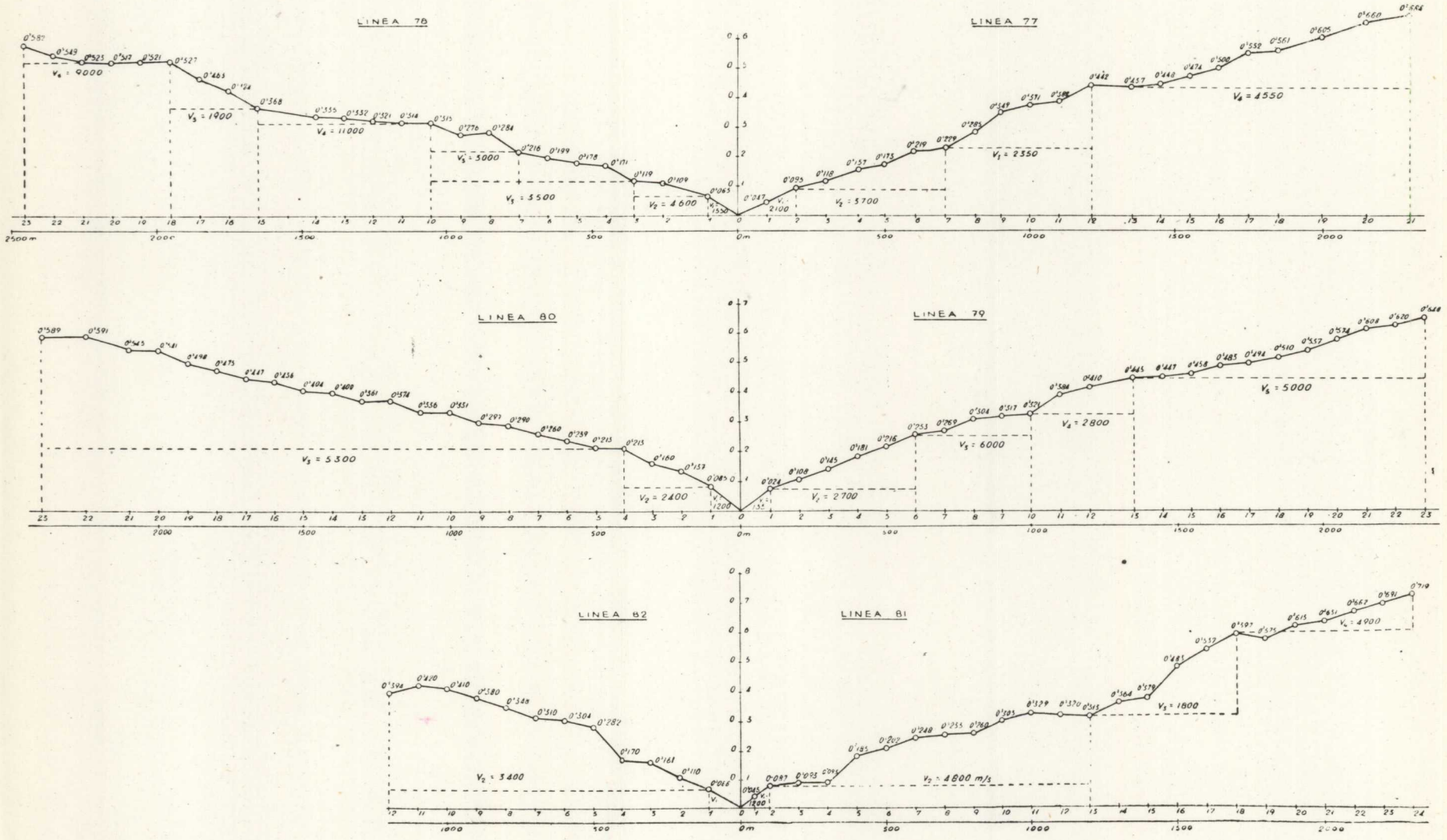
correspondiente a la formación liásica con calizas y tramos

LÍNEAS DROMOCRÓNICAS





LÍNEAS DROMOCRÓNICAS



margosos intercalados, a los que se deben las irregularidades que se observan.

$$V_3 = V_{11-16} = \frac{1.700 - 1.100}{0,558 - 0,326} = \frac{600}{0,232} = 2.600 \text{ m/s.}$$

que atribuimos a la formación triásica, y por último,

$$V_4 = V_{6-16} = \frac{2.200 - 1.700}{0,660 - 0,558} = \frac{500}{0,102} = 5.000 \text{ m/s.}$$

que corresponde sin duda al fondo primario.

Aplicando el mismo coeficiente, resulta que el Primario se encuentra a los

$$H = 1.700 \times 0,30 = 510 \text{ metros.}$$

Si consideramos las líneas LXXXIII y LXXXIV, tendremos como profundidad más probable en el barreno la misma

$$H = 510 \text{ metros.}$$

LÍNEA LXXXV.—Esta línea tiene su barreno 200 m. al Sur del Hm. 2 del Km. 2 de la carretera de Avilés a Piedras Blancas y sigue una dirección ONO.

Fue ejecutada con grandes dificultades, especialmente en su última parte, debidas, por un lado, a lo accidentado del perfil topográfico, que impidió colocar los sismógrafos en algunos sitios.

La longitud alcanzada fue de 2.350 m., pero presenta un vano de 600 m. entre la penúltima y última estación, que se debe a las razones antes expuestas.

La formación sobre la que se encuentra el barreno de esta línea es la triásica, representada por la arenisca roja.

El primer tramo nos da

$$V_1 = \frac{100}{0,062} = 1.600 \text{ m/s.}$$

para la zona superior meteorizada.

Después una velocidad

$$V_2 = V_{1-12} = \frac{1.450 - 100}{0,529 - 0,062} = \frac{1.350}{0,467} = 2.900 \text{ m/s.}$$

que corresponde a la de las areniscas del Triásico.

El siguiente parámetro resulta

$$V_3 = V_{13-16} = \frac{2.350 - 1.450}{0,685 - 0,529} = \frac{900}{0,156} = 5.800 \text{ m/s.}$$

que nos demuestra que el rayo sísmico atraviesa la formación primaria.

Calcularemos, como en las líneas anteriores, la profundidad a que debe encontrarse el Primario, aplicando el coeficiente 0,30

$$H = 1.450 \times 0,30 = 435 \text{ metros.}$$

LÍNEA LXXXVI.—Esta línea, que tiene su barreno común con la anterior, no se pudo realizar completa y sólo alcanzó una longitud de 700 m. debido a que, a partir de esa distancia, se encontraban lugares edificados de Avilés y después la ría, por su margen izquierda.

Aunque su utilidad es escasa, confirma, sin embargo, en el tramo que se puede estudiar, que el rayo sísmico atraviesa la formación triásica.

Las velocidades del rayo sísmico que se observan en esta línea son:

$$V_1 = \frac{100}{0,080} = 1.250 \text{ m/s.}$$

que corresponde a la zona superior meteorizada, y

$$V_2 = V_{1-7} = \frac{700 - 100}{0,252 - 0,080} = \frac{600}{0,172} = 3.500 \text{ m/s.}$$

que es la correspondiente a las areniscas de la formación triásica, que se encuentra inmediatamente debajo en el lugar de la explosión.

La profundidad del Paleozoico en el barreno común de estas dos últimas líneas debe de ser algo superior a los

435 m., pues los parámetros indican que las capas son ascendentes hacia el ESE.

V. Conclusiones

De la investigación sísmica llamada de Avilés se deducen las siguientes conclusiones:

1.^a El fondo de la cuenca se encuentra en el barreno LXXVII-LXXVIII a los 425 m., y el barreno LXXIX-LXXX a los 187 m., próximamente.

Esto nos induce a corregir la cifra de 187 m. dada en el barreno LXXIX-LXXX, a 195 m., que creemos ahora más probable.

El sondeo mecánico terminado con posterioridad dio una profundidad para la caliza del fondo de 450 m., con 25 m. de diferencia solamente.

2.^a El mismo fondo buscado se encuentra en el barreno de las líneas LXXXI y LXXXII a los 525 metros. En el de las LXXXIII y LXXXIV a los 510 m., y en el de las líneas LXXXV y LXXXVI a los 435 m. o algo menos.

3.^a Que aunque, de acuerdo con la interpretación sísmica solamente, no se podría descartar la existencia de un tramo de pizarras hulleras sobre la caliza del fondo, hoy ha quedado descartado en el barreno LXXVII-LXXVIII por el resultado del citado sondeo, y con más razón eliminaremos ahora su existencia en el barreno LXXIX-LXXX. Pero no nos atrevemos a opinar para las demás líneas.

Estando de acuerdo estos resultados con otras consideraciones geológicas, parece poco probable que exista el Hullero productivo en el seno llamado de Avilés, comprendido entre los dos afloramientos devonianos de Cancienes y Avilés.

CAPÍTULO XV

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN BAÑOS DE LA ENCINA (JAÉN)

Como consecuencia de una indicación de la Dirección General de Minas, el Director de este Centro ha ordenado a su Sección de Geofísica la realización de una investigación sísmica en el valle geológico comprendido entre el río Guadiel, a Poniente de Linares, y el pueblo de Baños de la Encina.

La finalidad ha sido la de hallar la profundidad a que se encuentran en esa zona las formaciones antiguas, Paleozoico o granito, bajo el Mioceno y Triásico, puesto que, en las primeras, arman los célebres filones de plomo de la zona. En caso de encontrarse a profundidades asequibles, se prevé la posibilidad de perforar un pozo que alcanzase al substratum antiguo en el punto más profundo del perfil, para reconocer luego los terrenos subyacentes de sus posibles grietas-filonianas por una galería cruzando el valle mencionado. Veremos a continuación cómo han sido de mucho interés las conclusiones obtenidas.

I. Reseñas geográfica y geológica

Reseña geográfica.

La zona que es objeto de la investigación geofísica que nos ocupa está situada en la región de Linares (Jaén), al ONO. de dicha población, entre el río Guadiel y Baños de la Encina.

Referente a su orografía, la región está enclavada en las estribaciones meridionales de Sierra Morena, presentando accidentados y abruptos relieves al O. y N. de Baños de la Encina, en forma de pequeña sierra, con altitudes que oscilan de 400 a 480 metros. Desde el pie de esta sierra y a partir de Baños hacia el E., existe una amplia llanura de 340 a 360 m. de altitud, en la que está situada la zona de investigación geofísica objeto de nuestro estudio, y a continuación, en el mismo sentido, siguen las lomas graníticas del batolito de Linares, con altitudes algo inferiores que la sierra anterior y con cotas de 400 a 410 metros en los cerros más elevados.

Por su hidrografía pertenece a la cuenca del Guadalquivir, el cual pasa por la estación de Espeluy, a unos 15 ó 20 Km. al SO. de nuestro territorio. A él vierte el río Rumblar, que corre en profundo y abrupto cauce sobre las estribaciones descritas de la sierra. Frente a Baños, su cauce es sensiblemente paralelo al borde de la llanura indicada, de la cual está separado de dos a tres kilómetros y en cuyo espacio o faja intermedia se levantan alineadas con igual dirección una serie de lomas y cerros, entre las que destaca la llamada Dehesilla, con 463 m. de altitud, y otras hasta de 480 m., que forman la divisoria de aguas al Este del río.

El río Guadiel corre por el extremo levante de la zona de investigación.

Este río, como todos los accidentes geográficos apuntados, sigue la dirección NE. a SO.

El caudal del Guadiel es muy inferior al del Rumblar y de curso intermitente. Su cauce está formado por un pequeño y angosto valle sobre terrenos graníticos de la parte occidental del campo minero de Linares.

Desde la divisoria con el Rumblar los arroyos vierten al Guadiel a través de la fértil llanura, en la que extensos olivares alternan con buenas tierras de cereales, constituyendo en conjunto una bella campiña. Al SO., hacia Bailén, la llanura es substituída por cerros y lomas sin orientación definida, de hasta 440 m. de altitud.

Reseña geológica.

CUATERNARIO.—Algunas manchitas pequeñas de terreno de formación cuaternaria figuran en el vértice SE. del plano.

La posición de estas manchas sobre el Triásico, al S. de la carretera de Linares a Bailén, hacia el puente sobre el Guadiel, indican que se trata de restos de terrazas antiguas del mismo río.

Sus materiales están acumulados en tongadas, constituyendo niveles diferentes de terraza entre 280 y 320 metros. Las más bajas, que no están comprendidas en nuestro plano, corresponden a altitudes de 280 m., en las que son más frecuentes los cantos pequeños de naturaleza calcárea envueltos en un conjunto sabuloso. Las más altas, de 300 a 320 m. de altitud, son las que figuran en el plano; tienen cantos silíceos, variados y de mayor tamaño, con cemento arcilloso que liga fuertemente los trozos, formando a veces verdaderos conglomerados.

TERCIARIO.—Sobre esta formación se han efectuado las líneas sísmicas. Se trata de una faja de este terreno orientada, como los citados accidentes geográficos, de NE. a SO., ensanchando hacia Bailén y estrechando hacia Guarrmán.

Sus estratos o capas son perfectamente horizontales, salvo en raros casos de acodamiento de los bordes, lo que indica la inamovilidad desde su formación.

Sus materiales son de constitución margosa, con alternancias sabulosas y colores claros en los horizontes altos; son arcillosos, grisáceos, en los medios, y arenosos con algunos conglomerados y pequeños lechos calizos, con tinte moreno, amarillento y rojizo, en el fondo.

El tramo medio o de arcillas muy puras sirve de materia prima para una gran industria alfarera, en Bailén.

SECUNDARIO.—El terreno geológico que a continuación se presenta en la zona, en orden descendente, es el Trías.

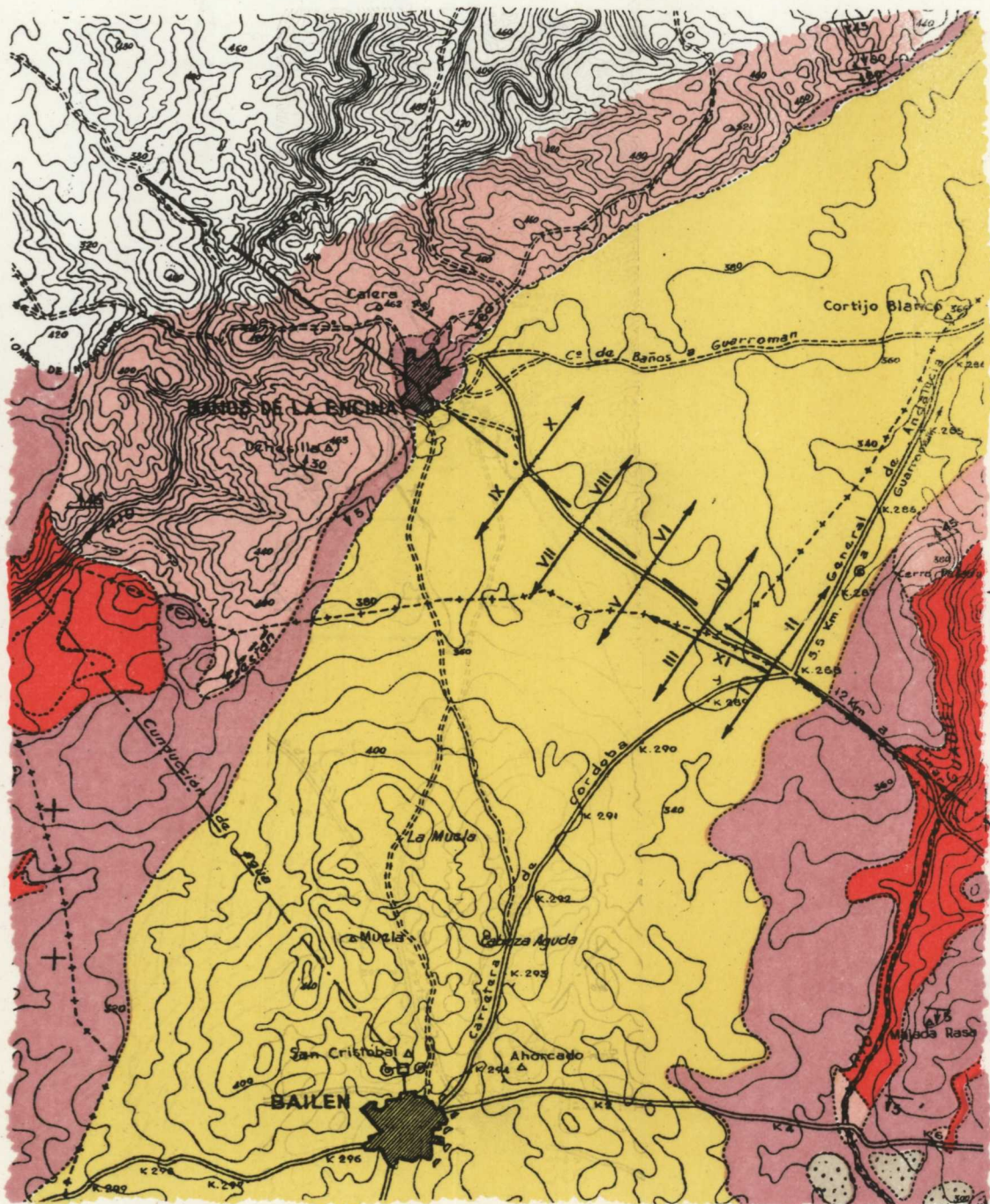
Forma manchas en fajas irregulares a uno y otro lado de la llanura investigada, que se oculta bajo el Mioceno.

El Trías se apoya unas veces sobre el Cambriano, como junto al Cerro Pelado y en el pueblo de Baños, y otras directamente sobre el granito en el río Guadiel, en Majada Rasa, en el río Rumblar y, en términos generales, en Linares y Vadollano, sirviendo de cobertera, con poco espesor, al batolito granítico.

Sus estratos o capas son casi horizontales en la zona de nuestro estudio o a lo más con un buzamiento de unos 5°.

Las rocas de la base son conglomerados y areniscas metamorizadas por el granito del contacto; sobre estos horizontes, en algunas partes existen margas irisadas arcillosas, seguidas de arenisca de grano fino y color amarillento. En la zona del Rumblar hay sedimentos calizos triásicos

PLANO HORIZONTAL



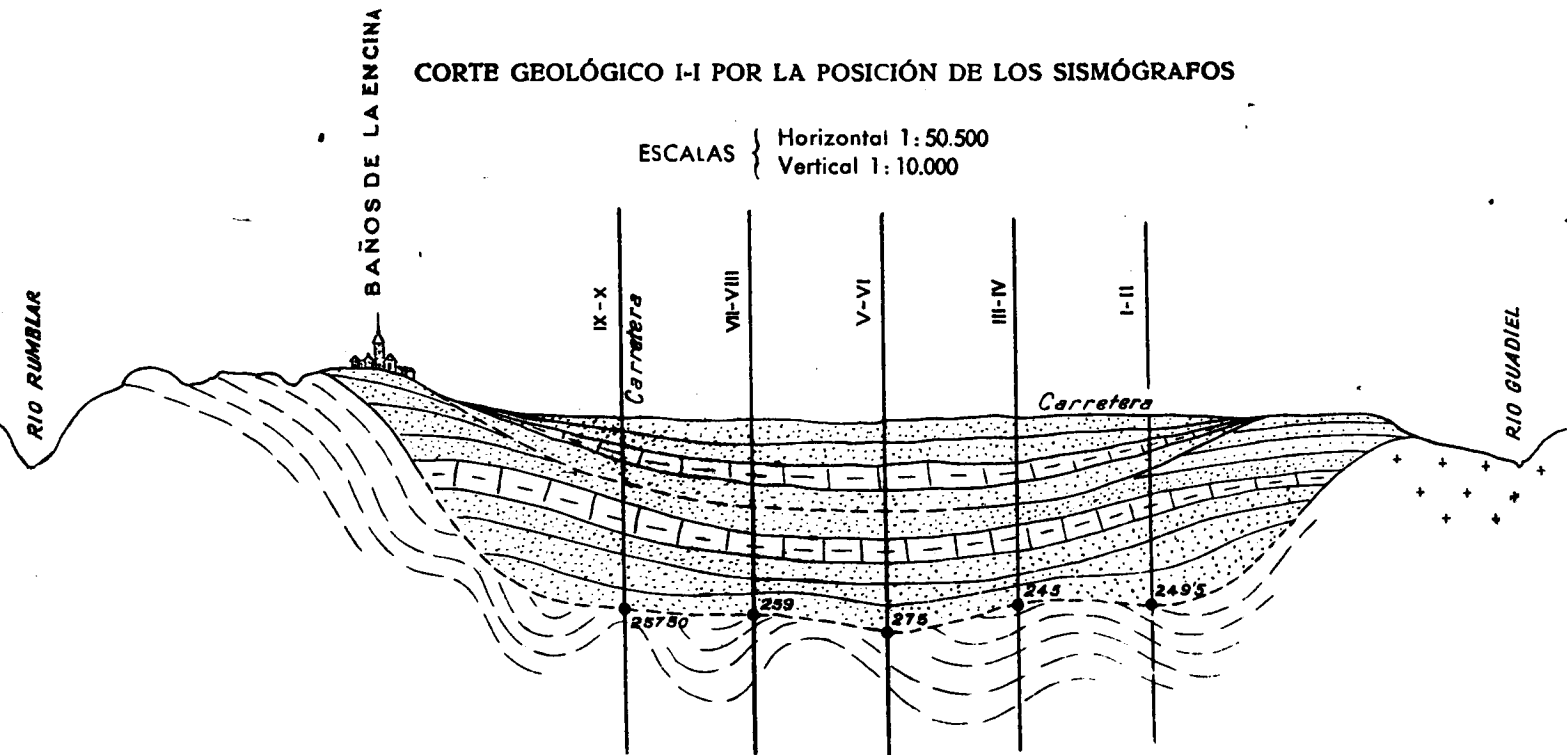
EXPLICACIÓN



- | | | | | |
|-------------|---------|----------|-----------|---------|
| | | | | |
| CUATERNARIO | MIOCENO | TRIÁSICO | CAMBRIANO | GRANITO |



ESCALA 1:75.000

CORTE GEOLÓGICO I-I POR LA POSICIÓN DE LOS SISMÓGRAFOS

ESCALAS { Horizontal 1: 50.500
Vertical 1: 10.000



MIOCENO  Areniscas y margas
 TRIÁSICO  Areniscas rojas y margas

CAMBRIANO  Pizarras
 GRANITO  GRANITO



en contacto directo con el granito, de tinte rojizo, con vetas espáticas y textura arriñonada, de poco espesor y horizontales.

PALBOZOICO.—Los sedimentos cambrianos parecen ser la única representación paleozoica que existe en la zona. Al E., y frente al Km. 286 de la carretera general de Madrid a Andalucía, a la derecha del río Guadiel, en dirección NE., hasta Guarromán, se presenta una faja cambriana de medio a un kilómetro de ancha, que tiene su asomo en contacto directo con el Mioceno al O., y al E. con el granito, sobre el que se apoya en la margen derecha del río Guadiel. En dirección contraria hacia el O., el Cambriano se oculta bajo las formaciones terciarias, posiblemente en contacto directo con ellas en algunos lugares. En otros, como en la zona en que se ubicaron las líneas sísmicas, quedará, además, cubierto por el Trías citado.

A partir de Baños hacia el NE., reaparece el Cambriano en los bordes de las estribaciones de la sierra, primero en contacto directo con el Mioceno y, en el extremo NE., con una faja estrecha del Triásico, intercalada entre ambos en una longitud de más de tres kilómetros.

Esta mancha cambriana se extiende también por la zona del Rumblar, internándose en la sierra.

Las pizarras grises, rosáceas a veces por contacto con el Trías, muy plegadas y dislocadas por los movimientos hercinianos, son las rocas que presenta principalmente el Cambriano en las zonas que figuran en el plano.

Sus buzamientos varían de 40 a 60°, con orientaciones muy diversas.

GRANÍTICO.— Dos asomos graníticos aparecen en el plano de esta investigación, a uno y otro lado de la zona estudiada.

Son, en su parte meridional, debidas a la erosión de

los ríos Rumbiar y Guadiel sobre los terrenos triásicos que los recubrían, en la parte del batolito de Linares.

El granito, que es la base de toda la serie estratigráfica enumerada, tiene la particularidad de que en sus masas afloradas en Linares contiene el mayor número de los más importantes criaderos de plomo del Distrito Minero, y aun del mundo, según algunos autores.

El granito, en sus distintos asomos, se presenta unas veces feldespático y descompuesto en algunos sitios de las márgenes del Guadiel y del Rumbiar; otras cuarcífero, duro y compacto, y lo mismo ocurre con la coloración rosácea y acaramelada cuando predomina el feldespato.

Tectónica.

La de esta región está ligada a la general que formó la gran cordillera Mariánica, de la cual es una manifestación de su extremo oriental, formando nuestra zona parte de la referida región. Siendo la de aquélla, o sea la de Sierra Morena, de tipo herciniano, a su gran serie de pliegues corresponde la marcha general de los que en esta región se observan, modificados por acciones sucesivas y póstumas que la afectaron de un modo local.

Entre ellos se ha de citar, porque su prolongación debe atravesar el S. de la zona investigada, el pliegue que desde el Km. 5 de la carretera de Linares a Bailén parece dirigirse hacia el asomo granítico del Rumbiar, cuyo tipo es de dirección francamente herciniana.

Sin embargo, el valle geológico Guarromán-Bailén parece ser, no un valle de erosión sino un valle tectónico de constitución granítica, sobre el que se depositaron el Paleozoico y Triás, y después de una larga época de erosión, el Mioceno.

II. La investigación sísmica

El método sísmico ha resultado muy apropiado para la resolución del problema propuesto, debido a la notable diferencia de velocidad sísmica que existe entre la correspondiente a las formaciones antiguas ya mencionadas y las del Triásico y Mioceno que las recubren.

Pero, además, dada la importancia de la prospección y con el fin de determinar con la mayor precisión posible las irregularidades del fondo del valle geológico, se ha adoptado el sistema de sismógrafos fijos, variando el lugar de las explosiones.

Las líneas se han emplazado tomando como eje de la investigación la carretera de Linares a Baños de la Encina, que cruza el valle citado, y se extienden en la dirección del mismo.

Los sismógrafos se situaron de 100 en 100 m. y, excepcionalmente, de 150 en 150 m. en la última línea.

El estudio ha resultado de una aproximación del orden de unos 25 m. de profundidad.

Los cinco perfiles o grupos de línea o contralínea observados, se encuentran a 900 m. unos de otros, según se indica en el plano. Cada uno consta de dos líneas sísmicas de 1.200 m., dirigidos en sentidos opuestos y según la dirección NE.-SO. magnéticos.

La línea XI se efectuó en el mismo sitio que las I y II, pero en sentido normal, o sea NO. magnético, y se hizo de mayor longitud para alcanzar mayor profundidad de reconocimiento.

Se han hecho 11 líneas sísmicas con un total de 132 sismogramas y un desarrollo en longitud de 13.500 m. Con

los valores obtenidos del cálculo de los sismogramas, para el tiempo del recorrido del rayo sísmico y las distancias epicentrales medidas sobre el terreno, se han dibujado las correspondientes líneas dromocrónicas.

En el sistema empleado al variar el lugar de las explosiones, si los niveles atravesados no son horizontales no se pueden relacionar los sismogramas para formar una dromocrónica, pues para cada posición del barreno el recorrido del rayo para igual distancia epicentral puede ser, y casi siempre es, diferente, según se explica al principio de este tomo.

No obstante, entre las muchas representaciones gráficas que se pueden adoptar, hemos escogido la de costumbre. Con ello se tiene la ventaja de una mayor sencillez, aunque hay que tener siempre presente que las constantes sísmicas de los paquetes atravesados no son medibles más que en cada agrupación de puntos correspondientes a una misma explosión.

Por los escalones descendentes o ascendentes que se aprecian en los grupos de puntos correspondientes a cada explosión, se puede conocer el aumento o disminución de profundidad de una formación determinada, a medida que las explosiones se alejan.

Para el cálculo de la profundidad del techo de la formación antigua se ha empleado, como más aproximada, la fórmula

$$H = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

tomando como V_2 la velocidad que se obtenga para el Paleozoico (o granito) y como V_1 la media desde el barreno al codo de la dromocrónica, o sea

$$V_1 = \frac{\text{Tiempo de recorrido}}{D}$$

pues, como ya dijimos, se ha comprobado durante muchos años de investigación que, además de ser el procedimiento más sencillo, no se cometen mayores errores que haciendo el cálculo para cada banco independiente. Esto es, naturalmente, debido a las irregularidades sísmicas del terreno, imposible de prever, que producen errores de mayor importancia y casi siempre es menor el valor obtenido para un banco que el verdadero considerado en un sondeo vertical.

También hay que hacer la advertencia de que, entre los límites de error admisible en este tipo de prospección, las profundidades que se obtienen se refieren a un punto comprendido entre el barreno que ha producido el codo de la dromocrónica y el sismógrafo donde se produce este codo, pero este punto se halla cerca del lugar de la explosión y, por lo tanto, lo referimos a ésta.

A continuación damos cuenta, por separado, del resultado de cada una de las líneas, advirtiendo que no aseguramos la distinción que hacemos entre Mioceno y Triás, aunque se hable de ello para mejor comprensión de los resultados de este trabajo.

LÍNEA I.—Los sismógrafos registradores de esta línea se colocaron en dirección SO.-NE., dos a cada lado de la carretera de Linares a Baños de la Encina y cruzando en alineación esta carretera a 150 m. de la carretera general de Andalucía.

La distancia mutua entre ellos ha sido de 100 m. y el avance de las explosiones se hizo de 400 en 400 m., en dirección SO. magnético.

Por la disposición de las dromocrónicas individuales de cada explosión, se deduce que el plano vertical que pasa por los sismógrafos y los barrenos corta el fondo de los terrenos de recubrimiento según una línea sensiblemente horizontal.

Las velocidades características de los distintos horizontes geológicos que se aprecian en esta línea son:

$$V_1 = \frac{100}{0,088} = 1.140 \text{ m/s.}$$

para la cubierta detrítica.

$$V_2 = \frac{400 - 100}{0,239 - 0,088} = \frac{300}{0,150} = 2.000 \text{ m/s.}$$

para las margas, arcillas y areniscas.

$$V_3 = \frac{800 - 500}{0,359 - 0,269} = \frac{300}{0,090} = 3.340 \text{ m/s.}$$

para las areniscas fuertes, probablemente triásicas, y

$$V_4 = \frac{1.200 - 900}{0,432 - 0,376} = \frac{300}{0,056} = 5.400 \text{ m/s.}$$

para las pizarras paleozoicas y rocas hipogénicas.

Con estos datos se pueden calcular las profundidades de cada uno de los tramos atravesados, pero nos limitamos a la del substratum antiguo, que es la finalidad de la prospección.

Aplicando la fórmula que ya hemos expuesto, resulta para profundidad del Paleozoico o granito:

$$H = \frac{830}{2} \sqrt{\frac{5.400 - V}{5.400 + V}} \text{ siendo } V = \frac{830}{0,365} = 2.275$$

$$H = 415 \sqrt{\frac{5.400 - 2.275}{5.400 + 2.275}} = 264 \text{ metros.}$$

Esta profundidad se refiere al tercer barreno.

LÍNEA II.—Los sismógrafos ocuparon igual posición que en la línea I, pero las explosiones avanzaron hacia el NE., o sea en dirección opuesta a la línea I.

De la observación de las dromocrónicas correspondientes a cada explosión se deduce que la dirección de los bancos, o más bien de los contactos, es sensiblemente la de la línea.

Sobre el mismo sistema de ejes coordenados, pero en dirección opuesta, se ha dibujado la dromocrónica.

Las constantes de los distintos horizontes geológicos han sido:

$$V_1 = \frac{100}{0,087} = 1.150 \text{ m/s.}$$

para la cubierta descompuesta de la superficie.

$$V_2 = \frac{400 - 100}{0,235 - 0,087} = \frac{300}{0,148} = 2.025 \text{ m/s.}$$

para las margas y areniscas del Terciario.

$$V_3 = \frac{800 - 500}{0,360 - 0,272} = \frac{300}{0,088} = 3.400 \text{ m/s.}$$

para las areniscas más compactas del supuesto Triásico.

$$V_4 = \frac{1.200 - 800}{0,445 - 0,355} = \frac{400}{0,090} = 4.500 \text{ m/s.}$$

para las pizarras paleozoicas o rocas hipogénicas.

Con estos datos se obtiene la siguiente profundidad para el fondo buscado:

$$H = \frac{800}{2} \sqrt{\frac{4.500 - V}{4.500 + V}} \text{ siendo } V = \frac{800}{0,350} = 2.300$$

$$H = \frac{800}{2} \sqrt{\frac{4.700 - 2.300}{4.700 + 2.300}} = 235$$

para el tercer barreno.

Resumen de las líneas I y II.—Aun a pesar de las posibles irregularidades del contacto con los terrenos antiguos, podemos tomar como valor más seguro de la profundidad de la formación antigua en el centro de los sismógrafos la media de los valores obtenidos en las líneas I y II, o sea:

$$H = \frac{264 + 235}{2} = 249,5 \text{ m.}$$

LÍNEA, III.—Los sismógrafos se hallan a 900 m. de los de las líneas I y II, contados sobre la carretera de Linares a Baños de la Encina y hacia esta localidad.

El sentido de avance de las explosiones se hizo hacia el SO. magnético.

Por la disposición de las dromocrónicas de cada una de las explosiones, se deduce que el contacto de los horizontes se halla más profundo a medida que se avanza en el sentido SO.

Las velocidades aparentes de los distintos tramos que se aprecian en esta línea son:

$$V_1 = \frac{100}{0,084} = 1.200 \text{ m/s.}$$

para la cubierta superficial.

$$V_2 = \frac{400 - 100}{0,207 - 0,084} = \frac{300}{0,123} = 2.450 \text{ m/s.}$$

para las margas y areniscas del Mioceno, algo aumentada por ser el rayo sísmico ascendente.

$$V_3 = \frac{800 - 500}{0,375 - 0,270} = \frac{300}{0,105} = 2.850 \text{ m/s.}$$

para areniscas más fuertes, posiblemente del Triás, y

$$V_4 = \frac{1.200 - 900}{0,440 - 0,384} = \frac{300}{0,056} = 5.400 \text{ m/s.}$$

para las pizarras paleozoicas o granito.

Con estos datos podemos calcular el techo de los terrenos antiguos con relación al codo de la dromocrónica, teniendo presente que sus coordenadas son 830 m. y 0°38', y tendremos

$$H = \frac{830}{2} \sqrt{\frac{5.400 - V}{5.400 + V}} \text{ siendo } V = \frac{830}{0,380} = 2.200 \text{ m/s.}$$

$$H = 415 \sqrt{\frac{5.400 - 2.200}{5.400 + 2.200}} = 270 \text{ m.}$$

para el tercer barreno.

LÍNEA IV.—La posición de los sismógrafos es la misma que para la línea anterior, y el sentido de avance de las explosiones NE. magnético.

Del gráfico de dromocrónicas se deduce que disminuye la profundidad de los bancos en esta dirección, al revés que en la contralínea, lo que se confirma tanto por los escalones como por las velocidades aparentes menores.

Estas velocidades han resultado:

$$V_1 = \frac{100}{0,076} = 1.300 \text{ m/s.}$$

para la cubierta detrítica.

$$V_2 = \frac{400 - 100}{0,245 - 0,076} = \frac{300}{0,169} = 1.800 \text{ m/s.}$$

para las margas y areniscas terciarias.

$$V_3 = \frac{800 - 500}{0,370 - 0,242} = \frac{300}{0,128} = 2.350 \text{ m/s.}$$

para las areniscas posiblemente triásicas.

$$V_4 = \frac{1.200 - 900}{0,445 - 0,372} = \frac{300}{0,073} = 4.100 \text{ m/s.}$$

para el fondo paleozoico.

La profundidad de éste será:

$$H = \frac{800}{2} \sqrt{\frac{4.100 - V}{4.100 + V}} \text{ siendo } V = \frac{800}{0,360} = 2.200 \text{ m/s.}$$

$$H = 400 \sqrt{\frac{4.100 - 2.200}{4.100 + 2.200}} = 220 \text{ m.}$$

En el punto medio del emplazamiento de los sismógrafos se toma como más aproximada la profundidad media entre los dos obtenidos a ambos lados del perfil, o sea:

$$H = \frac{270 + 220}{2} = 245 \text{ m.}$$

LÍNEA V.—Los sismógrafos de esta línea están a 900 metros de los de las líneas III y IV, contados sobre la carretera de Linares a Baños de la Encina, en dirección a este pueblo.

El sentido de avance de las explosiones se hizo hacia el SO. magnético.

Las velocidades aparentes de los tramos que apreciamos son:

$$V_1 = \frac{100}{0,087} = 1.150 \text{ m/s.}$$

correspondiente a la cubierta detrítica.

$$V_2 = \frac{400 - 100}{0,217 - 0,087} = \frac{300}{0,130} = 2.300 \text{ m/s.}$$

que atribuimos a las margas y areniscas terciarias.

$$V_3 = \frac{800 - 500}{0,371 - 0,273} = \frac{300}{0,098} = 3.050 \text{ m/s.}$$

que es la velocidad de las areniscas del Triásico, y

$$V_4 = \frac{1.200 - 900}{0,470 - 0,424} = \frac{300}{0,046} = 6.500 \text{ m/s.}$$

que corresponde a los terrenos antiguos del fondo.

Aplicando la misma fórmula que para las otras líneas, y con los datos obtenidos, tendremos para profundidad del techo antiguo:

$$H = \frac{900}{2} \sqrt{\frac{6.500 - V}{6.500 + V}} \text{ siendo } V = \frac{900}{0,424} = 2.100 \text{ m/s.}$$

$$H = 450 \sqrt{\frac{6.500 - 2.100}{6.500 + 2.100}} = 325 \text{ m.}$$

para el tercer barreno.

LÍNEA VI.—Los sismógrafos receptores están en el mismo sitio que para la línea V, pero el sentido de avance de las explosiones se hizo en sentido opuesto, o sea en dirección NE. magnético.

Las velocidades aparentes de los diferentes tramos son:

$$V_1 = \frac{100}{0,091} = 1.050 \text{ m/s.}$$

para la cubierta detrítica.

$$V_2 = \frac{400 - 100}{0,255 - 0,091} = \frac{300}{0,164} = 1.800 \text{ m/s.}$$

para las margas del Terciario.

$$V_3 = \frac{800 - 500}{0,405 - 0,254} = \frac{300}{0,151} = 2.000 \text{ m/s.}$$

para areniscas, probablemente triásicas, y por último,

$$V_4 = \frac{1.200 - 900}{0,479 - 0,405} = \frac{300}{0,074} = 4.050 \text{ m/s.}$$

para el fondo antiguo.

Las velocidades de esta línea resultan notablemente menores que las verdaderas, por seguir el rayo sísmico un trayecto que va en el sentido descendente del contacto de las formaciones que atraviesa.

Esto se confirma por los escalones descendentes de las dromocrónicas a medida que las explosiones se alejan del grupo de sismógrafos.

Lo mismo que en las líneas anteriores, calculamos la profundidad del fondo:

$$H = \frac{800}{2} \sqrt{\frac{4.050 - V}{4.050 + V}} \text{ siendo } V = \frac{800}{0,380} = 2.100 \text{ m/s.}$$

$$H = 400 \sqrt{\frac{4.050 - 2.100}{4.050 + 2.100}} = 225 \text{ m.}$$

en el emplazamiento del tercer barreno.

Para profundidad en el punto central del espacio cubierto por los sismógrafos tendremos, tomando la media de las líneas V y VI,

$$H = \frac{325 + 225}{2} = 275 \text{ m.}$$

LÍNEA VII.—En esta línea y la siguiente los sismógrafos se colocaron a 900 m., contados sobre la carretera de Linares a Baños y cruzando la misma en dirección SO.-NE. magnéticos, como en todas las anteriores.

Como en las otras, las velocidades aparentes han sido:

$$V_1 = \frac{100}{0,079} = 1.260 \text{ m/s.}$$

para la cubierta detrítica y zona superficial meteorizada.

$$V_2 = \frac{400 - 100}{0,217 - 0,079} = \frac{300}{0,138} = 2.200 \text{ m/s.}$$

para las margas poco coherentes del Terciario.

$$V_3 = \frac{800 - 500}{0,387 - 0,267} = \frac{300}{0,120} = 2.500 \text{ m/s.}$$

que puede corresponder al Triás, pero pudiera ser que en este lugar fuese más potente el Terciario, por ser pequeña la velocidad y no poder atribuirlo al sentido descendente del rayo, ya que precisamente en este sentido el rayo debe seguir una trayectoria ascendente, como lo indica el salto de la dromocrónica con relación a la anterior.

Por último,

$$V_4 = \frac{1.200 - 900}{0,464 - 0,408} = \frac{300}{0,056} = 5.400 \text{ m/s.}$$

que corresponde al fondo antiguo del valle.

A continuación calculamos la profundidad del techo de esta formación:

$$H = \frac{250}{2} \sqrt{\frac{5.400 - V}{5.400 + V}} \text{ siendo } V = \frac{850}{0,400} = 2.000 \text{ m/s.}$$

$$H = \frac{850}{2} \sqrt{\frac{5.400 - 2.000}{5.400 + 2.000}} = 288 \text{ m.}$$

en el tercer barreno.

LÍNEA VIII.—Esta línea es la de dirección contraria a la VII, y por lo tanto en ella las explosiones avanzaron en sentido NE. magnético. Los sismógrafos ocuparon las mismas posiciones que en la anterior.

Las velocidades aparentes de los tramos estudiados son:

$$V_1 = \frac{100}{0,075} = 1.300 \text{ m/s.}$$

para la cubierta detrítica.

$$V_2 = \frac{400 - 100}{0,237 - 0,075} = \frac{300}{0,162} = 1.850 \text{ m/s.}$$

que se puede atribuir al Terciario.

$$V_3 = \frac{800 - 500}{0,382 - 0,248} = \frac{300}{0,134} = 2.250 \text{ m/s.}$$

que es velocidad inferior a la que corresponde al Triásico, pero la circunstancia de seguir el rayo sísmico una trayectoria en sentido descendente del contacto de las capas, como lo demuestran los escalones descendentes de las dromocrónicas, explica muy bien esta disminución aparente.

Por último,

$$V_4 = \frac{1.200 - 900}{0,455 - 0,385} = \frac{300}{0,070} = 4.300 \text{ m/s.}$$

que corresponde al fondo paleozoico o granítico de mayor elasticidad.

La profundidad a que se encuentra este fondo, referida al tercer barreno, será:

$$H = \frac{800}{2} \sqrt{\frac{4.300 - V}{4.300 + V}} \text{ siendo } V = \frac{800}{0,370} = 2.160 \text{ m.}$$

$$H = 400 \sqrt{\frac{4.300 - 2.160}{4.300 + 2.160}} = 230 \text{ m.}$$

Podemos tomar como profundidad más aproximada para el punto central de los sismógrafos de las líneas VII y VIII la media de los obtenidos para ambas, o sea:

$$H = \frac{288 + 230}{2} = 259 \text{ m.}$$

LÍNEA IX.—Para esta línea y la siguiente los sismógrafos receptores se hallan a 900 m. de la posición ocupada por las líneas VII y VIII, medidos sobre la carretera y aproximándonos a Baños de la Encina.

El avance de las explosiones se hizo en dirección SO. magnético.

Las velocidades de los diferentes tramos son:

$$V_1 = \frac{100}{0,092} = 1.100 \text{ m/s.}$$

para la cubierta superficial descompuesta.

$$V_1 = \frac{400 - 100}{0,225 - 0,092} = \frac{300}{0,133} = 2.250 \text{ m/s.}$$

para las margas y areniscas del Mioceno.

$$V_2 = \frac{800 - 500}{0,378 - 0,278} = \frac{300}{0,100} = 3.300 \text{ m/s.}$$

para las areniscas triásicas, probablemente, y

$$V_4 = \frac{1.200 - 900}{0,434 - 0,396} = \frac{300}{0,038} = 8.000 \text{ m/s.}$$

para el fondo paleozoico o el granito.

La profundidad se determina como siempre:

$$H = \frac{830}{2} \sqrt{\frac{8.000 - V}{8.000 + V}} \text{ siendo } V = \frac{830}{0,390} = 2.125 \text{ m.}$$

$$H = 415 \sqrt{\frac{8.000 - 2.125}{8.000 + 2.125}} = 315 \text{ m.}$$

para el tercer barreno.

LÍNEA X.—Tiene los sismógrafos en el mismo lugar que la línea IX y el sentido de avance de las explosiones se hizo en dirección NE. magnético.

Las velocidades de los tramos que consideramos en esta línea son:

$$V_1 = \frac{100}{0,086} = 1.160 \text{ m/s.}$$

correspondiente a la cubierta superficial.

$$V_2 = \frac{400 - 100}{0,242 - 0,086} = \frac{300}{0,156} = 1.900 \text{ m/s.}$$

para las margas y areniscas del Terciario.

$$V_3 = \frac{800 - 500}{0,393 - 0,254} = \frac{300}{0,139} = 2.150 \text{ m/s.}$$

que atribuimos al Triásico, y por último,

$$V_4 = \frac{1.200 - 900}{0,482 - 0,396} = \frac{300}{0,086} = 3.500 \text{ m/s.}$$

que representa, debemos atribuir al fondo paleozoico.

En esta línea las velocidades vienen disminuidas por

ser el rayo sísmico descendente, como lo prueban los escalones que se producen en la gráfica por estar los barrenos cada vez más cerca del fondo antiguo a medida que se alejan del grupo de sismógrafos.

La profundidad del lecho de la formación antigua se hallará en la forma acostumbrada:

$$H = \frac{800}{2} \sqrt{\frac{3.500 - V}{3.500 + V}} \text{ siendo } V = \frac{800}{0,380} = 2.100 \text{ m.}$$

$$H = 400 \sqrt{\frac{3.500 - 2.100}{3.500 + 2.100}} = 200 \text{ m.}$$

Como valor aproximado para la profundidad de la formación antigua en el centro del grupo de sismógrafos, tomaremos la media de la obtenida para las líneas IX y X, o sea:

$$H = \frac{315 + 200}{2} = 257,5 \text{ m.}$$

LÍNEA XI.—La línea XI se hizo para confirmar los valores obtenidos en las líneas I y II, y su dirección fue sensiblemente normal a la de estas líneas, o sea NO. magnético.

Los sismógrafos se colocaron a 150 m. de distancia mutua, alcanzando una distancia epicentral de 1.500 m., con lo que se alcanza mayor profundidad de investigación que en las líneas I y II.

Como era de prever, la dromocrónica en donde se manifiesta el codo que indica que el rayo sísmico alcanza las formaciones antiguas, es la correspondiente al segundo barreno, y el cambio debe producirse a una distancia epicentral de unos 700 m., pero lo referiremos a la posición 750 m., porque es ésta la primera donde se encuentra un sismógrafo registrador.

Consideraremos los siguientes tramos:

$$V_1 = \frac{150}{0,116} = 1.300 \text{ m/s.}$$

velocidad de la cubierta superficial descompuesta.

$$V_2 = \frac{600 - 150}{0,334 - 0,116} = \frac{600}{0,218} = 2.750 \text{ m/s.}$$

que atribuimos a las margas y areniscas del Mioceno, y algo de Triás en la última parte de la dromocrónica de esta velocidad, correspondiente al segundo barreno.

$$V_3 = \frac{1.050 - 750}{0,430 - 0,354} = 3.950 \text{ m/s.}$$

$$\text{y } V_4 = \frac{1.500 - 1.050}{0,535 - 0,478} = 7.900 \text{ m/s.}$$

los que atribuimos al fondo antiguo.

Con los datos anteriores y las consideraciones expuestas podemos calcular como siempre el techo de la formación antigua para esta línea, refiriéndola al segundo barreno, con las salvedades hechas al principio de este Capítulo. Pero en este caso particular hemos considerado a ambos valores del Paleozoico como un solo tramo de valor $V = 5.650 \text{ m/s}$.

La profundidad de las formaciones antiguas se determina, como siempre, por la fórmula:

$$H = \frac{750}{2} \sqrt{\frac{5.650 - V_1}{5.650 + V_1}} \text{ siendo } V_1 = \frac{750}{0,354} = 2.100 \text{ m/s.}$$

que llevados a la fórmula anterior dan:

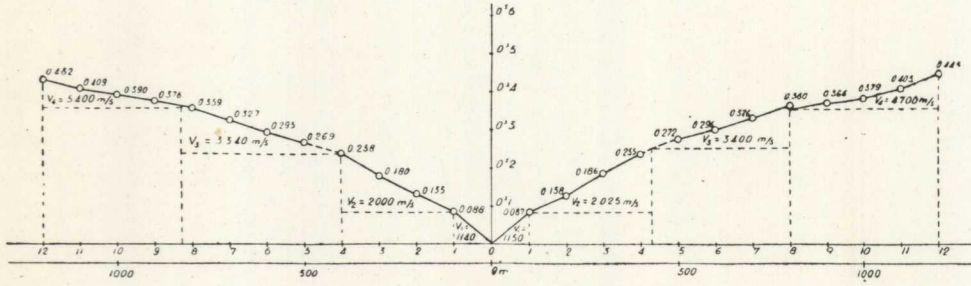
$$H = \frac{750}{2} \sqrt{\frac{5.650 - 2.100}{5.650 + 2.100}} = 240 \text{ m.}$$

que es un valor de gran aproximación con los obtenidos para las líneas I y II y III y IV, cuyos puntos centrales están próximos al que determina la línea XI y muy especialmente el de las líneas III y IV.

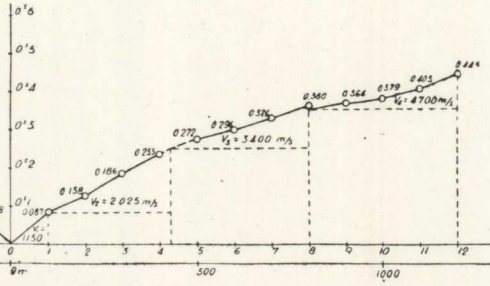


LÍNEAS DROMOCRÓNICAS

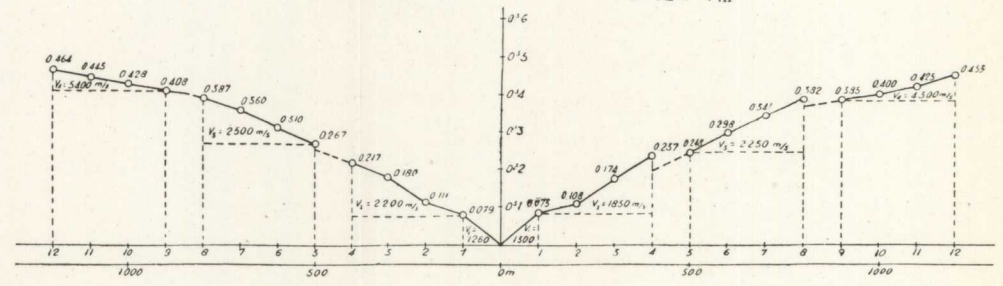
LÍNEA I



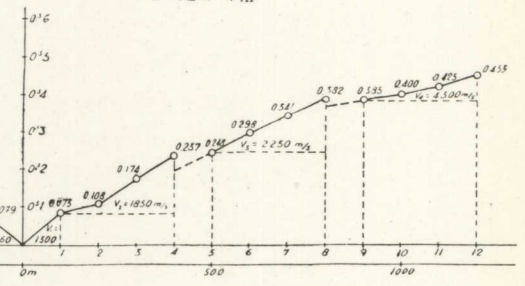
LÍNEA II



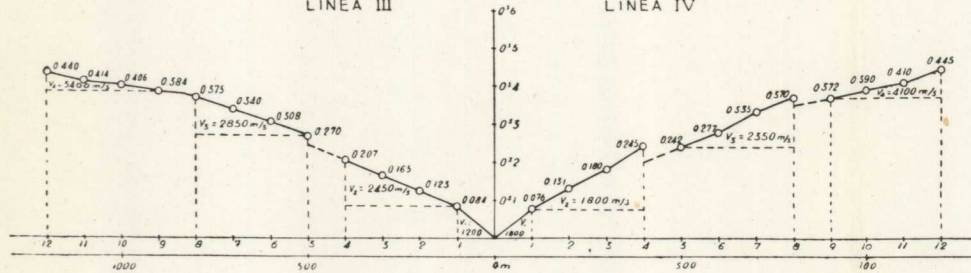
LÍNEA VII



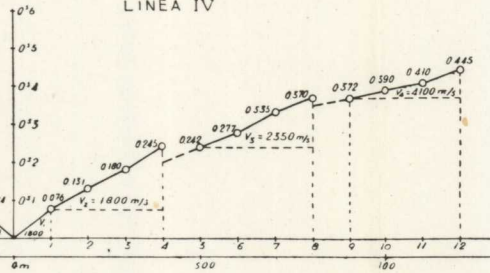
LÍNEA VIII



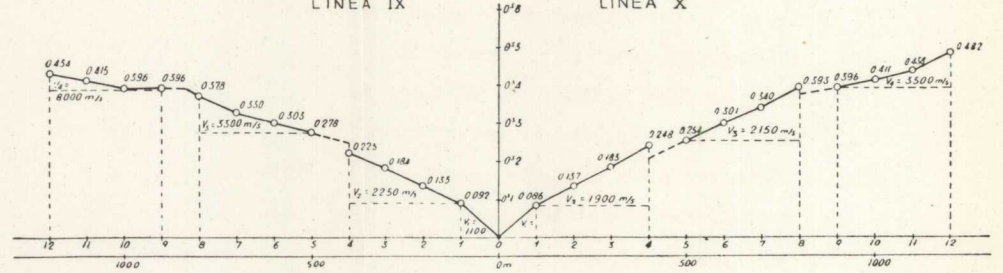
LÍNEA III



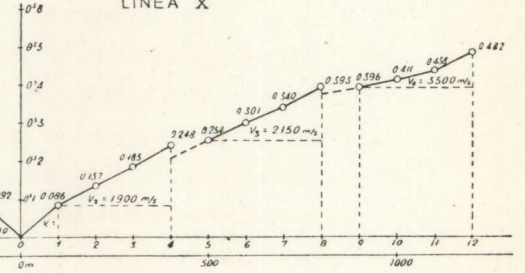
LÍNEA IV



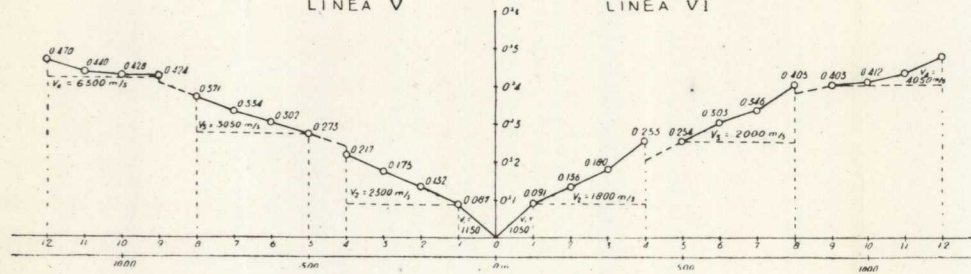
LÍNEA IX



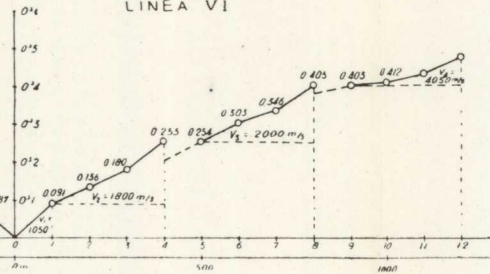
LÍNEA X



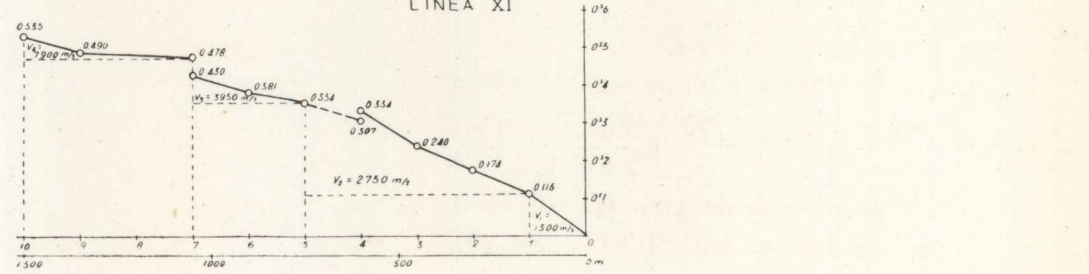
LÍNEA V



LÍNEA VI



LÍNEA XI



III. Conclusiones

A continuación se resumen en un cuadro las profundidades obtenidas para los distintos puntos investigados:

<i>Línea</i>			<i>Metros</i>
I.—	Posición barreno 3.º..	264 m.	} Posición 1.ª de los sismógrafos. 249,50
II.—	— — — 3.º..	235 m.	
III.—	— — — 3.º..	270 m.	} Posición 2.ª de los sismógrafos. 245,00
IV.—	— — — 3.º..	220 m.	
V.—	— — — 3.º..	325 m.	} Posición 3.ª de los sismógrafos. 275,00
VI.—	— — — 3.º..	225 m.	
VII.—	— — — 3.º..	288 m.	} Posición 4.ª de los sismógrafos. 259,00
VIII.—	— — — 3.º..	230 m.	
IX.—	— — — 3.º..	315 m.	} Posición 5.ª de los sismógrafos. 257,50
X.—	— — — 3.º..	200 m.	
XI.—	— — — 2.º..	204 m.	

De estos resultados se deducen las siguientes consideraciones:

1.ª Que los terrenos antiguos, Paleozoico o granito, forman un valle suavemente ondulado con inclinación al Sursuroeste.

2.ª Que las diferencias máximas reconocidas se hallan entre el barreno 3.º de la línea X, al Norte del perfil realizado, y el 3.º de la IX, al S., puntos distantes de 2.400 metros, entre los que se produce un desnivel de 115 metros.

3.ª El lugar más profundo del perfil que pasa por el punto medio del emplazamiento de los sismógrafos se encuentra a 275 m. en la posición correspondiente a las líneas V y VI.

El corte adjunto, a escala, da idea de la marcha del contacto antiguo.

La existencia del Trías y su posición en el corte se dan con toda clase de reservas.

4.ª La conclusión principal que se desprende del trabajo es que es realizable el proyecto de la Dirección General de Minas de reconocer las formaciones antiguas con una galería cruzante del valle, y que tendría que partir de un pozo de unos 300 m., aunque, si se tiene en cuenta la probabilidad de que exista una gran cantidad de agua acumulada en la vaguada subterránea en que se profundizaría el pozo, el reconocimiento podría resultar muy costoso (*).

(*) En el Capítulo Primero, Método Sísmico, se da cuenta del nuevo método de cálculo aplicado en esta investigación.

CAPÍTULO XVI

SEGUNDA AMPLIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA DE GUARDO (PALENCIA)

Las investigaciones que se han llamado de Guardo, presentaron tal número de dificultades, que casi se puede decir que se salen de los límites de la prospección geofísica en lo que se refiere a los métodos aplicados hasta ahora, que han sido en esta segunda ampliación el sísmico de refracción, el eléctrico y el gravimétrico. Los dos últimos se emplearon a título de ensayo, habiendo resultado ambos de interés científico e incluso aportado datos de cierta utilidad; pero ninguno de los dos lo suficientemente eficaces para que nos atrevamos a redactar un informe completo con sus resultados. Sin embargo damos también una breve explicación sobre aquéllos.

Nos ocuparemos primeramente de la prospección sísmica complementaria de los trabajos anteriores, que ha permitido aclarar términos importantes del problema, de acuerdo además con nuevos recorridos geológicos efectuados. Se deduce que si bien existe, como dijimos en los primeros informes, un pliegue tumbado, que se resuelve en un anticlinal secundario situado más al Sur, con el consiguiente acercamiento del Carbonífero a la superficie, desgraciadamente el citado Carbonífero ha de quedar aún en

ese eje a profundidades considerables en la zona estudiada sísmicamente. Después de reconocer errores que aparecen en los primeros trabajos, explicaremos que la razón principal que nos llevó a una interpretación distinta a la que se indica en este nuevo informe, ha sido la existencia de grandes paquetes de conglomerados del Terciario antiguo, con variaciones tan considerables de su velocidad sísmica, que sus valores oscilan entre los correspondientes a las margas y los de las calizas compactas, por lo que pueden confundirse con los del Hullero buscado, cuya elasticidad es intermedia. Lo dicho, unido a la complejidad geológica de la zona, justifican plenamente la posibilidad de múltiples interpretaciones de las líneas sísmicas realizadas. Dicho esto pasemos a describir la nueva investigación, que sigue siendo de gran interés.

I. Reseñas geológica y geográfica

Como ya se hizo la reseña geográfica y geológica en los informes anteriores, nos limitaremos a añadir pocas palabras sobre la zona de estudio. Es la misma investigada al Sur de Guardo, además de otra nueva superficie que ha sido estudiada al Oeste de Villaverde de la Peña. Tres de las líneas sísmicas que constituyen el complemento geofísico se han hecho a un par de kilómetros al SE. del citado pueblo de Guardo, y las otras en el mencionado territorio de Villaverde de la Peña.

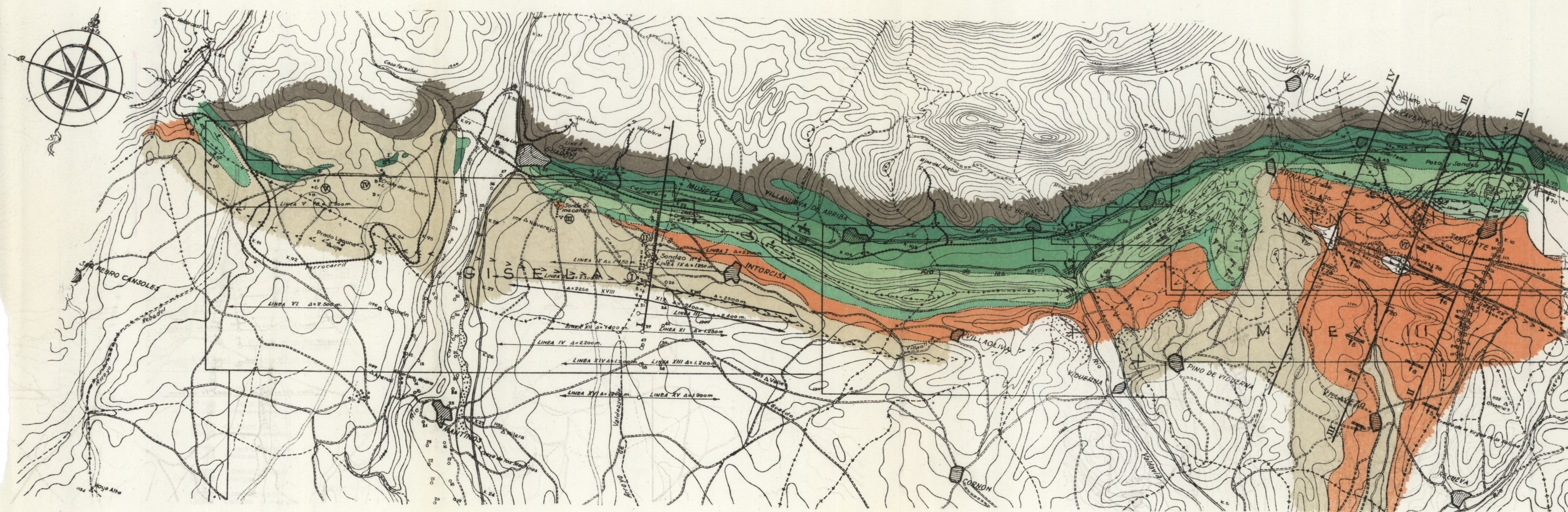
Para facilitar la comprensión de este informe se repite una breve y resumida descripción de sus distintos tramos geológicos:

CARBONÍFERO.—Se manifiesta en su borde septentrional orientado da Levante a Poniente. Está constituido por pi-

2.ª AMPLIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA EN GUARDO

PLANO HORIZONTAL

ESCALA 1:37.500



EXPLICACIÓN

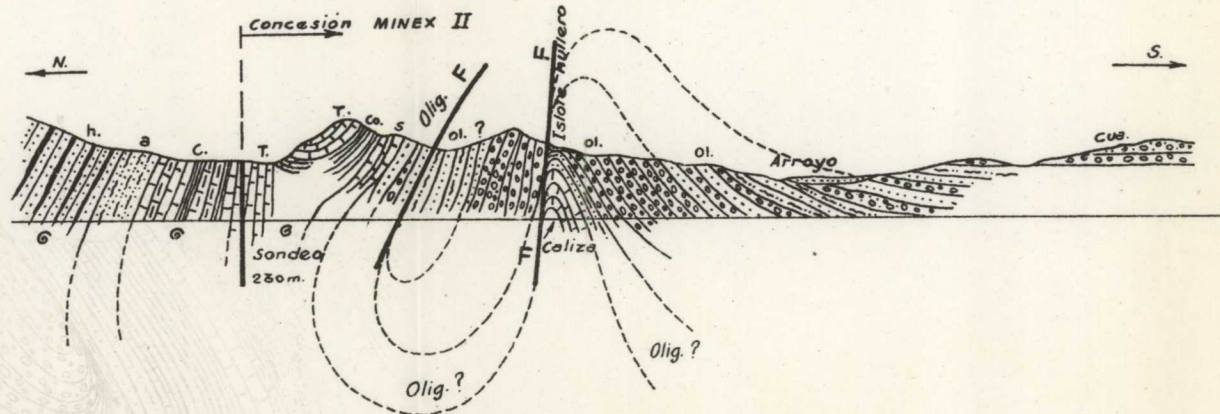
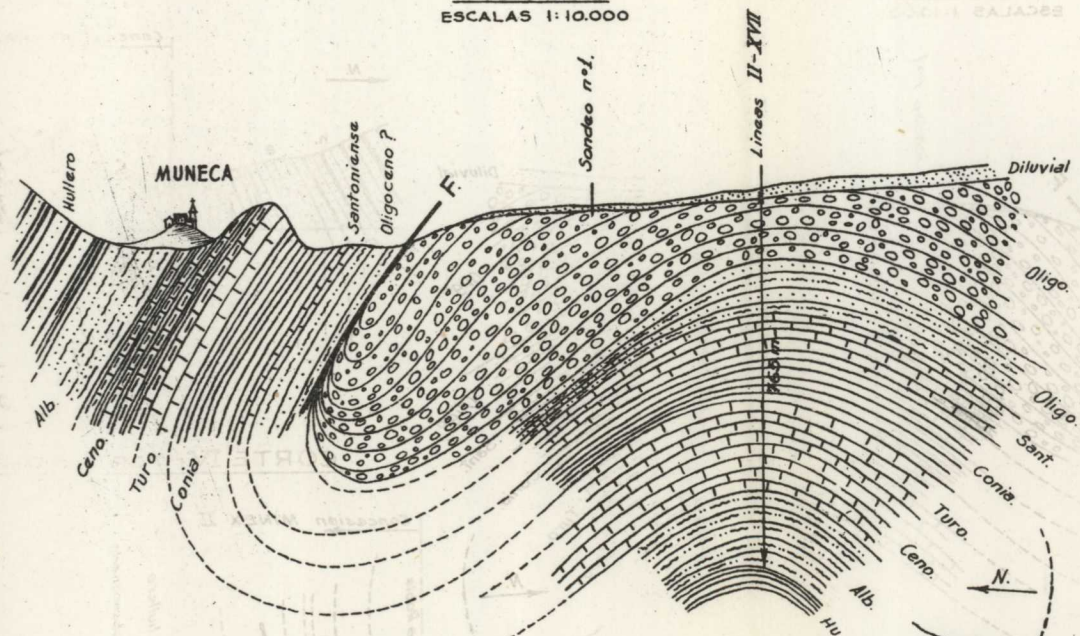
- CUARTARIO
- OLIGOCENO
Conglomerados, areniscas y arcillas
- SANTIENSE
Calizas
- CONIACIENSE
Margas
- TURONENSE
Calizas y margas
- CENOMANENSE
Calizas y margas
- ALBENSE
Arenas y arcillas
- CARBÓNIFERO
Areniscas, pizarras y carbón
- 14 Sondeos eléctricos
- 02 Estaciones del gravímetro



CORTES GEOLÓGICOS

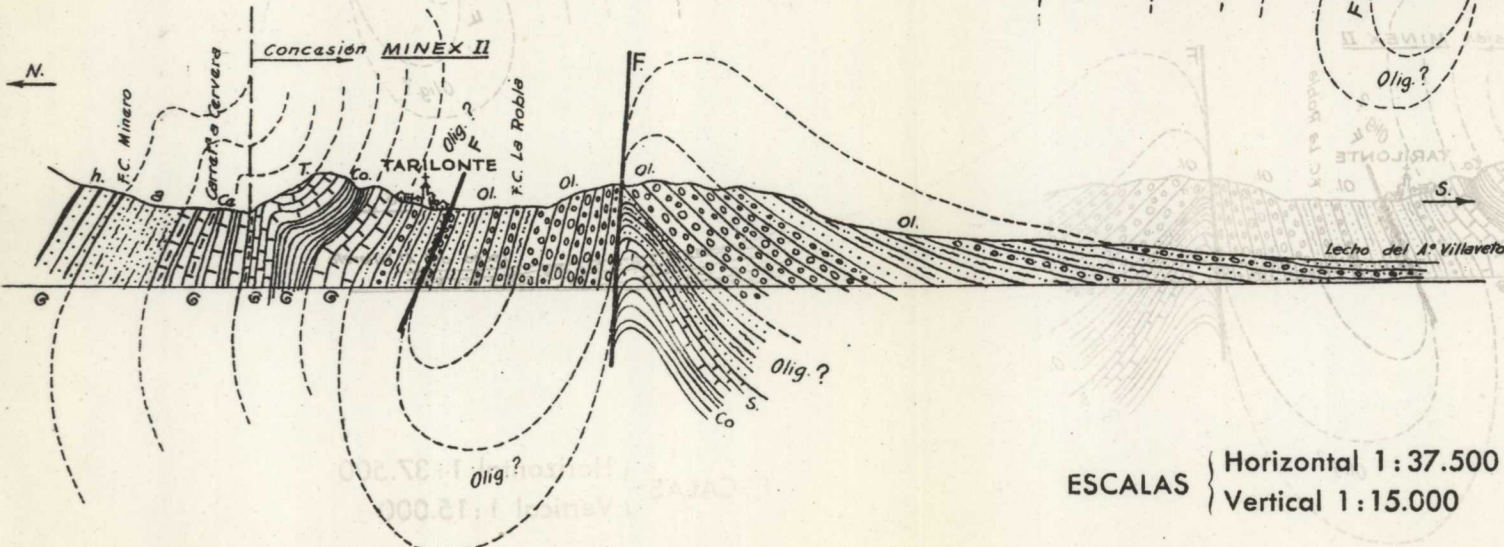
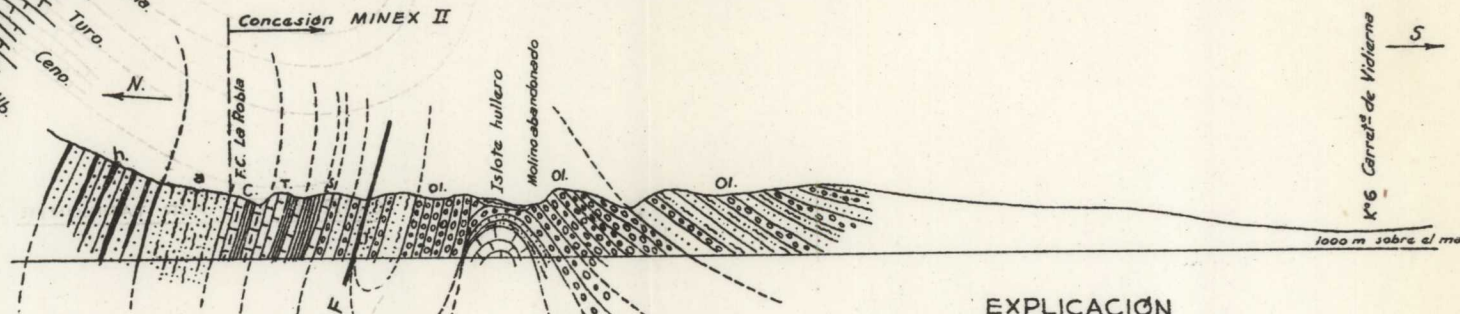
CORTE III - POR VILLAVERDE DE LA PEÑA

CORTE I
ESCALAS 1:10.000



CORTE IV - POR LOS CUARTELES DE VILLAVERDE DE LA PEÑA

CORTE II - POR TARILONTE



EXPLICACION

- Cua. CUARTARIO
 - m. MIOCENO
 - Oli. OLIGOCENO Conglomerados, areniscas y arcillas
 - Oli. OLIGOCENO Conglomerados
 - s. SANTONIENSE Calizas
 - Co. CONIACIENSE Margas
 - T. TURONENSE Calizas y margas
 - c. CENOMANENSE Calizas y margas
 - a. ALBENSE Arenas y Arcillas
 - h. CARBONIFERO Areniscas, pizarras y carbón
 - F Fallas o contactos anormales
- } NEOCRETACEO
} EOCRETACEO

ESCALAS { Horizontal 1:37.500
Vertical 1:15.000

zarras y areniscas alternantes, donde arman las capas de antracitas, objeto de las actuales explotaciones. Estas capas se apoyan directamente sobre la caliza de montaña que limita el conjunto por el Norte.

CRETÁCEO. ALBENSE.—En contacto con el Carbonífero y en posición invertida se encuentra la formación detrítica del Cretáceo inferior, en forma de areniscas incoherentes de tonos claros y naturaleza silicea, con lechos intercalados de arcillas ferruginosas.

CENOMANENSE.—A continuación del Albense, y siguiendo las franjas geológicas de N. a S., se encuentra el Cenomanense, también en posición invertida. Está compuesto de calizas sabulosas de tonos pardos, con alternancia de margas pardoamarillentas, a veces grisáceas, y de bancos de caliza nodular, en general de naturaleza margosa.

TURONENSE.—Sigue a la serie anterior otra de caliza fuerte, espática y compacta, de tonos grises, que hemos atribuido al Turonense, aunque con ciertas reservas, pues además de fósiles del Turonense hemos encontrado igualmente otros del Cenomanense, como son la *Prealveolina cretacea* y *tennis* y la *Prealveolina iberica*.

Sus bancos siguen la misma marcha que los anteriores citados e igualmente invertidos.

CONIACIENSE.—A continuación de los anteriores bancos, siguen unos de margas claras muy arcillosas, que hemos designado como Coniaciense, tanto por sus facies y su perfecta concordancia (también invertida) como por su fauna.

En realidad, no hemos encontrado muchos fósiles hasta la fecha, y únicamente se cita como más característico la *Ostrea plicifera*, Cog., que aparece con gran profusión.

SANTONIENSE.—Siguiendo la misma marcha invertida de los bancos más al Sur, se observan, junto a la carretera

de la estación de Villaverde de la Peña, al Sur del pueblo, unas calizas en posición casi vertical, con gran abundancia de *Lacazina elongata*, Minier-Chalmas, características del Santoniense.

CAMPANIENSE Y MAESTRICHTIENSE.—Por su posición estratigráfica y sus facies, creemos se suceden, en la serie cretácea, el Campaniense en forma de calizas y el Maestrichtiense en forma de areniscas margosas y groseras, según observaciones hechas en las proximidades de Tarilonte, pero la falta de fósiles característicos y de tiempo, no nos han permitido determinar estos tramos con detalle.

TERCIARIO ANTIGUO.—Siguiendo el estudio de las franjas geológicas de N. a S., se llegó a unos conglomerados con elementos en parte calizos (cantos rodados con lacazinas del Santoniense), y en parte de cuarcita que, aunque sin fósiles, no hemos dudado en atribuirlos al Eoceno u Oligoceno, tanto por su posición igualmente invertida, como por sus caracteres petrológicos. Desgraciadamente, no se han podido estudiar en mucha extensión, pues inmediatamente se ocultan bajo otros conglomerados, probablemente miocenos, en posición subhorizontal, y todo ello bajo el Cuaternario.

CUATERNARIO.—Cubriendo los tramos cretáceos del Terciario antiguo y hasta el propio Carbonífero, en la parte occidental de Guardo, se extiende el terreno diluvial. Está formado por tierra roja suelta y cantos rodados de varias dimensiones, en general silíceos.

Los cortes geológicos que se añaden al informe, deben dar una idea clara de la nueva interpretación a la que nos ha conducido esta investigación complementaria.

II. La investigación sísmica

Zona de Guardo.

Ha consistido esta investigación complementaria en tres líneas sísmicas que llevan los núms. XVII, XVIII y XIX. La primera, en la prolongación y en sentido contrario de la núm. II, efectuada durante la anterior prospección, y las otras dos con un barreno común situado 250 metros más al Sur.

Alcanzan las líneas una longitud total de cerca de siete kilómetros y medio.

El coeficiente medio de profundización ha sido el mismo obtenido y empleado anteriormente: $K = 0,30$.

A continuación hacemos una breve exposición de cada una de las líneas sísmicas:

LÍNEA XVII.—El barreno de esta línea se ha situado sobre el páramo de Guardo, a dos kilómetros al SE. del pueblo y a un kilómetro al OSO. de Intorcisa. Se extiende en sentido contrario de la línea II de la primera campaña, y tiene dirección E.-22°-S. magnético. Su longitud es de 2.550 metros y consta de 22 sismogramas.

Dibujada y estudiada la correspondiente curva dromocrónica, se llega a la siguiente diferenciación de parámetros correspondientes a velocidades sísmicas:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{100}{0,056} = 1.800 \text{ m/s.}$$

representa la cubierta cuaternaria.

$$V_2 = V_{1-4} = \frac{400 - 100}{0,154 - 0,056} = 3.100 \text{ m/s.}$$

indica un horizonte de conglomerados del Terciario antiguo.

$$V_3 = V_{4-5} = \frac{500 - 600}{0,169 - 0,154} = 6.500 \text{ m/s.}$$

lo atribuimos a una falla con salto ascendente en el sentido que se extienden las estaciones. Esta presunta falla pasa entre las posiciones 4 y 5 de esta línea, y es cruzada, además, por las líneas I, IX y XIX. La dejamos indicada en el plano horizontal.

$$V_4 = V_{5-10} = \frac{1.000 - 500}{0,351 - 0,169} = 2.700 \text{ m/s.}$$

corresponde probablemente al paquete de areniscas y arcillas del Oligoceno inferior (o quizá del Maestrichtiense).

$$V_5 = V_{10-18} = \frac{1.600 - 1.300}{0,549 - 0,414} = 4.700 \text{ m/s.}$$

indica un horizonte de calizas (Santoniense?).

$$V_6 = V_{18-16} = \frac{1.600 - 1.300}{0,549 - 0,414} = 2.200 \text{ m/s.}$$

puede ser el horizonte de margas del Coniaciense, admitiéndolo así.

$$V_7 = V_{16-18} = \frac{1.950 - 1.600}{0,616 - 0,549} = 5.200 \text{ m/s.}$$

correspondería a las calizas turonenses y cenomanenses, y

$$V_8 = V_{18-22} = \frac{2.550 - 1.950}{0,825 - 0,616} = 2.900 \text{ m/s.}$$

sería la velocidad aparente del Albense.

De acuerdo con esta interpretación, el techo del Carbonífero se encontraría a los $2.550 \times 0,30 = 765$ metros de profundidad próximamente, pues no creemos tenga mayor espesor el Albense.

Conviene no olvidar, que a Levante del barreno se manifiesta una falla que puede hacer saltar unos 50 metros al Carbonífero; por consiguiente, en el origen de la línea, la profundidad puede resultar con esos 50 metros más de profundidad.

LÍNEA XVIII.—Su barreno se encuentra a 250 metros al Sur del correspondiente a la línea XVII anteriormente descrita, y tiene dirección O.-15°-N. magnético. Su longitud es de 2.250 metros y consta de 19 estaciones.

Dibujada la curva dromocrónica se diferencian en ella los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{200}{0,111} = 1.800 \text{ m/s.}$$

indica la cubierta cuaternaria.

$$V_2 = V_{1-7} = \frac{800 - 200}{0,320 - 0,111} = 3.000 \text{ m/s.}$$

es el parámetro sísmico de conglomerado terciario.

$$V_3 = V_{7-12} = \frac{1.300 - 800}{0,519 - 0,320} = 2.500 \text{ m/s.}$$

correspondería, según la interpretación anterior, al horizonte de arenisca y arcillas del Oligoceno inferior.

$$V_4 = V_{12-15} = \frac{1.600 - 1.300}{0,578 - 0,519} = 5.100 \text{ m/s.}$$

es el tramo de caliza santoniense.

$$V_5 = V_{15-18} = \frac{2.050 - 1.600}{0,746 - 0,578} = 2.700 \text{ m/s.}$$

representa a las margas coniacienses, y

$$V_6 = V_{18-19} = \frac{2.250 - 2.050}{0,790 - 0,746} = 4.500 \text{ m/s.}$$

indicaría entonces el Turonense.

De acuerdo con estas distancias epicentrales no se llega al Carbonífero.

LÍNEA XIX.—Es contralínea de la anterior y, por consiguiente, con barreno común. Su dirección es Este-22° Sur. Tiene 2.550 m. de longitud y consta de 21 estaciones.

En la curva dromocrónica se pueden distinguir los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{200}{0,104} = 1.900 \text{ m/s.}$$

que está afectado por la cubierta diluvial.

$$V_2 = V_{1-4} = \frac{500 - 200}{0,208 - 0,204} = 2.900 \text{ m/s.}$$

corresponde a los conglomerados del Terciario.

$$V_3 = V_{4-6} = \frac{700 - 500}{0,214 - 0,208} = 33.000 \text{ m/s.}$$

indica la ya citada falla, de acuerdo con observaciones hechas en varias líneas de investigación. El salto es ascendente, en el sentido que se extiende la línea.

$$V_4 = V_{5-11} = \frac{1.200 - 700}{0,436 - 0,214} = 2.300 \text{ m/s.}$$

representa el paquete de areniscas y arcillas que hemos considerado de Oligoceno y Maestrichtiense.

$$V_5 = V_{11-14} = \frac{1.500 - 1.200}{0,476 - 0,436} = 7.500 \text{ m/s.}$$

indica el horizonte calizo del Santoniense.

$$V_6 = V_{14-17} = \frac{1.900 - 1.500}{0,668 - 0,476} = 2.100 \text{ m/s.}$$

es el parámetro sísmico de las margas coniacienses.

$$V_7 = V_{17-19} = \frac{2.200 - 1.900}{0,735 - 0,668} = 5.200 \text{ m/s.}$$

que corresponde al Turonense y Cenomanense.

$$V_8 = V_{19-21} = \frac{2.550 - 2.200}{0,851 - 0,735} = 3.000 \text{ m/s.}$$

es el parámetro sísmico del Albense arenoso.

De acuerdo con estas cifras, la profundidad del citado Hullero estará después de los $2.550 \times 0,30 = 765$ metros.

Referidos los datos de las dos líneas anteriores a su barreno común, resulta que la profundidad en él del presunto Carbonífero deberá ser bastante superior a 765 metros, puesto que en la contralínea no se alcanzó el Albense.

Las diferencias que se aprecian entre ambas líneas nos dan idea de la inclinación del eje hacia Poniente y del salto de la falla, que afecta a las profundidades en el mismo sentido.

Añadiremos a la interpretación expuesta que también permite admitir, en las tres líneas, que los dos últimos parámetros V_7 y V_8 de las líneas XVII y XIX se pueden componer en uno solo, tal como se ha dibujado en los gráficos adjuntos. En ese caso la última velocidad aparente de las tres líneas sería:

$$\text{Para la XVII, } V_7 = 3.000 \text{ m/s.}$$

$$\text{— XVIII, } V_6 = 4.500 \text{ —}$$

$$\text{— XIX, } V_7 = 3.600 \text{ —}$$

que podrían representar al Carbonífero pizarriense.

De acuerdo con esta interpretación se encontraría el Carbonífero:

En la línea XVII a los 480 metros.

— — XVIII a los 615 —

— — XIX a los 570 —

Tanto esta solución, como la anteriormente descrita, pueden ser ciertas, pero nos inclinamos hacia la más profunda.

Zona de Tarlonte-Vilaverde.

En la zona donde aparecen las dos pequeñas manchas de materiales carboníferos se han efectuado dos líneas sísmicas en sentido contrario, que equivalen a línea y contralínea, pero con diferente origen. A continuación detallamos sus resultados:

LÍNEA XX.—Su barreno se ha emplazado en la margen derecha del arroyo de San Andrés, frente al socavón y pozo de reconocimiento del paraje de Las Cabrerizas.

Tiene dirección E.-20°-S. y consta de 20 estaciones. Su longitud es de 2.600 metros.

Sobre la dromocrónica correspondiente se diferencian los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{50}{0,076} = 700 \text{ m/s.}$$

representa a la cubierta detrítica.

$$V_2 = V_{1-2} = \frac{150 - 50}{0,103 - 0,076} = 3.600 \text{ m/s.}$$

indica los ya citados conglomerados.

$$V_3 = V_{2-9} = \frac{850 - 150}{0,219 - 0,103} = 6.000 \text{ m/s.}$$

que parece corresponder a una caliza compacta.

$$V_4 = V_{9-14} = \frac{1.400 - 850}{0,397 - 0,219} = 3.200 \text{ m/s.}$$

y

$$V_5 = V_{14-19} = \frac{2.200 - 1.400}{0,545 - 0,397} = 5.400 \text{ m/s.}$$

son parámetros que no nos atrevemos a interpretar, pues nos faltan las anomalías que debían caracterizar al Albense.

La profundidad de la supuesta caliza compacta que nos interesa principalmente determinar es:

$$150 \times 0,30 = 45 \text{ metros.}$$

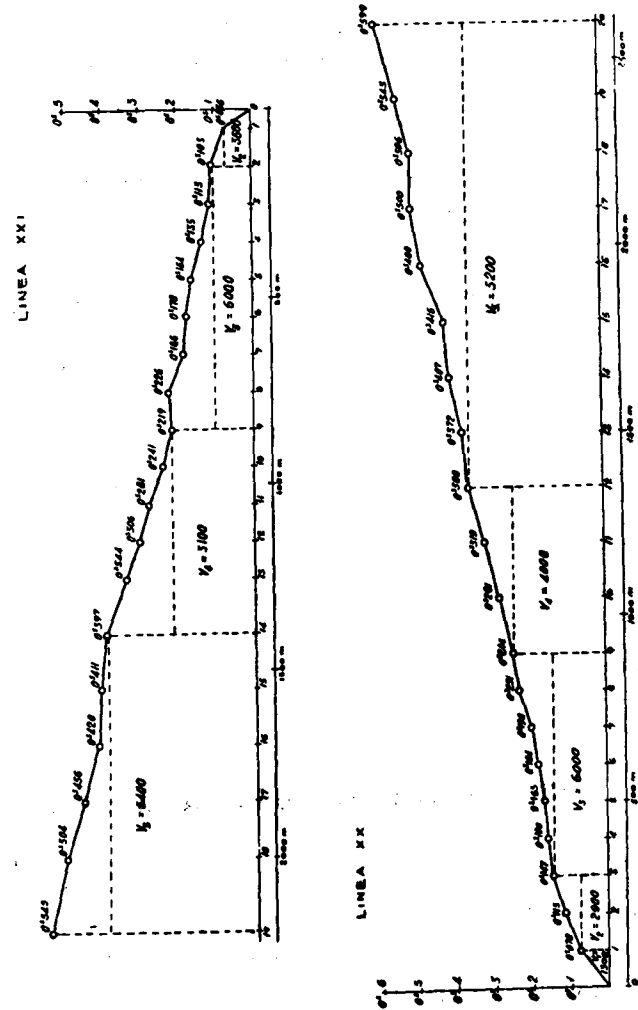
LÍNEA XXI.—Su origen se encuentra a 50 m. de la posición 11 de la línea XX, sobre la margen derecha del arroyo de Tarilonte. Se extiende en dirección O.-20°-N., contraria a la de la línea anterior, coincidiendo en 1.250 metros de su recorrido con aquélla. Tiene 2.200 m. de longitud.

En la dromocrónica correspondiente se distinguen los parámetros que se citan:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{100}{0,078} = 1.300 \text{ m/s.}$$

indica la cubierta detrítica.

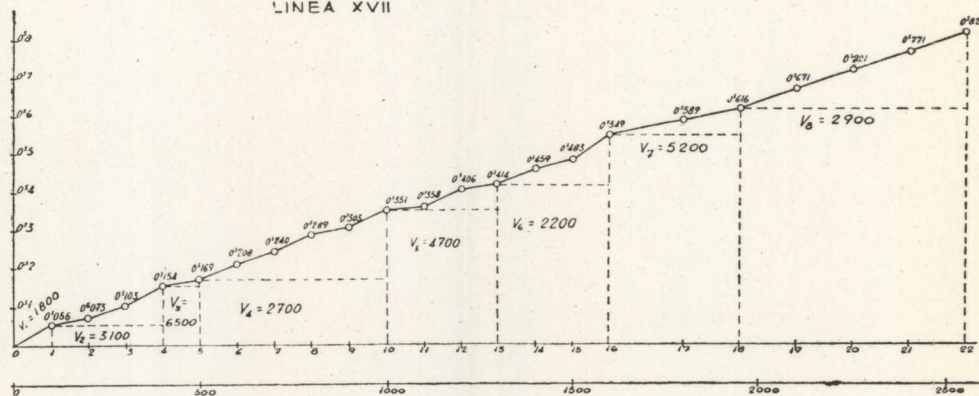
LÍNEAS DROMOCRÓNICAS



SEGUNDA AMPLIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA EN GUARDO

LÍNEAS DROMOCRÓNICAS

LINEA XVII



$$V_2 = V_{1-8} = \frac{300 - 100}{0,047 - 0,078} = 2.900 \text{ m/s.}$$

debe corresponder a conglomerados.

$$V_3 = V_{8-9} = \frac{900 - 300}{0,246 - 0,147} = 6.000 \text{ m/s.}$$

se debe atribuir a la citada caliza compacta.

$$V_4 = V_{9-12} = \frac{1.350 - 900}{0,360 - 0,246} = 4.000 \text{ m/s.}$$

y

$$V_5 = V_{12-20} = \frac{2.600 - 1.350}{0,599 - 0,360} = 5.200 \text{ m/s.}$$

son velocidades sísmicas de margas, areniscas y de calizas cuya posición estratigráfica no nos atrevemos a interpretar, pues partimos de la duda del primer horizonte.

La profundidad de la primera caliza es por lo tanto:

$$300 \times 0,30 = 90 \text{ metros}$$

aunque ante la posibilidad de haberse transmitido la onda sísmica oblicuamente al anticlinal, puede resultar la profundidad bastante mayor, pues el trabajo sísmico realizado es muy insuficiente.

III. La investigación gravimétrica

Como indicamos anteriormente, el trabajo sísmico se complementó con una pequeña prospección gravimétrica de ensayo, cuyos resultados explicaremos a continuación:

El aparato empleado ha sido el gravímetro «Nörsgaard» y se han realizado con él 134 estaciones.

Se han distribuido en tres zonas, que llevan distinta numeración: la zona del sondeo mecánico núm. 1; la zona del río Carrión y la zona de Tarilonte.

ZONA DEL SONDEO MECÁNICO NÚM. 1.—Consta de 60 esta-

ciones distintas y se ha realizado en forma de perfiles paralelos de cerca de 2,5 Km. de longitud cada uno. Los planos gravimétricos y los pocos estados de cálculo que se incluyen en la memoria como modelo de operaciones, hacen innecesarias más explicaciones sobre ellos. Diremos únicamente, que, vista la irregularidad de las anomalías, sospechamos que éstas están parcialmente afectadas por el contacto del Cuaternario con los terrenos más antiguos que nos interesan; por lo tanto no ofrecen muchas garantías sus resultados.

Sin embargo, de acuerdo con ellos, hemos trazado un eje anticlinal que pasa por los barrenos II y XVII, que coinciden por lo tanto con el eje descubierto por el método sísmico, lo que es satisfactorio.

Más al Sur del barreno de las líneas XI y XII se determina otro eje positivo, al que no podemos atribuir un segundo anticlinal, por no ser dato suficiente el que nos proporcionan las estaciones realizadas.

ZONA DEL RÍO CARRIÓN.—A lo largo del río Carrión, sobre la misma vega, se han realizado 38 estaciones más en forma de dos perfiles prácticamente paralelos.

El perfil de Levante determina un eje gravimétrico que pasa por la estación 33, que por encontrarse en la prolongación del primero anteriormente trazado lo habremos de considerar como confirmación de anticlinal secundario de las líneas sísmicas II y XVII.

Por otra parte, la no coincidencia de los ejes gravimétricos a un lado y a otro del río Carrión nos hace deducir que el río determina una de tantas fallas transversales a la estratificación, cuya existencia se ha deducido de las varias investigaciones geofísicas realizadas. Sin embargo, repetimos que el único eje que se interpreta como anticlinal geológico es el que atraviesa entre el Km. 27 y 28 de

la carretera de Guardo a Villalba y pasa por el barreno de las líneas II y XVII.

ZONA DE TARILONTE.—Se han realizado dos perfiles a derecha y a izquierda de la carretera de Tarilonte a Recueva, con un total de 36 estaciones útiles.

El primero comprende desde la estación B hasta la 18, y el segundo desde la misma 18 hasta la 35.

En ambos, despreciando anomalías difíciles de interpretar, se manifiesta el paso de un anticlinal. Sin embargo, no nos atrevemos a asegurar esta interpretación, pues no han sido suficientes las estaciones del gravímetro medidas en esta zona. Pero conviene añadir que este presunto anticlinal parece corresponder con el primero determinado con el gravímetro en la zona de Guardo, que a su vez coincide con el de las últimas líneas sísmicas realizadas. Pero a pesar de todo, los resultados de este pequeño ensayo se dan con toda clase de reservas.

IV. La investigación eléctrica

No queriendo escatimar esfuerzo alguno para intentar la resolución de tan difícil problema, se aplicó también el método eléctrico de corriente continua, en forma de varios perfiles de sondeos, cuya distribución se ha hecho por zonas, según se indica en el plano horizontal correspondiente.

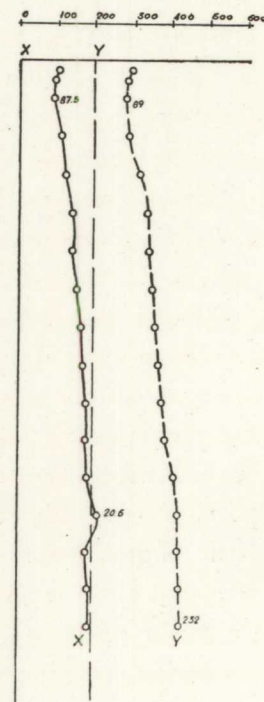
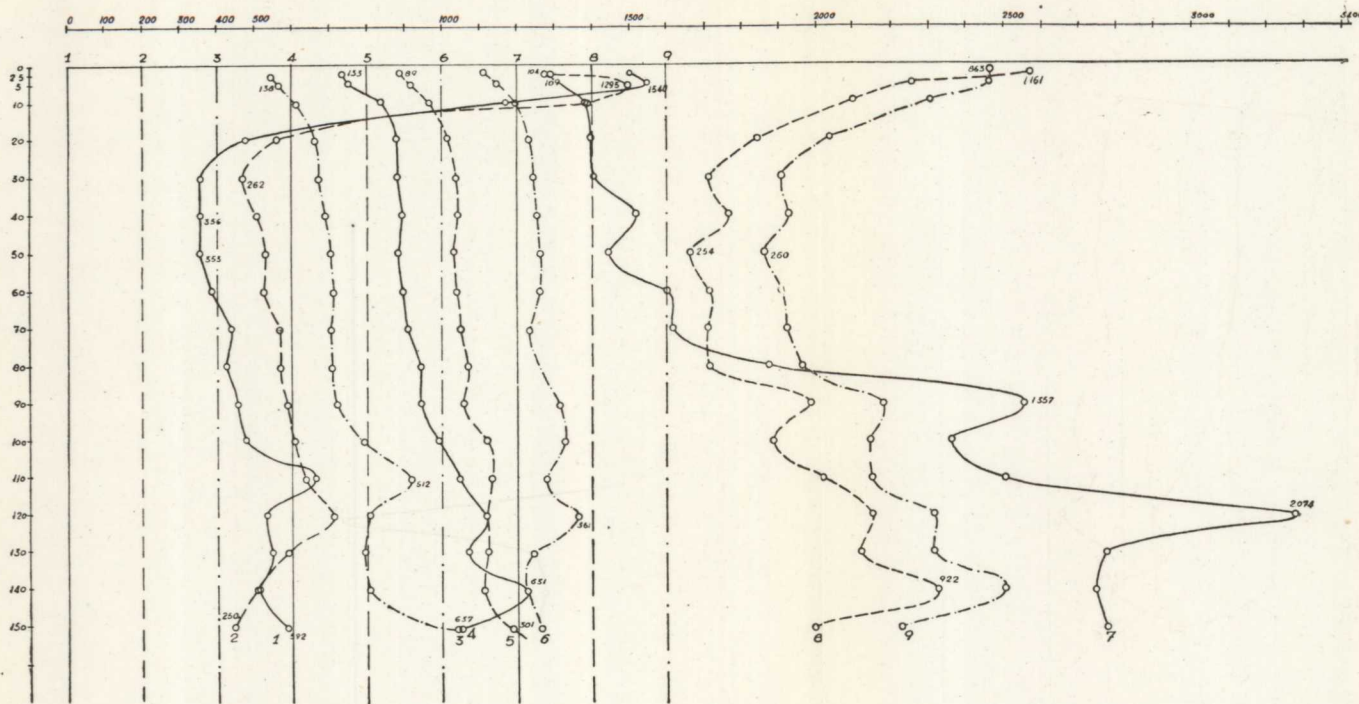
La interpretación está basada en la gran diferencia de resistividades que existen entre los tramos arcillosos y los de calizas o conglomerado compacto calizo-silicioso.

Han resultado característicos los tramos siguientes: por un lado el Hullero pizarreño, el Albense arenoso y el Coniacense margoso, todos por sus pequeñas resistivida-

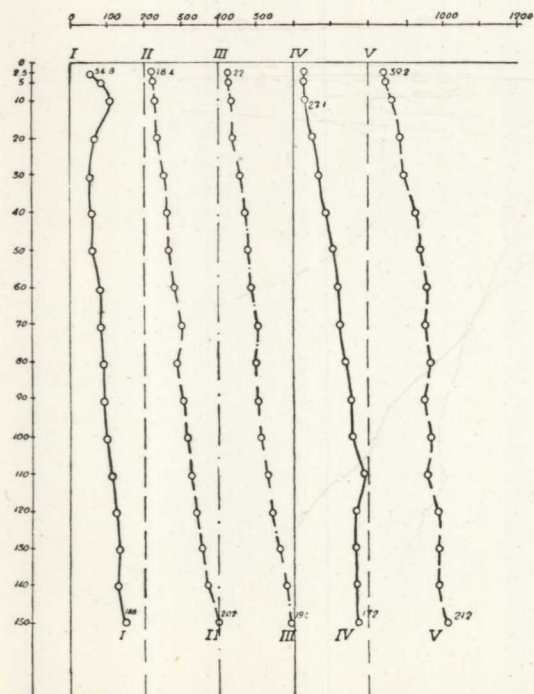
SONDEOS ELÉCTRICOS

Gráfica correspondiente a las pizarras del Carbonífero

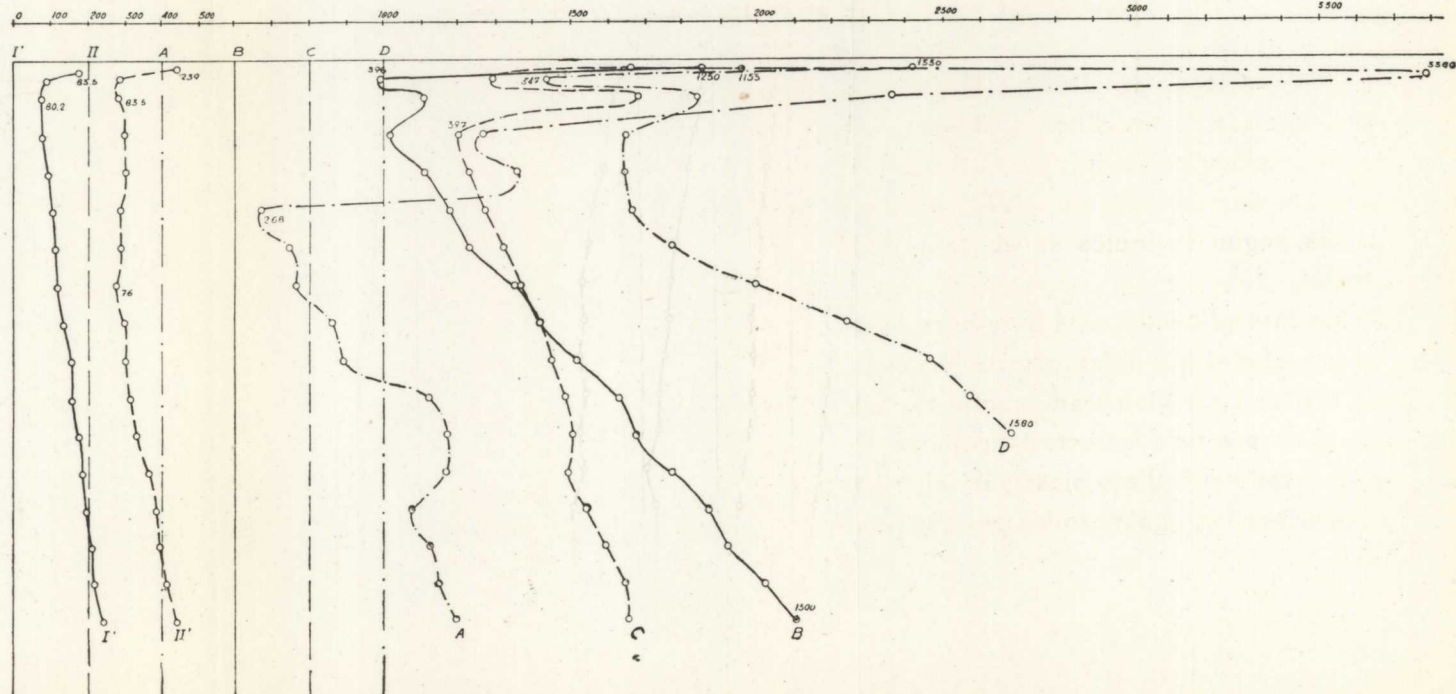
PERFIL I



PERFIL III



PERFIL IV



des. Por otro lado, las calizas en general y algunos conglomerados muy compactos del Terciario antiguo, por sus elevados valores. Existen además unas margas terciarias comprendidas entre el Cretáceo y los conglomerados, que se han designado como oligocenas, cuya resistividad ha de ser baja.

ZONA DEL SONDEO MECÁNICO NÚM. 1.—Es la misma que la mencionada para el estudio gravimétrico, y se han hecho en ella 39 sondeos eléctricos, llevados en general hasta la profundidad de 150 metros.

Se hizo primero el perfil I de nueve sondeos, partiendo del mecánico núm. 1 y numerados del 1 al 9. No se atravesaron más que conglomerados oligocenos hasta el número 7, en que se manifiestan calizas a los 80 ó 90 metros. (Véase lámina de gráficos.)

En los sondeos 8 y 9 se manifiesta la misma caliza a los 135 metros. No podemos decir si se trata de una caliza terciaria o cretácea.

Otro perfil, el II, se inicia con el núm. 12 y llega hasta el 39. Los primeros dan a conocer la resistividad de las calizas turonenses o cenomanenses, algo descompuestas y un tanto margosas. Desde al 14 al 17 se atraviesa sin duda el Coniaciense (recubierto con terreno de acarreo) y en posición invertida casi vertical. En los demás se atraviesan conglomerados, a veces muy compactos.

ZONA DEL SONDEO MECÁNICO NÚM. 2.—Se ha llamado perfil III, atravesando el lugar del sondeo mecánico número 2, realizándose cinco sondeos eléctricos en total.

En esta zona, trastornada y recubierta parcialmente por los derrames del Cuaternario próximo, se sospechaba la existencia del tramo Albense. Como los sondeos eléctricos daban resistividades bajas del mismo orden que los del Albense, se decidió la perforación mecánica a pesar de

preverse la posibilidad de que se tratase de margas o arenas margosas de otra edad distinta.

Éste ha sido el caso, pues según los testigos recogidos parece que se trata de margas del Terciario antiguo o hasta del Cretáceo superior (Maestrichtiense).

ZONA DEL CRISTO.—A poniente del río Carrión, y junto al límite de la concesión «Gisela», se han realizado varios sondeos eléctricos en forma del perfil IV. Se han emplazado éstos sobre un supuesto Albense, recubierto casi totalmente por Diluvial. Los primeros, números I y II, manifiestan claramente las resistividades de las arenas albenses. Los siguientes, A, B, C, D, se interpretan en el sentido de que atraviesan calizas cenomanenses y turonenses en posición invertida, en coincidencia con la marcha general del pliegue tumbado. Otro perfil, que lleva el núm. V, consta de los E, F, G, H, y se encuentran geológicamente más altos, o lo que es lo mismo, más al Sur, sobre capas invertidas, y puede que el H atraviese margas coniacienses (véase la lámina).

Los sondeos X-Y se han situado sobre Carbonífero pizarreño, siendo sus resistividades del mismo orden que las de los sondeos I y II, que atraviesan arenas albenses.

ZONA DE TARILONTE.—Recorrido el aje anticlinal descubierto gravimétricamente, al S. de Tarilonte, sobre los conglomerados del Terciario antiguo, nos encontramos un lugar que marcamos en el plano, donde parecen aflorar unas pizarras de facies carbonífera, de cuya existencia no hemos hablado en la reseña geológica.

El encuentro sería de sumo interés si se tratase de una ventana primaria, pero totalmente exento si no ha sido más que un pequeño islote resbalado sobre el Terciario, y desgraciadamente lo creemos así.

Con intención de aclarar un problema de tal importancia se han realizado diez sondeos eléctricos de 150 metros de profundidad, según el perfil eléctrico núm. 6 transversal de la estratificación. La extensión de los cables se ha hecho según la dirección de la estratificación. La situación de los sondeos se indica en el plano horizontal. Se han hecho de dos en dos, a distancia mutua de cinco metros, para que sirviese de comprobación en una zona de difícil perturbación, teniendo en cuenta además las irregularidades topográficas.

El resultado ha sido el siguiente:

Los sondeos 1, 1 bis, 2 y 2 bis, emplazados sobre las pizarras supuestas carboníferas, cortan a los pocos metros, 25 aproximadamente, un horizonte de mucha mayor resistividad, que se puede atribuir a caliza o a conglomerados compactos oligocenos. Es posible lo primero, pues el conglomerado se manifiesta con grandes irregularidades, debido a la intercalación de bancos más o menos arcillosos. Esto se puede ver en los sondeos 3, 3 bis, 4 y 4 bis, que sin duda se encuentran sobre los mencionados conglomerados, y que además no deben cortar otra cosa hasta la profundidad a que alcanzan. Los sondeos núms. 5 y 5 bis se encuentran sobre bancos más arcillosos y húmedos del mismo piso, y dan resistividades menores, incluso para los conglomerados que se atraviesan en el fondo.

Sin embargo, creemos más probable se trate de potentes bancos muy compactos de conglomerados oligocenos, y así se ha representado en los cortes.

V. Conclusiones

La observación de conjunto, tanto de los datos que nos suministra la presente investigación, como los de las ante-

riores prospecciones, nos han llevado a las siguientes conclusiones.

1.ª Se confirma la existencia del ya mencionado pliegue tumbado hacia el Sur, aunque modificadas sus dimensiones y características. Sus directrices son de Poniente a Levante.

2.ª Se determina un segundo pliegue anticlinal, cuyo eje tiene la misma dirección y pasa a unos dos kilómetros al Sur de Guardo, al que concedemos bastante importancia.

3.ª El eje de este anticlinal tiene inclinación hacia el Oeste, y además va hundiéndose escalonadamente debido a pequeños saltos o fallas que le afectan en el mismo sentido.

Esto lo confirma una de las líneas de falla determinada sísmicamente, que con dirección casi Norte-Sur pasa por cerca de Intorcisa.

El propio cauce del río Carrión es una nueva falla de mayor importancia, que hace saltar de N.-S. al eje del citado anticlinal.

4.ª Todo parece confirmar que el eje de ese anticlinal se extiende a lo largo de las líneas II y XVII.

5.ª Los cálculos mínimos para la profundidad del Hullero, en las líneas sísmicas realizadas, son de 765 metros de profundidad para la núm. XVII, y aún mayor para el barreno común de las XVIII y XIX.

6.ª Comprobado que las estructuras se levantan hacia el Este, habría que estudiar con especial detenimiento, tanto geológica como geofísicamente, en aquella dirección antes de ubicar un sondeo en esta zona.

7.ª Se descubren dos pequeñas manchas de pizarra, aparentemente carboníferas, en la zona de Tarilonte y en la prolongación del mismo eje anticlinal, determinado por

métodos geofísicos. Interpretado como afloramientos primarios de raíz indicaría que se encuentra en contacto de falla al Oligoceno con el Primario.

Aplicados los métodos gravimétrico y eléctrico se ha llegado a la conclusión de que se trata solamente, tal como indicamos en los cortes y planos, de arrastres de materiales hulleros sobre el Oligoceno.

8.ª Por último, entre los pueblos de Aviñante y Pino de Viduerna existen unos bancos de caliza, turonenses o santonienses, que se marcan en el plano horizontal, cuya posición puede ser normal, ocultándose por el Sur bajo el Oligoceno. En el caso de confirmarse esta interpretación geológica resultaría el lugar uno de los más apreciados para realizar una prospección por sondeos. Pero también cabe interpretar al Cretáceo mencionado como volcado sobre el Oligoceno, sin necesidad de tener que admitir un resbalamiento. Todo ello es poco claro, debido a la complejidad geológica de la zona y admite discusión, aunque nos inclinamos por la inversión de los bancos.

Sin embargo, un solo sondeo de alrededor de 100 metros de profundidad, ubicado en el borde sur de las citadas calizas, deberá aclarar la posición normal o invertida de esos bancos y, por consiguiente, el problema de asequibilidad, en ese lugar, del presunto terreno carbonífero.

Añadiremos aún que este trabajo fue terminado en el año 1950, y debido a la dificultad de los problemas planteados, que desgraciadamente siguen parcialmente en pie, y de la no coincidencia de opiniones en el seno de la misma Sección de Geofísica, la Dirección del Instituto tomó el buen acuerdo de ubicar un sondeo de prospección, proyectado para 250 metros, en el presunto eje del anticlinal, que coincidía casualmente con los materiales carboníferos arrastrados sobre el Oligoceno. El resultado ha sido que

hasta los 23 metros se atraviesan materiales modernos muy variados de acarreo. Desde esta profundidad hasta los 150 m., que se encuentra actualmente el sondeo, se perfora un conglomerado o brecha, cuya edad se ha podido determinar como probable Eoceno u Oligoceno, por sus cantos rodados de caliza con lacazinas (Santoniense).

La no coincidencia con las esperadas calizas a los 90 metros se explica, pues tratándose de un anticlinal muy agudo y habiéndose realizado únicamente dos líneas sísmicas por dificultades materiales, la onda elástica, en lugar de refractarse verticalmente, lo ha hecho oblicuamente, o sea perpendicular a un flanco del agudo anticlinal.

Se recomienda, por tanto, continuar con el estudio de tan importante problema, tanto con ayuda del método sísmico como del eléctrico.

CAPÍTULO XVII

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN BUJALANCE (CÓRDOBA)

La finalidad de esta investigación ha sido la de reconocer, con la ayuda del método sísmico, el subsuelo de una determinada zona de la provincia de Córdoba, donde se supone que pueden existir pliegues carboníferos recubiertos por el Mioceno y el Triás.

La mencionada zona se refiere al territorio de Bujalance y pueblos colindantes, situados al Sur de la gran falla del Guadalquivir y en la prolongación teórica de la cuenca carbonífera de Peñarroya, cuyos afloramientos llegan hasta la misma mencionada falla, en las proximidades del pueblo de El Carpio.

El problema es difícil, dada la variedad estratigráfica que se nos ha de presentar en las distintas líneas sísmicas; sin embargo, ya veremos a continuación cómo se ha llegado a conclusiones que son de mucho interés para un mejor conocimiento geológico de la citada zona.

I. Reseñas geográfica y geológica

Descripción geográfica.

La zona a la que corresponde el presente trabajo sísmico está comprendida dentro del perímetro que se circunscribe por los pueblos de Villa del Río, Bujalance, El Carpio, la central eléctrica de El Carpio y Montoro, representando una extensión superficial que aproximadamente abarca 125 kilómetros cuadrados (véase plano general).

Está cruzada en su borde septentrional por el río Guadalquivir, que divide la región en dos partes de marcado contraste: una accidentada, de origen tectónico, que constituye las estribaciones de la Sierra Morena y se extiende por el término de Adamuz, hacia Villanueva de Córdoba y Pozoblanco; otra, de suave relieve, en general llana, en la zona de vega y próxima al río, de topografía ondulada y acentuándose de un modo gradual, hacia Bujalance, el resto.

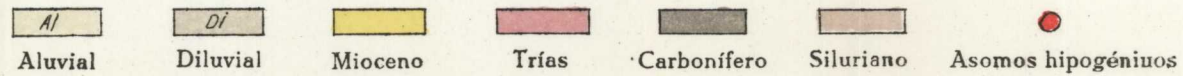
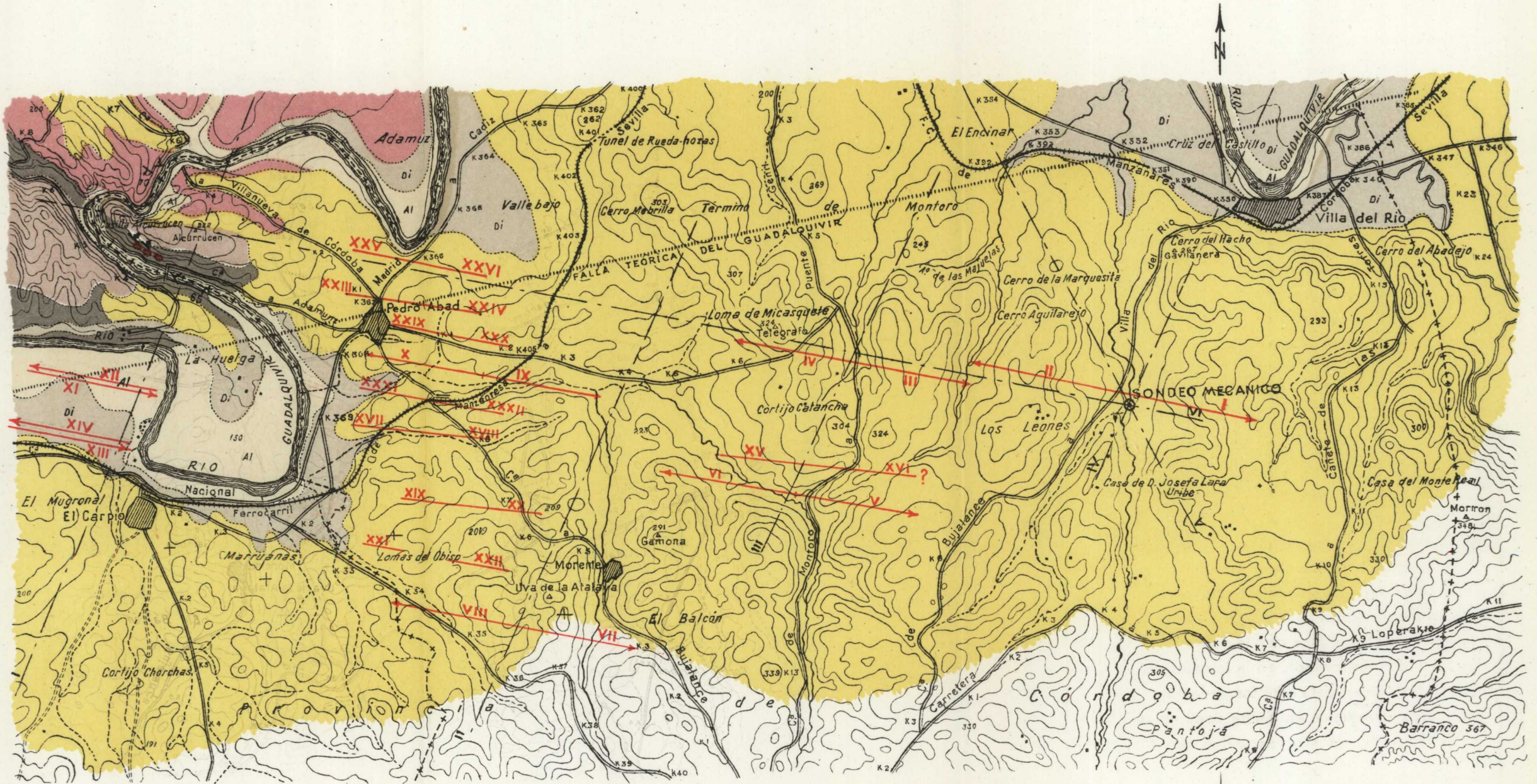
Sus cotas de nivel oscilan entre los 120 metros, que corresponden al punto más bajo del río Guadalquivir al salir a la zona central de El Carpio, y los 360 que alcanza el cerro donde se alza el pueblo de Bujalance. Entre dichas cotas, y en este flanco meridional del valle, se repiten otras intermedias en forma de suaves lomas que imprimen al paisaje profusa y monótona ondulación, pero con cierta y singular belleza por la uniformidad y perfecta distribución de los olivos que le cubren, y que se pierden a la vista del observador, en la lejanía.

Hidrológicamente está formada por el río Guadalquivir, de curso divagante en dicha zona, y por otros varios y poco importantes arroyos, afluentes directos del mismo

INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN BUJALANCE

PLANO HORIZONTAL

ESCALA 1:75.000

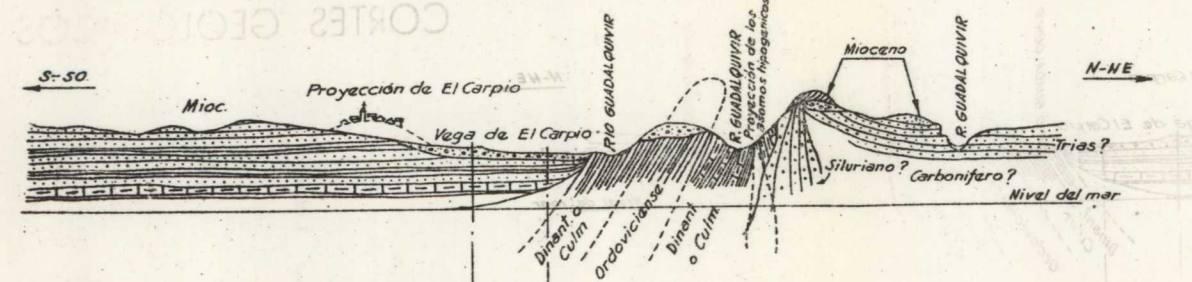




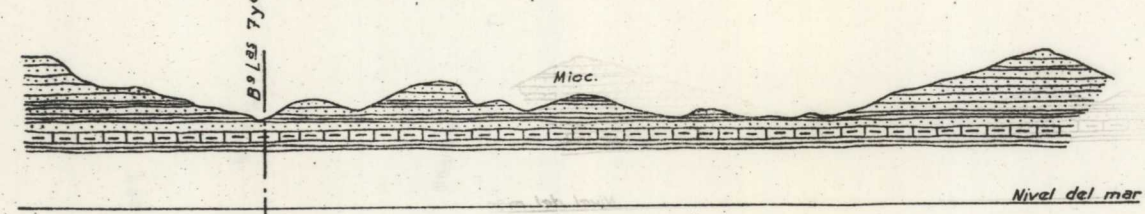
INVESTIGACIÓN SÍSMICA EN BUJALANCE

CORTES GEOLÓGICOS

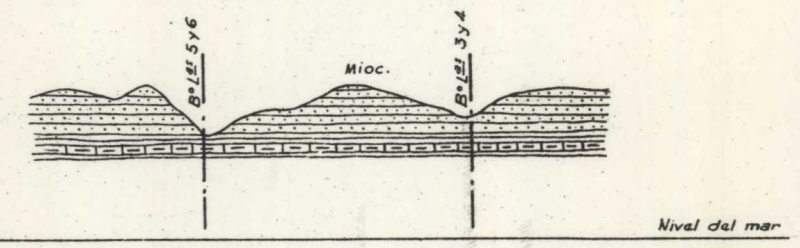
CORTE N° I - N.NE. A 500m. AGUAS ABAJO DE LA PRESA DEL SALTO DE EL CARPIO



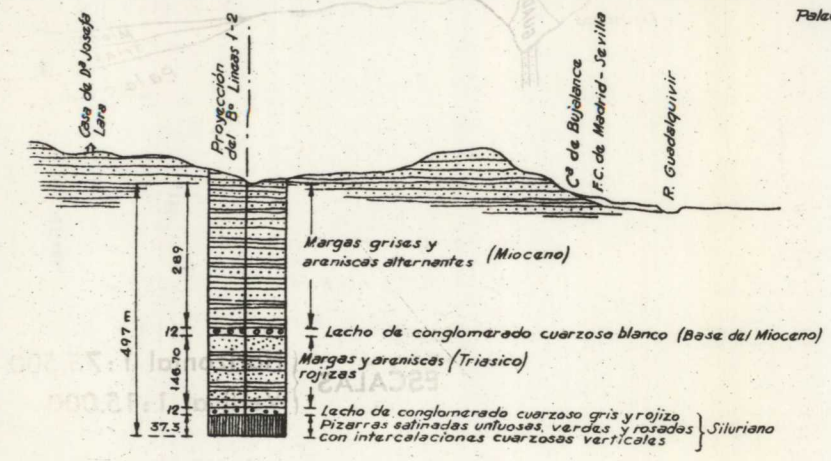
CORTE II - N.NE - S.SO POR EL BARRENO LAS VÍ y VIII



CORTE III - N.NE - S.SO POR LOS BARRENOS DE LAS L^{as} V-VI y III-IV

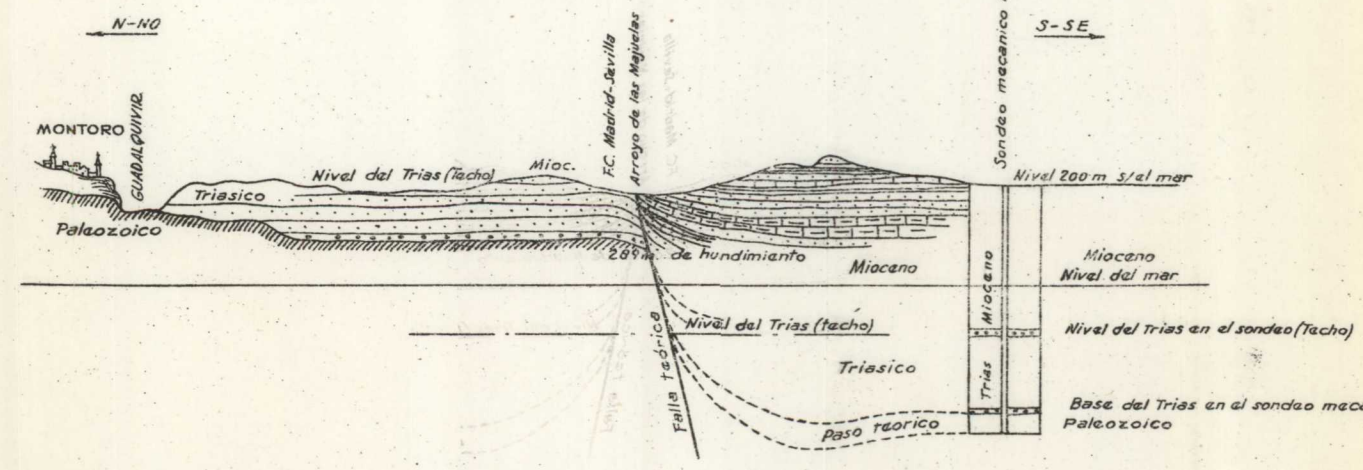


CORTE IV - N.NE - S.SO. DESDE EL SONDEO MECANICO N°1 A VILLA DEL RIO

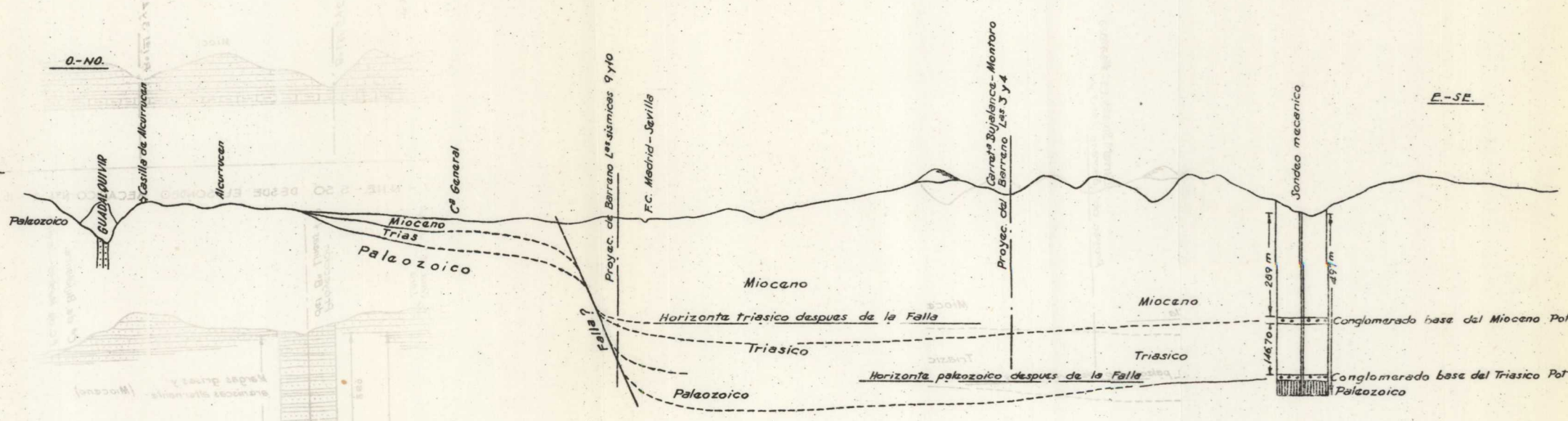


ESCALAS { Horizontal 1:75.500
Vertical 1:15.000

CORTE V - DESDE MONTORO AL SONDEO MECANICO



CORTE VI - DESDE EL GUADALQUIVIR (CODO DE ALCURRUCEN) AL SONDEO MECANICO



EXPLICACIÓN

ALLUVIAL	DILUVIAL	MIOCENO	TRIAS	CARBONIFERO	SILURIANO

por su margen izquierda, entre los cuales son más notables, con serlo muy poco, el denominado Cañetejo, que nace en las inmediaciones de Cañete de las Torres y Bujalance, a 340 m. de altitud, y desemboca en el Guadalquivir, cerca de Villa del Río. En la orilla izquierda de este arroyo, próximo a la denominada casa de la Zarzuela y no lejos del Km. 10 de la carretera de Villa del Río a Bujalance, es donde se ha hecho, por el Instituto Geológico y Minero de España, el sondeo mecánico n.º 1 de la serie proyectada por dicho Centro, y de ese punto se ha partido para el estudio geofísico que nos ocupa.

Otros tres arroyos del mismo rango que el mencionado atraviesan el resto de la zona más hacia Poniente; dos de ellos, llamados respectivamente de los Prados y del Asno, nacen también en las inmediaciones de Bujalance y se incorporan al Guadalquivir, el primero entre Villa del Río y Montoro y el segundo próximo a Pedro Abad. El tercero, o de Galves, desciende por El Carpio y desemboca próximo a la central hidroeléctrica del mismo nombre.

Reseña geológica.

La máxima variación de terrenos que superficialmente se manifiesta en esta zona de estudio, corresponde a la región de Pedro Abad y El Carpio, y en especial a la pequeña porción de ella situada en la margen derecha del río Guadalquivir y dentro de los términos municipales de dichos pueblos. Por el contrario, la margen izquierda, o regtón de Bujalance, y en general toda la zona sur, está recubierta por sedimentos modernos de gran uniformidad, que no han sufrido otra alteración que el desgaste por los agentes exteriores, no muy pronunciado relativamente a la gran potencia de la sedimentación terciaria.

Estos terrenos modernos, Cuaternario y Terciario, podemos describirlos como sigue:

CUATERNARIO.—Comprende dos niveles o terrazas, bien definidas por su distinta altitud, con diferencias de hasta ocho y diez metros. La más moderna, o terreno aluvial, se distingue de la antigua, o terreno diluvial, no sólo por esa diferencia de cota, sino también por la naturaleza de su depósito e incluso por la clase de cultivo. En aquélla, arenosa y terrosa, son más corrientes las huertas por su facilidad de riego, con siembra de remolacha y ciertas extensiones dedicadas a la pradería de ganado vacuno. En la diluvial, los elementos de arrastre son más voluminosos, la tierra más arcillosa y fuerte y el cultivo corriente son los cereales y, en determinada proporción, los olivares, aunque éstos son casi exclusivos en esta zona de la formación terciaria.

Ambos terrenos están limitados a las márgenes del Guadalquivir, con algún entrante sobre el Mioceno de no gran extensión, como ocurre en los alrededores de la estación de Villa del Río, en los kilómetros 352 y 362 de la carretera general y en las cercanías de la estación de El Carpio, así como otras minúsculas porciones de la margen derecha del río (véase plano general y cortes I y IV).

MIOCENO.—La mayor extensión de las formaciones modernas corresponde a ese tramo del Terciario. Ocupa la casi totalidad de la zona que consideramos, puesto que está limitado por las márgenes del Guadalquivir y se extiende hacia el Sur por los términos de Villa del Río, Bujalance y El Carpio. Su sedimentación alcanza, en el lugar del sondeo mecánico, un espesor de 300 m. en números redondos, que puede elevarse en la proyección vertical de Bujalance a los 500 o poco menos, ya que dicho pueblo

está más en el centro de la cuenca y su diferencia de nivel con la boca del sondeo es de unos 150 metros.

Sus tongadas son sensiblemente horizontales en toda su potencia, según se observa en los distintos cortes del terreno y se ha comprobado en el sondeo mecánico. Los bancos son muy sabulosos y pasan en algunos sitios a verdaderas areniscas. Su potencia suele variar entre 0,50 y 1,00 m., y se hallan separados por lechos arcillosos alternantes. A medida que el nivel desciende, la naturaleza de dichos bancos se torna margo-arcillosa. En el aludido sondeo se han cortado hasta los 289 m. estas capas, y en el fondo se presenta, como base del tramo, un banco de conglomerados de elementos cuarzosos de 12 m. de espesor, que también se observa en algunos cortes de la superficie.

SECUNDARIO.—También el aludido sondeo atravesó estos terrenos con un espesor de 147 m., en su mayoría margas consideradas como triásicas por su diferencia de color con las miocenas. Su aspecto es el típico del Triás (rojo, gris, verde, etc.), que concuerda con el que presenta en la superficie.

A los 447,70 m. se cortó otro banco de conglomerados de cuarzos grises y rojizos, también de 12 m. de potencia, que está considerado lógicamente como fondo del Triás, ya que se apoya directamente sobre el Paleozoico.

En la superficie asoma el Triásico, constituyendo las márgenes del Guadalquivir en el meandro que este río forma en el paraje del Alcurrucén y Nuevo Batán, donde está representado por bancos de arenisca rojiza, micácea, con potencia de un metro poco más o menos. Estos bancos aparecen horizontales en el escarpe de la orilla izquierda, frente a la casa del Barquero, pero ya en el mismo codo que se forma aguas abajo de esta casa, en el valle, se ven los bancos con una inclinación de 20° y 30° y

lo mismo sucede en la carretera que llega al vado desde Pedro Abad. Estas inclinaciones pudieran ser locales y debidas al propio trastorno que se observa en la margen derecha, en las inmediaciones del Nuevo Batán, donde hay una falla con 70° , buzando al S., al techo de la cual se ven unas pizarrillas de color vinoso, posiblemente paleozoicas.

Las capas triásicas se encuentran en este paraje bajo el Mioceno, a uno y otro lado del río, siguen por la derecha del mismo, aguas arriba, se ocultan nuevamente y reaparecen en Montoro en disposición también horizontal y en contacto directo con el Siluriano, pero en discordancia con este terreno. Se levanta el propio pueblo sobre estas areniscas rojizas, que siguen horizontales hasta la carretera y el ferrocarril de Madrid a Sevilla, cerca de la estación, donde se ocultan bajo el Terciario, que ya continúa hacia el Sur.

CARBONÍFERO.—Este horizonte geológico improductivo, es decir, sin capas de carbón, se observa en faja marginal en la presa y casa de máquinas del salto de El Carpio, así como en el propio lecho del río, en sus respectivas inmediaciones. Sus bancos, de areniscas micáceas o grauwacas, forman crestones seguidos, con potencias de 0,40 a 0,60 metros generalmente, alternando con otros de pizarras negruzcas o cayuela, de potencias parecidas o algo menores. Su dirección varía entre N.- 60° -O., que tienen en las inmediaciones y aguas arriba de la presa, y E.-O., aguas abajo. Sus inclinaciones aparecen con 65 y 70° en el horizonte y su buzamiento tiende hacia el S., pero en la carretera de Adamuz, antes de llegar a la aludida presa, desde Pedro Abad, se ven algunas capas que buzan al Norte.

Aunque se halla recubierto por materiales probablemente miocénicos, en la loma que separa la presa de la casa de máquinas puede verse con una potencia sin duda

superior a 400 ó 500 m. aun cuando su núcleo central sea Ordoviciense, lo que es probable y se indica en el corte geológico núm. 1. En caso de existir el tramo medio o productivo, había que considerarlo recubierto por el Terciario y Secundario a la izquierda del pliegue.

SILURIANO.—En la serie estratigráfica aparece por último el horizonte de cuarcitas ordovicienses que probablemente constituye la base del Carbonífero. La dirección de sus capas y buzamientos no están bien definidos; sólo en el meandro que forma el río en su parte más occidental aparecen con rumbo N.-S., casi verticales o con ligero buzamiento hacia Levante, pero ello parece más bien producto de un accidente tectónico o falla en esa dirección. En el resto del afloramiento no es posible precisar de un modo correcto su disposición, aunque parece que hay varios repliegues.

TERRENOS ÍGNEOS.—Por último, cierran el cuadro de los terrenos observados una serie de asomos ígneos que se alinean siguiendo el camino que desde la presa de El Carpio sigue a media ladera hasta el alto de Alcurrucén. El primero aflora a unos 100 m. aguas arriba de dicha presa, y los demás continúan separados entre sí 100 y 150 m., estando el último cerca de la casilla del guarda.

A reserva de lo que resulte del examen micrográfico de dicha roca, parece se trata de asomos de naturaleza porfídica, siendo probables apófisis de algún batolito de raíz profunda.

TECTÓNICA.—De acuerdo con los anteriores estudios realizados en esta zona, y con los resultados de la presente investigación, se deduce que la gran falla del Guadalquivir produce un desplazamiento vertical del terreno, en su borde meridional, de unos 300 m. por lo menos.

La presencia de dicha falla nos la confirma la ya citada

roca ígnea, la brusca solución de continuidad del Paleozoico al llegar al borde del Guadalquivir y la diferencia entre los horizontes triásico y siluriano de Montoro con relación a su posición en el sondeo mecánico, puesto que en ambos sitios las capas están horizontales.

Con estos antecedentes y los datos obtenidos en el estudio geofísico, se ha situado la falla como se indica en el plano horizontal. Para hacer más clara la presente explicación, hemos dibujado los cortes V y VI, en los que puede verse la disposición interna antes y después del salto, deducidas de la geología y de las líneas sísmicas realizadas, cuyos detalles se exponen a continuación.

II. La investigación sísmica

Sobre la zona descrita en el epígrafe anterior se han realizado 10 líneas sísmicas en grupos de dos, en forma de línea y contralínea. La longitud de cada una de ellas ha sido del orden de dos kilómetros. El trabajo consta de 156 sismogramas, distribuidos en una extensión de 22 kilómetros en total.

El problema geofísico está planteado de la siguiente forma:

El territorio está recubierto por el Mioceno, en posición horizontal. Bajo este Mioceno se manifiesta el Trías, al que se le supone también horizontal, según los datos geológicos obtenidos y los del sondeo de Villa del Río, que llegó hasta los 550 m. de profundidad. La velocidad sísmica del Mioceno es prácticamente la misma que la del Trías y, a excepción de su pudinga de fondo, del orden de 2.200 a 2.500 m/s. La pudinga triásica tiene gran velocidad y poco espesor, y bajo ella se puede encontrar el Paleozoico en la

siguiente forma: cuarcitas y pizarras silurianas, de gran velocidad; Carbonífero inferior calizo, que se confundiría con el primero debido a su grado de elasticidad; y por último el Hullero pizarreño, que es el tramo posiblemente productivo y cuya velocidad sísmica es muy inferior a los horizontes geológicos anteriores.

Por consiguiente no recomendaremos un sondeo más que en un lugar donde bajo la pudinga cuarzosa del Trías se manifieste el Primario con valores sísmicos relativamente pequeños.

Conviene advertir que el Primario se puede encontrar muy plegado, en forma de pliegues isoclinales casi verticales.

A continuación damos por separado la interpretación de cada una de las líneas efectuadas:

LÍNEA I.—Su barreno se ha situado a 200 m. al N. del Km. 10 de la carretera de Bujalance a Villa del Río, a 30 m. del camino de la Torre. Tiene dirección E.-20°-S., consta de 20 estaciones emplazadas de 100 en 100 m. y su longitud total es de 2.050 metros.

Con los valores de tiempo y distancia de las mismas se ha construido la curva dromocrónica en la forma acostumbrada en este tipo de prospección.

Estudiada esta dromocrónica se llega a la siguiente diferenciación de parámetros sísmicos:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{100}{0,131} = 1.100 \text{ m/s.}$$

determina la cubierta superficial descompuesta.

$$V_2 = V_{1-18} = \frac{1.350 - 150}{0,694 - 0,131} = 2.400 \text{ m/s.}$$

corresponde al paquete geológico de margas y conglomerados miocenos y de margas y areniscas triásicas:

$$V_2 = V_{18-20} = \frac{2.050 - 1.350}{0,824 - 0,694} = 5.400 \text{ m/s.}$$

corresponde a la pudinga triásica y a las pizarras y cuarcitas del Paleozoico, sin diferenciación posible entre ellas.

Como esta línea, con su contralínea, se han hecho sobre el sondeo mecánico, calcularemos el coeficiente K de profundización de acuerdo con la profundidad a que se encuentra la pudinga en el citado sondeo. Por lo tanto,

$$1.350 \times K = 448 \text{ m.}$$

de donde

$$K = 0,33$$

valor que corregiremos con la contralínea.

LÍNEA II.—Es contralínea de la anterior y, por consiguiente, tiene barreno común y dirección contraria Oeste-20°-Norte. Consta de 20 estaciones y alcanza 2.100 metros de longitud total.

Estudiada la correspondiente curva dromocrónica se diferencian en ella los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{150}{0,117} = 1.300 \text{ m/s.}$$

corresponde a la cubierta detrítica.

$$V_2 = V_{1-14} = \frac{1.450 - 150}{0,696 - 0,117} = 2.250 \text{ m/s.}$$

indica el ya mencionado paquete de margas y areniscas del Mioceno y del Triás, considerados en conjunto.

$$V_3 = V_{14-20} = \frac{2.100 - 1.450}{0,822 - 0,696} = 5.200 \text{ m/s.}$$

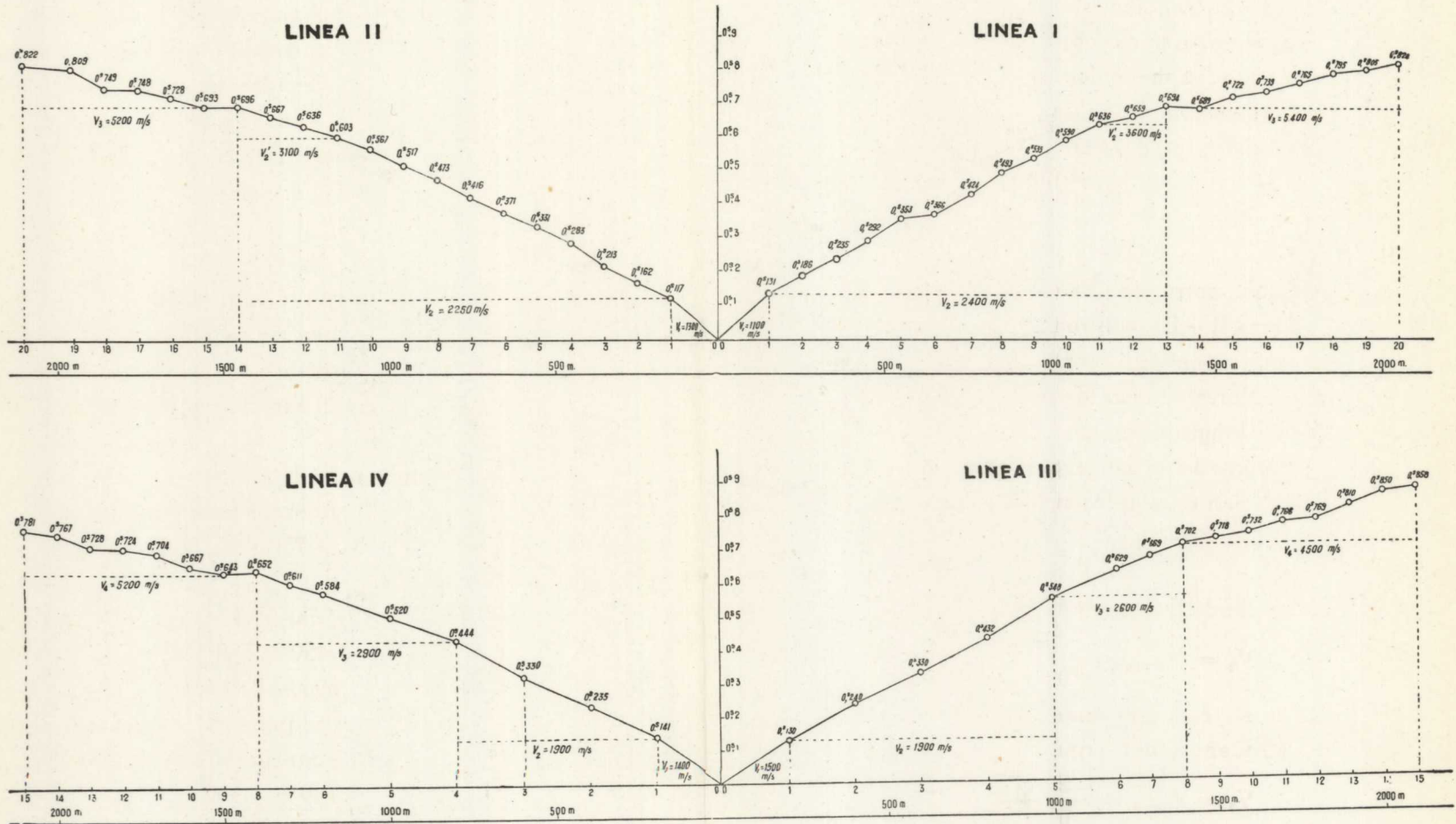
determina el horizonte de pudinga cuarzosa, en conjunto con las cuarcitas paleozoicas.

Como en la línea anterior, calculamos el coeficiente K de acuerdo con la profundidad conocida por el sondeo,

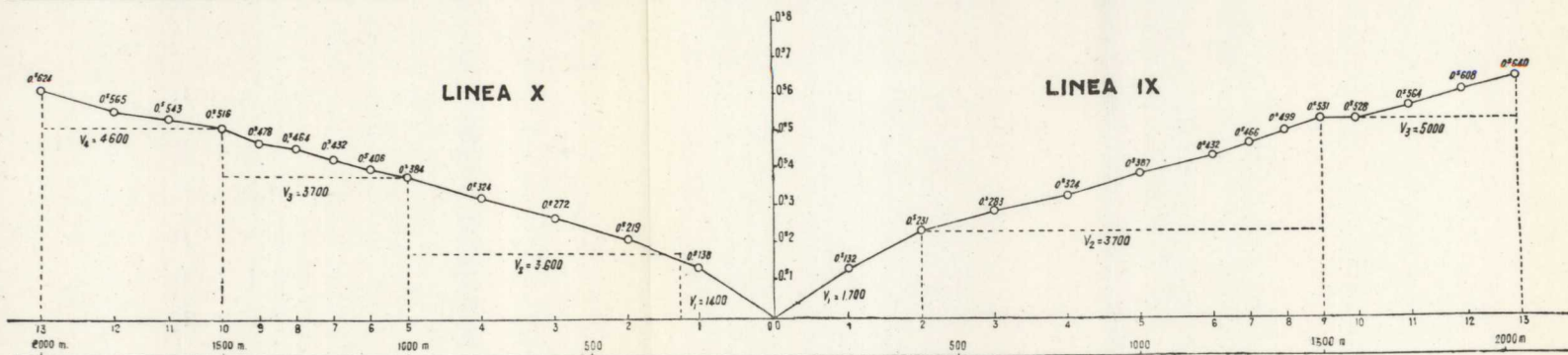
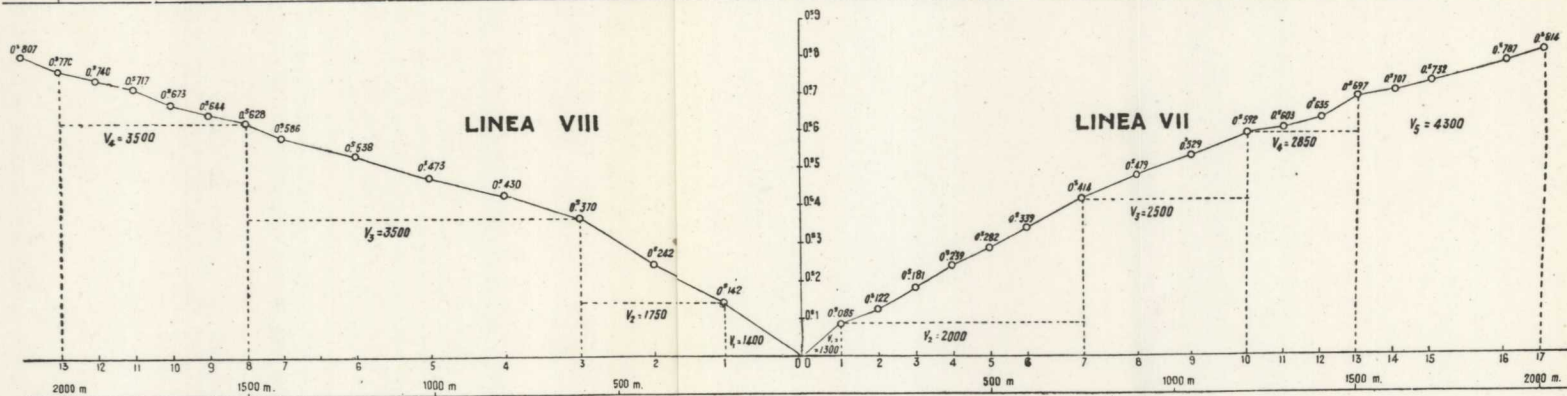
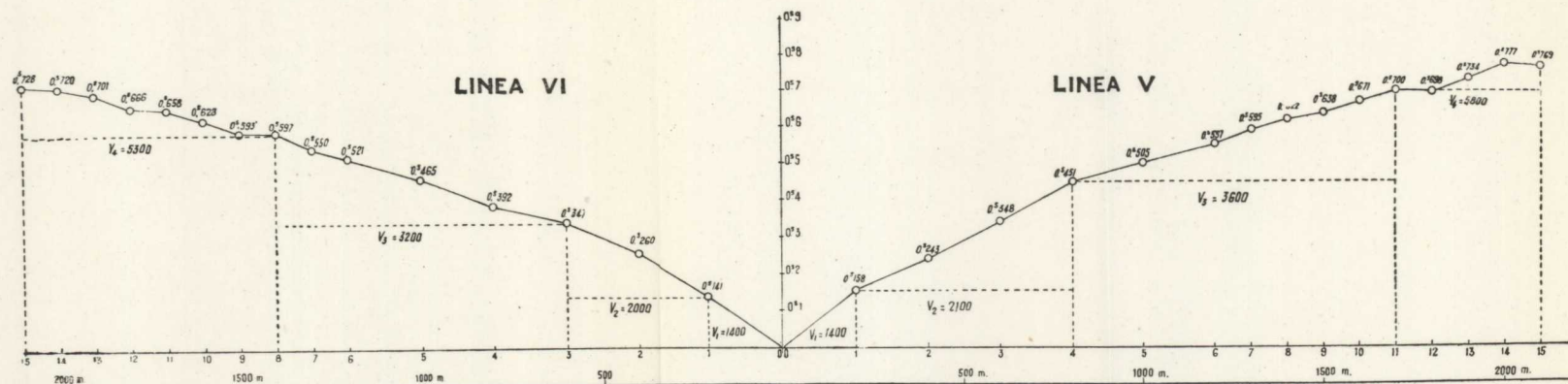
$$1.450 \times K = 448$$

de donde $K = 0,31$.

LÍNEAS DROMOCRÓNICAS



LÍNEAS DROMOCRÓNICAS



En adelante tomaremos como coeficiente de profundización el valor medio entre los obtenidos en las líneas I y II, o sea $K = 0,32$.

Obsérvese que en ambas dromocrónicas se manifiesta el fondo del Triás (antes de la pudinga) con mayor proporción de areniscas, a las que corresponde un valor sísmico comprendido entre $V'_2 = 3.100$ y $V'_2 = 3.600$ m/s., que como veremos se repetirá en otras líneas realizadas en la zona y que además es bien conocido por investigaciones anteriores hechas sobre el mismo horizonte triásico.

LÍNEA III — Su barreno se encuentra a unos 150 m. al Este del tercer hectómetro del Km. 7 de la carretera de Montoro a Bujalance, junto al arroyo de los Prados y a unos 150 m. del cortijo del mismo nombre.

Consta de 15 estaciones, con una longitud total de 2.100 m.; la dirección es E.-20° S.

Estudiada la línea dromocrónica se llega a la diferenciación de los parámetros siguientes:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{200}{0,130} = 1.500 \text{ m/s.}$$

es un valor afectado por la cubierta detrítica.

$$V_2 = V_{1-15} = \frac{1.000 - 200}{0,548 - 0,130} = 1.900 \text{ m/s.}$$

corresponde al Mioceno margoso y arenoso y posiblemente a la parte arcillosa del Triás.

$$V_3 = V_{5-8} = \frac{1.400 - 1.000}{0,702 - 0,548} = 2.600 \text{ m/s.}$$

indica las areniscas del fondo del Triás, con intercalaciones margosas seguidas del Paleozoico.

$$V_4 = V_{8-15} = \frac{2.100 - 1.400}{0,781 - 0,652} = 5.200 \text{ m/s.}$$

representa la pudinga y el Paleozoico.

La profundidad a que se encuentra esta pudinga es de $1.400 \times 0,32 = 448$ m.

LÍNEA IV.—Es contralínea de la III y, por consiguiente, su barreno es común con aquélla. Su dirección es contraria, esto es, N.-80°-O.

Consta de 15 estaciones, con una longitud total de 2.100 metros.

Examinando la curva dromocrónica correspondiente podemos diferenciar los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{200}{0,141} = 1.400 \text{ m/s.}$$

que corresponde a la capa detrítica que recubre el terreno.

$$V_2 = V_{1-4} = \frac{800 - 200}{0,444 - 0,141} = 1.940 \text{ m/s.}$$

Esta velocidad puede atribuirse a las margas y areniscas del Mioceno y al Triás arcilloso.

$$V_3 = V_{4-8} = \frac{1.400 - 800}{0,652 - 0,444} = 2.900 \text{ m/s.}$$

probablemente son las areniscas triásicas.

$$V_4 = V_{8-15} = \frac{2.100 - 1.400}{0,781 - 0,652} = 5.200 \text{ m/s.}$$

indica los conglomerados de la base del Triás y las cuarcitas o calizas paleozoicas.

Como el valor que hemos adoptado para el coeficiente de profundidad es $K = 0,32$, la correspondiente para este último horizonte será:

$$1.400 \times 0,32 = 448 \text{ m.}$$

como en la línea anterior.

LÍNEA V.—Se ha situado su barreno a unos 200 m., en dirección Oeste, del Km. 10,250 de la carretera de Montoro a Bujalance, en el arroyo de Veredas. La línea se extiende en dirección E.-20°-S. y consta de 15 estaciones, con una longitud de 2.100 metros.

Dibujada y estudiada la curva dromocrónica correspondiente, se deducen horizontes geológicos representados por los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{200}{0,158} = 1.400 \text{ m/s.}$$

que como en las líneas anteriores indica la cubierta detrítica superficial.

$$V_2 = V_{1-4} = \frac{800 - 200}{0,451 - 0,158} = 2.100 \text{ m/s.}$$

corresponde a las margas y conglomerados del Mioceno y a la parte margosa del Triás.

$$V_3 = V_{4-11} = \frac{1.700 - 800}{0,700 - 0,451} = 3.600 \text{ m/s.}$$

determina probablemente areniscas triásicas.

$$V_4 = V_{11-15} = \frac{2.100 - 1.700}{0,769 - 0,700} = 5.800 \text{ m/s.}$$

representa las pudingas triásicas y el Paleozoico.

La profundidad de este último horizonte será:

$$1.700 \times 0,32 = 544 \text{ m.}$$

valor que corregiremos con el que se determine en la contralínea.

LÍNEA VI.—Es contralínea de la V y, por consiguiente, con dirección N.-80°-O. y barreno común. Consta de 15 estaciones en una extensión de 2.100 metros.

Estudiadas las distintas alineaciones de la dromocrónica correspondiente, deduciremos los siguientes parámetros, que confirman los resultados de la línea anterior:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{200}{0,141} = 1.400 \text{ m/s.}$$

indica la cubierta más o menos descompuesta.

$$V_2 = V_{1-8} = \frac{600 - 200}{0,347 - 0,141} = 2.000 \text{ m/s.}$$

representa las margas y conglomerados del Mioceno y las arcillas del Triás.

$$V_4 = V_{8-8} = \frac{1.400 - 600}{0,597 - 0,347} = 3.200 \text{ m/s.}$$

corresponde, como en la línea anterior, a areniscas triásicas.

$$V_4 = V_{8-15} = \frac{2.100 - 1.400}{0,727 - 0,597} = 5.300 \text{ m/s.}$$

es la pudinga silícea del Triás y las cuarcitas o calizas paleozoicas. Admitida esta interpretación, la profundidad de este último horizonte será:

$$1.400 \times 0,32 = 448 \text{ m.}$$

Resumiendo las líneas VI y V, resulta que se observa una diferencia relativamente grande entre las profundidades obtenidas para la pudinga. Esto indica que su contacto no es horizontal en esta zona y que buza en sentido ESE., de donde se deduce que en el emplazamiento del barreno la mencionada pudinga se encontrará a los

$$\frac{544 + 448}{2} = 496 \text{ m. de profundidad.}$$

LÍNEA VII. —Para esta línea se ha colocado el barreno a unos 900 m. al N. del Km. 53,200 de la carretera de Torredonjimeno a El Carpio. Su dirección es E. 30° S. y consta de 17 estaciones en una longitud total de 2.000 metros.

De la curva dromocrónica correspondiente podemos deducir los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{100}{0,085} = 1.200 \text{ m/s.}$$

que como en las demás líneas anteriores atribuimos a la cubierta detrítica.

$$V_2 = V_{1-8} = \frac{750 - 100}{0,414 - 0,085} = 2.000 \text{ m/s.}$$

$$V_3 = V_{7-10} = \frac{1.200 - 750}{0,592 - 0,414} = 2.500 \text{ m/s.}$$

$$V_4 = V_{10-18} = \frac{1.500 - 1.200}{0,697 - 0,592} = 2.850 \text{ m/s.}$$

son parámetros que interpretamos como margas y conglomerados miocenos y margas y areniscas triásicas, sin fácil diferenciación.

Por último, el

$$V_5 = V_{18-17} = \frac{2.000 - 1.500}{0,814 - 0,697} = 4.300 \text{ m/s.}$$

debe corresponder a los conglomerados de elementos cuarzosos de la base del Triás y al Paleozoico.

Debemos hacer notar que en esta línea la velocidad obtenida para el Paleozoico es bastante inferior a la determinada en las restantes, lo que pudiera indicar un cambio en su composición litológica, que acaso fuese debido a la presencia del Carbonífero pizarroso. Esto lo manifestamos con toda clase de reservas y como una indicación exclusivamente.

La profundidad correspondiente a este horizonte será:

$$1.300 \times 0,32 = 480 \text{ m.}$$

LÍNEA VIII. —Contralínea de la VII y por ello tiene el barreno común y dirección opuesta, N. 60° O.

Se han hecho 14 estaciones sobre una longitud de 2.000 metros.

Estudiada la curva dromocrónica obtenemos los siguientes parámetros:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{200}{0,142} = 1.400 \text{ m/s.}$$

indica la cubierta detrítica:

$$V_2 = V_{1-8} = \frac{600 - 200}{0,370 - 0,142} = 1.750 \text{ m/s.}$$

probablemente pertenece a las margas del Mioceno.

$$V_8 = V_{8-8} = \frac{1.500 - 600}{0,628 - 0,370} = 3.500 \text{ m/s.}$$

puede corresponder a las margas y areniscas del Triás.

Como hemos indicado con anterioridad, los horizontes correspondientes a los parámetros V_2 y V_8 no admiten una fácil determinación lógica.

$$V_4 = V_{8-13} = \frac{2.000 - 1.500}{0,770 - 0,628} = 3.500 \text{ m/s.}$$

que se podría descomponer en dos parámetros.

$$V_{4'} = V_{8-10} = \frac{1.700 - 1.500}{0,673 - 0,628} = 4.400 \text{ m/s.}$$

$$\text{y } V_{4''} = V_{10-13} = \frac{2.000 - 1.700}{0,770 - 0,673} = 3.100 \text{ m/s.}$$

Creemos se deben interpretar como pudingas triásicas y a continuación el Carbonífero pizarreño, este último con las mismas reservas apuntadas en la línea anterior.

La profundidad obtenida para la pudinga es, como antes, de

$$1.500 \times 0,32 = 480 \text{ m.}$$

LÍNEA IX.—De dirección E.-30°-S. y con barreno colocado a unos 300 m. al S. del cortijo del Ocho y a 200 metros del Km. 406 del ferrocarril Manzanares-Córdoba, consta de 13 estaciones, con una longitud total de 2.050 metros.

Los parámetros que se pueden diferenciar en este caso en la dromocrónica son:

$$V_1 = V_{0-2} = \frac{400}{0,231} = 1.700 \text{ m/s.}$$

que determina la costra superficial meteorizada.

$$V_2 = V_{2-9} = \frac{1.500 - 400}{0,531 - 0,231} = 3.700 \text{ m/s.}$$

corresponde al Mioceno, con margas, areniscas y conglomerados, y al Triás, también con margas y areniscas, aunque no se pueden determinar los contactos.

$$V_8 = V_{9-13} = \frac{2.050 - 1.500}{0,640 - 0,531} = 5.000 \text{ m/s.}$$

Debe indicar la pudinga triásica y el Paleozoico, tal vez cuarcitas y pizarras.

Como se ve, en este caso la velocidad del fondo es superior a las de las líneas anteriores.

$$1.500 \times 0,32 = 480 \text{ m.}$$

LÍNEA X.—Contralínea de la anterior, con barreno común y dirección opuesta, esto es N.-60°-O. Consta de 13 estaciones y alcanza 2.000 m. de longitud total.

Los parámetros que obtenemos de la curva dromocrónica son:

$$V_1 = V_{0-1} = \frac{200}{0,138} = 1.400 \text{ m/s.}$$

debido a la capa meteorizada superficial.

$$V_2 = V_{2-5} = \frac{1.000 - 400}{0,384 - 0,272} = 3.600 \text{ m/s.}$$

$$\text{y } V_8 = V_{5-10} = \frac{1.500 - 1.000}{0,516 - 0,384} = 3.700 \text{ m/s.}$$

corresponden a las margas y areniscas, tanto del Mioceno como del Triás.

La diferenciación, como en la línea anterior, no es prudente intentarla.

$$V_4 = V_{10-13} = \frac{2.000 - 1.500}{0,624 - 0,516} = 4.600 \text{ m/s.}$$

Representa a las pudingas triásicas y las cuarcitas, pizarras o calizas paleozoicas.

Su profundidad es:

$$1.500 \times 0,32 = 480 \text{ m.}$$

que confirma el resultado de la línea IX.

IV. Trabajo sísmico complementario

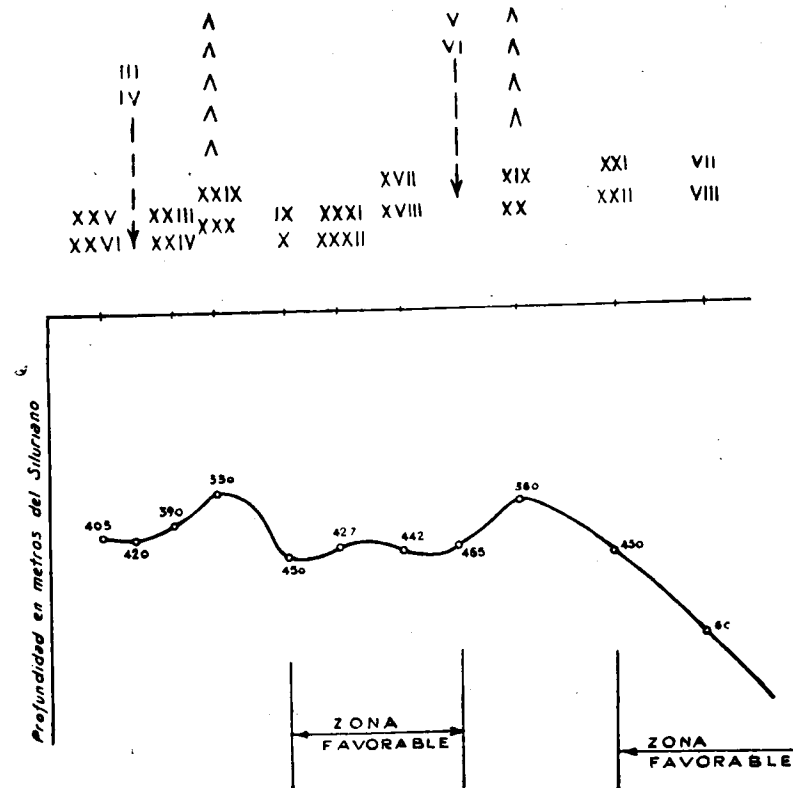
Con posterioridad a la investigación descrita se realizaron 22 líneas sísmicas más, como complemento del trabajo anterior, por no ser suficiente aquél para emitir conclusiones. Con el fin de no alargar demasiado este informe, daremos solamente los resultados de cada línea, en cuanto al contacto antiguo bajo terrenos de baja velocidad sísmica, se trate de Trías margoso o de Carbonífero; han resultado las siguientes profundidades (*):

Líneas XI y XII	510 m.
— XIII y XIV	480 m.
— XV y XVI	405 m.
— XVII y XVIII	442 m.
— XIX y XX	360 m.
— XXI y XXII	450 m.
— XXIII y XXIV	390 m.
— XXV y XXVI	405 m.
— XXVII y XXVIII.....	600 m.
— XXIX y XXX	330 m.
— XXXI y XXXII	427 m.

Con todos estos datos hemos compuesto el perfil sísmico S-S, tal como se marca en el plano horizontal y que está basado en los resultados de las líneas XXV-XXVI; III-IV; XXIII-XXIV; XXIX-XXX; IX-X; XXXI-XXXII; XVII-XVIII; V-VI; XIX-XX; XXI-XXII; VII-VIII.

(*) En un futuro próximo, cuando quede totalmente terminado este trabajo, que se pretende ampliar de nuevo, será publicado con todas sus líneas.

La adjunta figura indica la marcha aproximada de lo que sería el fondo de la posible cuenca en el caso de existir, dato de mucho interés, al menos para ubicar un son-



deo. En él se delimitan las zonas de mayor interés para su perforación, sin que con esto digamos que existe el Carbonífero.

V. Conclusiones

Observando de nuevo todos los resultados obtenidos en esta investigación, se llega a las siguientes conclusiones:

1.^a La zona en cuestión está recubierta por el Mioceno y por el Triás, prácticamente horizontales.

2.^a Las profundidades medias obtenidas para el fondo de la posible cuenca, para cada par de líneas y contralíneas realizadas, han sido las siguientes:

Líneas I	y II	.....	448 m.
— III	y IV	.....	448 m.
— V	y VI	.....	496 m.
— VII	y VIII	.....	480 m.
— IX	y X	.....	480 m.
— XI	y XII	.....	510 m.
— XIII	y XIV	.....	480 m.
— XV	y XVI	.....	405 m.
— XVII	y XVIII	.....	442 m.
— XIX	y XX	.....	360 m.
— XXI	y XXII	.....	450 m.
— XXIII	y XXIV	.....	390 m.
— XXV	y XXVI	.....	405 m.
— XXVII	y XXVIII	.....	600 m.
— XXIX	y XXX	.....	330 m.
— XXXI	y XXXII	.....	427 m.

3.^a En el gráfico correspondiente al perfil sísmico S-S,

se da la supuesta marcha del fondo de la cuenca de acuerdo con los datos obtenidos. En él se marcan como zonas de mayor interés para ubicar un sondeo los lugares comprendidos entre las líneas sísmicas X-XI y las V-VI en el centro; y la zona alrededor de las líneas XXI-XXII y VII-VIII en el S. del mismo.

CAPÍTULO XVIII

INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN PALENCIA

Existen todavía en España extensas zonas totalmente vírgenes bajo el aspecto minero, y que deben el no haber sido exploradas hasta la fecha a lo costoso de las labores de investigación. Nos referimos a las grandes cuencas en que los recubrimientos terciarios han ocultado a la vista del geólogo a las formaciones antiguas, impidiendo de este modo no sólo el poder determinar las posibles riquezas minerales existentes en estos terrenos, sino también las que pudiera encerrar el propio Terciario.

Por este motivo, y siempre con la idea de conseguir el mayor número de datos que nos conduzcan al mejor conocimiento del subsuelo español, el Instituto Geológico y Minero de España decidió enviar a nuestra Sección de Geofísica a una de estas regiones, con vistas al descubrimiento de posibles estructuras bajo los recubrimientos modernos.

Fue la zona elegida la enclavada dentro de la gran cuenca terciaria del Duero y precisamente al Norte de la ciudad de Palencia, y comprendida entre esta capital y los pueblos de Magaz, Torquemada, Cordovilla la Real, Villalaco, Astudillo, Santoyo, Frómista, Villoldo, Paredes de Nava, Becerril de Campos y Grijota.

Las razones que motivaron que fuese ésta la zona elegida han sido, entre otras, el que ya la misma Sección de Geofísica ha realizado numerosos trabajos en la región próxima de Guardo (Palencia), para estudiar las posibles prolongaciones de la cuenca carbonífera que lleva este nombre. Parece lógico suponer que por debajo del Terciario, al Norte de Palencia, puedan existir nuevas cuencas o pliegues, aunque su profundidad llegase a hacer prohibitiva su explotación. En segundo lugar, y ahora que el reconocimiento de nuevas zonas petrolíferas está adquiriendo gran importancia en el mundo, la localización de estructuras ocultas bajo el Terciario podrá llegar a ser de interés en un futuro más o menos lejano.

Por último, en la cuenca hidrológica del Duero apenas está reconocida la región comprendida entre Palencia y Burgos; de aquí el interés que ofrece su investigación, ya que esa riqueza del subsuelo puede cambiar totalmente el nivel de vida de una región.

La Dirección del Instituto estimó, con gran acierto, que en primer lugar convenía hacer un reconocimiento gravimétrico general de la zona, que permitiese determinar los sectores más destacados para realizar posteriormente en ellos una investigación gravimétrica de detalle y, según los resultados, una exploración sísmica, con lo que se podrá probablemente llegar a resolver el problema planteado.

No hay, pues, que dar al presente trabajo más valor que el puro bosquejo gravimétrico, que servirá de avance o trabajo preparatorio para elegir las zonas de mayor interés para una verdadera prospección geofísica de detalle.

I. Reseñas geográfica y geológica

Reseña geográfica.

La meseta castellana, y concretamente la Tierra de Campos, en la provincia de Palencia, dentro de la cual se ha iniciado esta investigación gravimétrica, debe sus relieves o configuración superficial casi exclusivamente a la actuación, más o menos activa, de los agentes exteriores o meteóricos. Las aguas de lluvia principalmente, pero también los hielos, las nieves y el viento, se han encargado de ir modulando la superficie hasta dejarla en los términos que en la actualidad se observa, sin que la acción tectónica, fundamental del relieve en la mayoría de los casos, tenga la más leve representación en éste, toda vez que no se halla manifestación exterior alguna dentro de dicha meseta y que las capas del terreno están sensiblemente horizontales desde su depósito, o con ligerísima adaptación o acomodamiento en muy escasos lugares y por causas muy locales.

Las partes más elevadas, a las que se circunscriben los recorridos gravimétricos, afectan diversas formas y contornos, dependiendo siempre de la mayor o menor resistencia a la denudación ofrecidas por las capas del terreno. Aparecen en forma de tronco de cono, como el denominado cerro del Cristo, en las cercanías de Palencia, o en la de cabezos más o menos puntiagudos o redondeados, lo que ocurre cuando la erosión ha destruido la capa calcárea de la cobertera y ha penetrado hasta la zona margosa y más blanda inmediata. También afectan la disposición de artesa invertida o de muela con parte superior de caliza,

que suelen constituir extensos páramos por encima del nivel de 750 y 800 metros sobre el nivel del mar.

Las tierras de vega, por donde se extiende el río Carrión y sus respectivos afluentes, se encuentran hacia los 740 metros en las cercanías de la capital, y a los 780 metros en las de Villoldo, que es el pueblo más septentrional de la zona.

Las laderas que enlazan entre sí las mesetas con las vegas son a veces pendientes uniformes, pero otras el tránsito aparece en forma de pequeños montículos, altozanos y lomas muy diversas, todo lo cual constituye un conjunto francamente ondulado, con tendencia a suavizarse hacia el fondo del valle. El paisaje es de pequeños contrastes y muy monótono.

Desde el punto de vista hidrográfico, pertenece la región a la cuenca del Carrión, río que desciende desde la vertiente meridional de la cordillera Cantábrica, por Guardo y el pueblo de Carrión de los Condes, hasta salir de la zona por la capital, para incorporar sus aguas al Pisuerga, en las cercanías de Dueñas.

Sus principales afluentes son: por su margen derecha el Cueva, cuya confluencia se verifica en Villoldo, y el Valdejinete, que desciende en forma de herradura por Castromocho, y después de alimentar la laguna de la Nava, al lado de Grijota, vierte su exceso, por el arroyo del mismo nombre, en el Carrión, aguas arriba y muy cerca de Palencia. Por la margen izquierda se inserta el río Uzies, en Monzón de Campos.

El resto de la red se distribuye en varios arroyos o barrancos de curso y régimen muy variado; algunos permanentes, como los de Cordelera y La Nava, que son los más importantes, pero la mayoría de régimen discontinuo.

Reseña geológica.

Está representada la zona únicamente por dos de las grandes formaciones que constituyen la corteza terrestre: la serie cuaternaria y la terciaria, que describimos a continuación:

TERCIARIO.—Esta serie está representada exclusivamente por el Mioceno, subdividido a su vez en sus correspondientes tramos inferior, medio y superior.

MIOCENO INFERIOR.—Se compone, en general, de arcillas más o menos impuras y sabulosas, que alternan a menudo con lechos y bancos de arenisca y hasta con horizontes de pequeño espesor, brechiformes y almendrados. Presenta colores irisados, a veces claros, pero el tono que caracteriza el tramo es más bien rojizo. Sus tongadas arcillosas dan lugar al establecimiento de algunas cerámicas y tejares.

Es el que adquiere mayor desarrollo superficial en la zona, por haber desaparecido por denudaciones sucesivas la mayor parte de los otros dos tramos que le han recubierto y en parte le recubren, aunque la disposición de sus bancos es, como todos los de la serie, completamente horizontal o con ligerísima caída hacia el valle. Su espesor no es medible en su totalidad por estar el borde inferior sellado por los terrenos modernos, pero la parte visible del mismo alcanza desde la cota 760 hasta la de 820, en el corte normal, lo que representa una potencia que excede de 60 metros.

Es pobre en fauna, sobre todo en la variedad característica del tramo, pero por ser prolongación evidente de otros niveles relativamente próximos dentro de la misma formación, ya estudiados y clasificados como *Tortonense* por distintos geólogos, así le designamos.

MIOCENO MEDIO.—Este tramo se sucede inmediato y concordante al descrito. Se diferencia del inferior por su tono grisáceo y la interposición de banquitos de yeso cristalino y en flecha, que alternan con otros de margas y calizas margosas, todos de pequeño espesor. Por los cortes naturales y limpios se observa en toda su potencia en las vertientes de los páramos de Autillo, en el Padrón y en la subida al Cristo. Suele presentarse coronando unas margas grises que se superponen inmediatamente al tramo inferior, con un banquito, de 0,30 a 0,40 m. de potencia, de brecha. Sobre éste se suceden unos bancos de yeso que alternan con otros lechos de margas claras y de caliza de poco espesor, repitiéndose en toda su altura con intercalaciones también de areniscas, en láminas delgadas de color amarillento.

La potencia de este tramo oscila entre 30 y 40 m., que se duplica en determinados sitios.

MIOCENO SUPERIOR.—Corona la formación miocena un espesor de caliza, a veces tobácea, otras oquerosa, pero en general compacta, que se extiende sobre las mesetas y constituye los páramos de la región. De ellas se extrae la mayor parte de la piedra de construcción que se emplea en los edificios y obras de la comarca.

Es muy difícil fijar de un modo preciso el horizonte de separación de este tramo, de edad marcadamente pontiense, del inmediato inferior o posible Sarmatiense, por la también concordancia en sus estratificación y naturaleza de las capas; pues si bien predominan las calizas cada vez con más fijeza, hasta coronar en los aludidos bancos potentes, pasan de un horizonte a otro tan insensiblemente que es materialmente imposible fijar su plano de separación. Por otra parte, tampoco son privativas de uno u otro horizonte las diferentes rocas que componen los tramos,

porque en todos se repiten algunos elementos. Hay, sin embargo, la razón del predominio entre unas y otras. Así, por ejemplo, se observan las de origen clástico ocupando los horizontes bajos; las de carácter margoso, con alternancias predominantes de yeso, en el medio, y las calizas ocupando los altos horizontes.

El espesor del Pontiense puede considerarse, en la zona estudiada, con potencia que oscila entre 10 y 20 m.; el horizonte medio o Sarmatiense entre 30 y 40, y el inferior o Tortoniense, que es el más importante desde este punto de vista, tiene un espesor superior a 60 metros.

CUATERNARIO.—El mapa geológico de España publicado por el Instituto en escala de 1 : 1.000.000, da a esta serie cuaternaria, en la zona de Palencia, una extensión superficial a nuestro juicio más reducida de lo que le corresponde. Considera como miocena la parte sobre la que se alzan los pueblos de Grijota, Villaumbrales, Becerril de Campos y otros, que nosotros entendemos deben incorporarse a la expresada serie moderna. Nuestras razones no son paleontológicas, entre otras porque es de muy escasa fauna, pero sí estratigráficas. Nos parece evidente que un terreno que descansa sobre un manto de canto rodado suelto o trabado y de facies completamente similar al resto del Diluvial de la región, como se observa en la apertura del canal de Castilla y en el de Campos a todo lo largo de sus trazas, así como entre otros actualmente en ejecución y en varios pozos, no puede ser de edad anterior al expresado manto, toda vez que no ha habido con posterioridad a su depósito accidente alguno que los haya invertido.

Por lo expuesto, hemos ampliado y llevado a nuestros planos esa representación cuaternaria más allá de los aludidos pueblos.

FORMACIÓN PLUVIAL.—Se circunscribe a las márgenes del Carrión, con ensanche hacia Grijota y contorneando la laguna de La Nava. Sus componentes son los cantos rodados, en general menudos, con mezcla de arena y arcilla. En su parte alta, es decir, próxima a las tongadas diluviales, los cantos son en su mayoría del tamaño de nueces y está el conjunto cubierto por una capa arenosa-terrosa de más de un metro en algunos sitios. En esta zona, y siguiendo la carretera de Tinamayor, se distribuyen en ambas márgenes diferentes guijeras que se explotan para las construcciones y afirmado de calles.

DILUVIAL.—Comprende un par de niveles o terrazas que denominamos Terraza Alta y Terraza Baja, aunque no se las sigue con mucha perfección, pues tienen sus bordes en muchos sitios haciendo pendiente uniforme, y en otros se observan escalonados. Circundan a su vez, la más alta, los bancos margo-arenosos del Tortoniense, y la inferior la zona aluvial, con la cual se confunde en algunos lugares por razón de la roturación y cultivo.

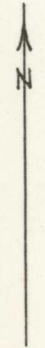
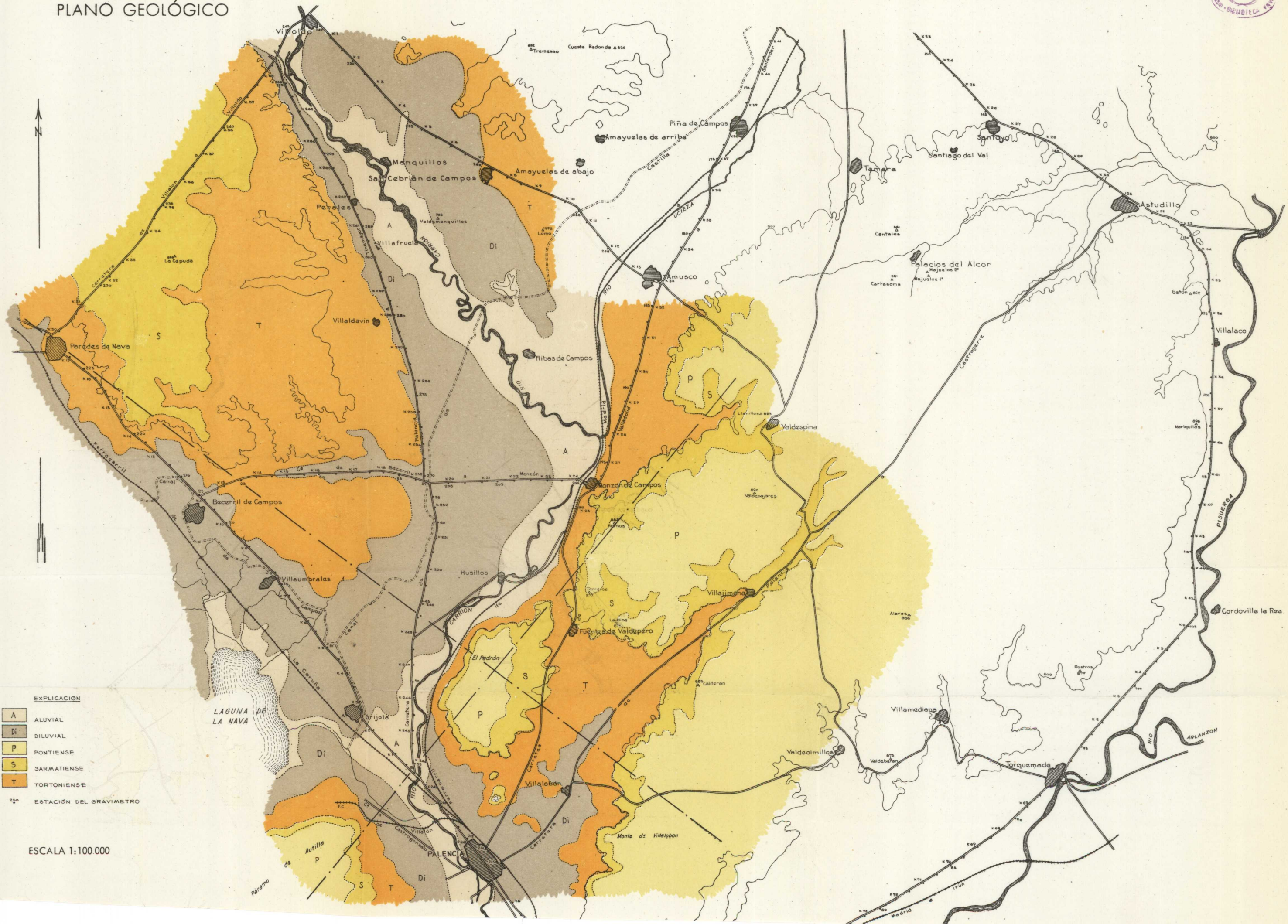
La disposición de ambas es horizontal, y ellas son las que penetran bajo los mantos terrosos de cultivo hasta topar probablemente con los bancos terciarios.

Los componentes pétreos de este terreno de arrastre son también los cantos rodados de mayor tamaño, aunque rara vez exceden del de huevos de gallina. La parte gredosa o mezcla de arena y arcilla es aprovechada para la construcción de adobes y tapial por los naturales del país. Los arenosos son casi privativos del terreno aluvial.

CORTES GEOLÓGICOS.—Como se trata de una región rigurosamente uniforme en la disposición y naturaleza de los terrenos, sólo acompañamos dos cortes: uno trazado desde Paredes de Nava hacia el SE., y el otro desde el pá-



PLANO GEOLÓGICO



EXPLICACIÓN

- A ALUVIAL
- Di DILUVIAL
- P PONTIENSE
- S SARMATIENSE
- T TORTONIENSE

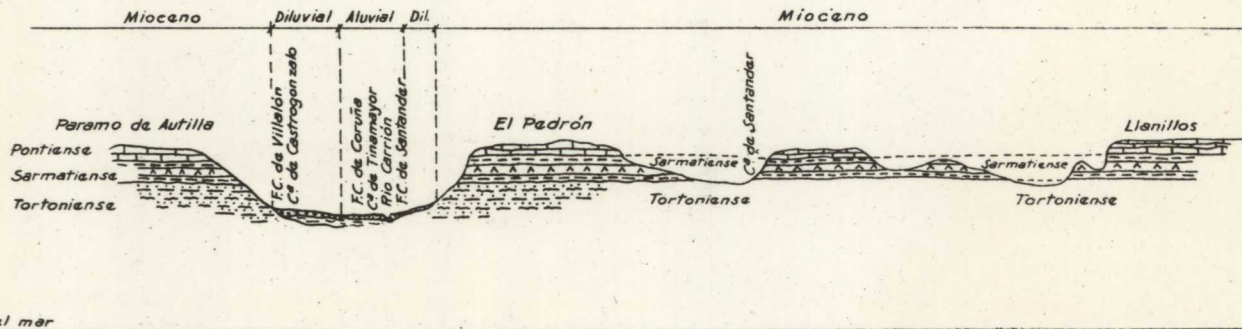
⊙ ESTACIÓN DEL GRAVÍMETRO

ESCALA 1:100.000

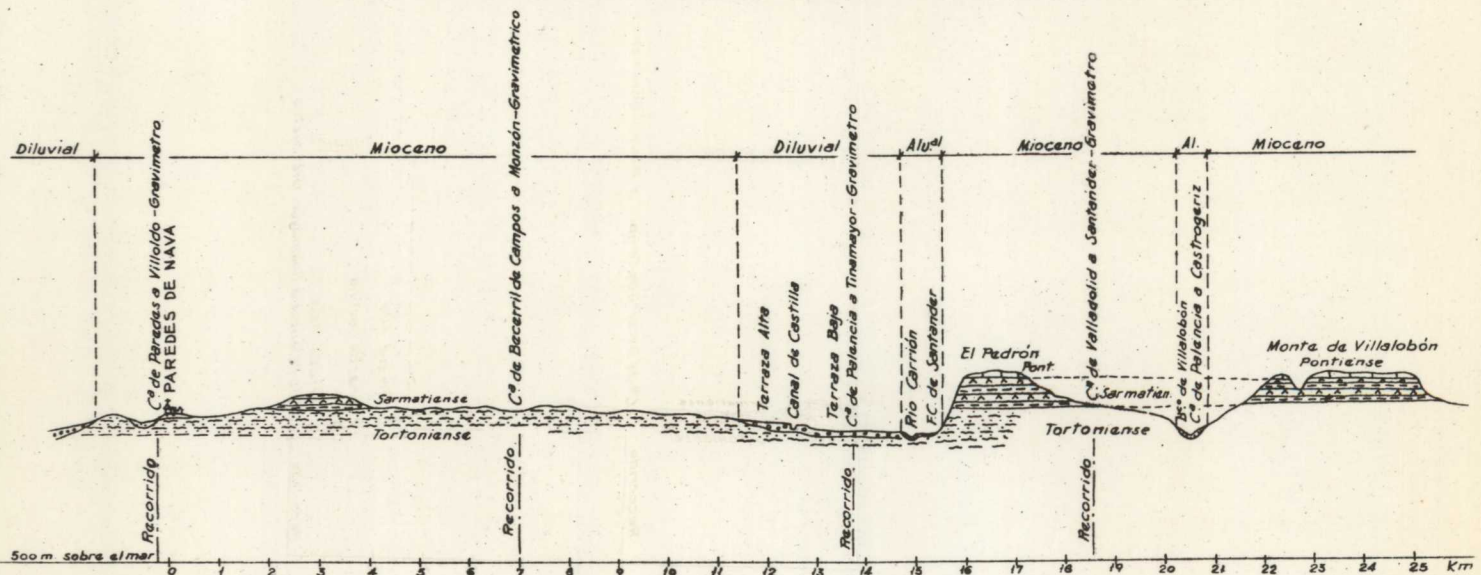
INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN PALENCIA

CORTES GEOLÓGICOS

CORTE GEOLÓGICO I, DESDE EL PÁRAMO DE AUTILLA HACIA EL NE.



CORTE GEOLÓGICO II, DESDE PAREDES DE NAVA HACIA EL SE.



SARMATIENSE
Margas y yesos

TORTONIENSE
Calizas

TORTONIENSE
Margas sabulosas, areniscas bastas y arcillas tinte rojizo

ESCALAS { Horizontal 1:150.000
Vertical 1:1.500

ramo de Autilla hacia el NE.; es decir, en direcciones sensiblemente normales entre sí, con lo cual se aprecia debidamente esa uniforme disposición horizontal de los bancos y su distinción por tramos, como puede atribuirse a cualquier lugar de la zona de estudio. Por su claridad y sencillez no necesitan mayores explicaciones los cortes.

El resto de la configuración interna queda reservada a los resultados del estudio gravimétrico, cuyo detalle se transcribe a continuación.

II. La investigación gravimétrica

APARATOS EMPLEADOS.—El gravímetro utilizado fue el «Nörgaard», construido por la «Aktiebelaget Elektrisk Malmletning», de Estocolmo, n.º 255, con constante de escala 7,02, determinándose el valor de la gravedad relativa por la fórmula

$$Gr = 7,02 m2$$

siendo m el número de divisiones leídas en el tornillo micrométrico.

La aproximación teórica de las lecturas es de 0,01 mgls., aunque debido a diferentes condiciones adversas es preciso contar con un error bastante superior.

TRABAJO DE CAMPO.—En primer lugar se fijaron las estaciones, haciendo su levantamiento altimétrico con un nivel «Zeiss».

Detrás del equipo topográfico, marchaba el gravimétrico, haciendo las lecturas en cada estación, repitiéndolas varias veces para obtener una aproximación más elevada y aceptando como verdadera la media de todas ellas.

En total se hicieron 300 estaciones, sin contar con las



que hubo que repetir, tanto a causa del cierre de los polígonos diarios como para determinar la curva de deriva del instrumento. Se cubrió una longitud total de 165 kilómetros situando las estaciones cada 500 m. y procurando seguir las carreteras en polígonos cerrados por facilitar el transporte y tratarse de un trabajo regional. La superficie cubierta se eleva a 680 Km.²

CORRECCIONES A QUE SE HAN SOMETIDO LOS VALORES DE LA GRAVEDAD OBSERVADOS.—Las correcciones aplicadas y que se detallan en los estados de cálculo, salvo la topográfica, fueron las siguientes:

a) Corrección de la lectura micrométrica, dada por la casa constructora y que es igual en el gravímetro número 225 a $-0,043$.

b) Corrección de temperatura. También se empleó la fórmula dada por la firma «Nörsgaard», y que para el gravímetro empleado es:

$$- 0,022 (t_0 - t_1)^2$$

donde t_0 es la temperatura de trabajo del instrumento ($18^{\circ},5$ en este caso) y t_1 la real en el momento de hacer las observaciones.

c) Corrección por deriva. Como la deriva del aparato, si bien no igual de un día para otro, es suficientemente uniforme dentro del de trabajo, se hizo el cálculo de esta corrección por ajuste lineal, repitiendo cada día dos o más veces la lectura de la estación tomada como base y de algunas de las intermedias.

d) Corrección de Faye. Fue efectuada por el procedimiento y fórmula ordinarios.

e) Corrección de Bouguer. También fue empleada la fórmula ordinaria, tomando para la densidad del terreno el valor constante 2 para toda la zona de trabajo, que fue el que encontramos ser más apropiado en este caso.

f) Corrección por latitud. Fue determinada gráficamente sobre las hojas del mapa geográfico nacional a escala 1 : 50.000 y según el procedimiento ya clásico, como aparece en otros trabajos de esta Sección de Geofísica.

g) Corrección topográfica. Para efectuarlo se hizo, en las estaciones donde a simple vista parecía ser necesario, un pequeño levantamiento topográfico que sirvió para poder emplear las zonas o compartimentos primeros de la retícula de Hammer. Para las zonas más distantes se emplearon las hojas del mapa geográfico nacional a escala 1 : 50.000.

Esta corrección, determinada para las estaciones con situación topográfica desfavorable y para otras elegidas arbitrariamente, se encontró no ser nunca superior a los 0,05 mgls., por lo que, dentro de la exactitud con que estamos trabajando en este caso, esta cifra se consideró despreciable, prescindiendo de hacer la corrección para todas las demás estaciones.

Una vez aplicadas todas estas correcciones a los valores observados, se obtuvieron las anomalías de Bouguer, con las que se dibujaron las curvas isógenas con equidistancia de un mgls.

III. Interpretación de las anomalías encontradas

En uno de los planos horizontales que se adjuntan hemos dibujado las curvas isanómalas con equidistancia de 1 mgls. y con un criterio bastante amplio, ya que existen grandes espacios que se han de rellenar en futuras expediciones, en los que sólo de un modo aproximado puede seguirse la marcha de esas líneas.

Lo primero que llama la atención al analizar este que pudiéramos llamar bosquejo gravimétrico, es la existencia al NE. de Palencia de una gran anomalía negativa que se sigue perfectamente, pese a la pequeña densidad de estaciones en esta zona. Por supuesto que esta anomalía viene algo enmascarada por el gradiente regional, que no intentamos eliminar en esta ocasión por la característica poco precisa del trabajo, pero que podrá ser conveniente tener en cuenta en futuras interpretaciones, una vez completado el estudio.

Los valores máximos obtenidos se encuentran en el extremo NO. de la zona investigada. Esto hace ya patente lo interesante que es ampliar el trabajo, rellenando de estaciones esta región para determinar el alcance de esta gran anomalía.

Como se ve, se trata de una extensa zona de altos valores gravimétricos, que debe probablemente su origen a una de las ondulaciones profundas del subsuelo. Decimos esto porque es claramente evidente que los estratos miocenos no han podido sufrir en esta región un plegamiento tan marcado, pues lo hubiéramos comprobado superficialmente.

Esta anomalía parece prolongarse hacia el Este de Palencia, conservando una dirección ENE.-OSO., pero con su trozo más profundo en el borde oriental del plano.

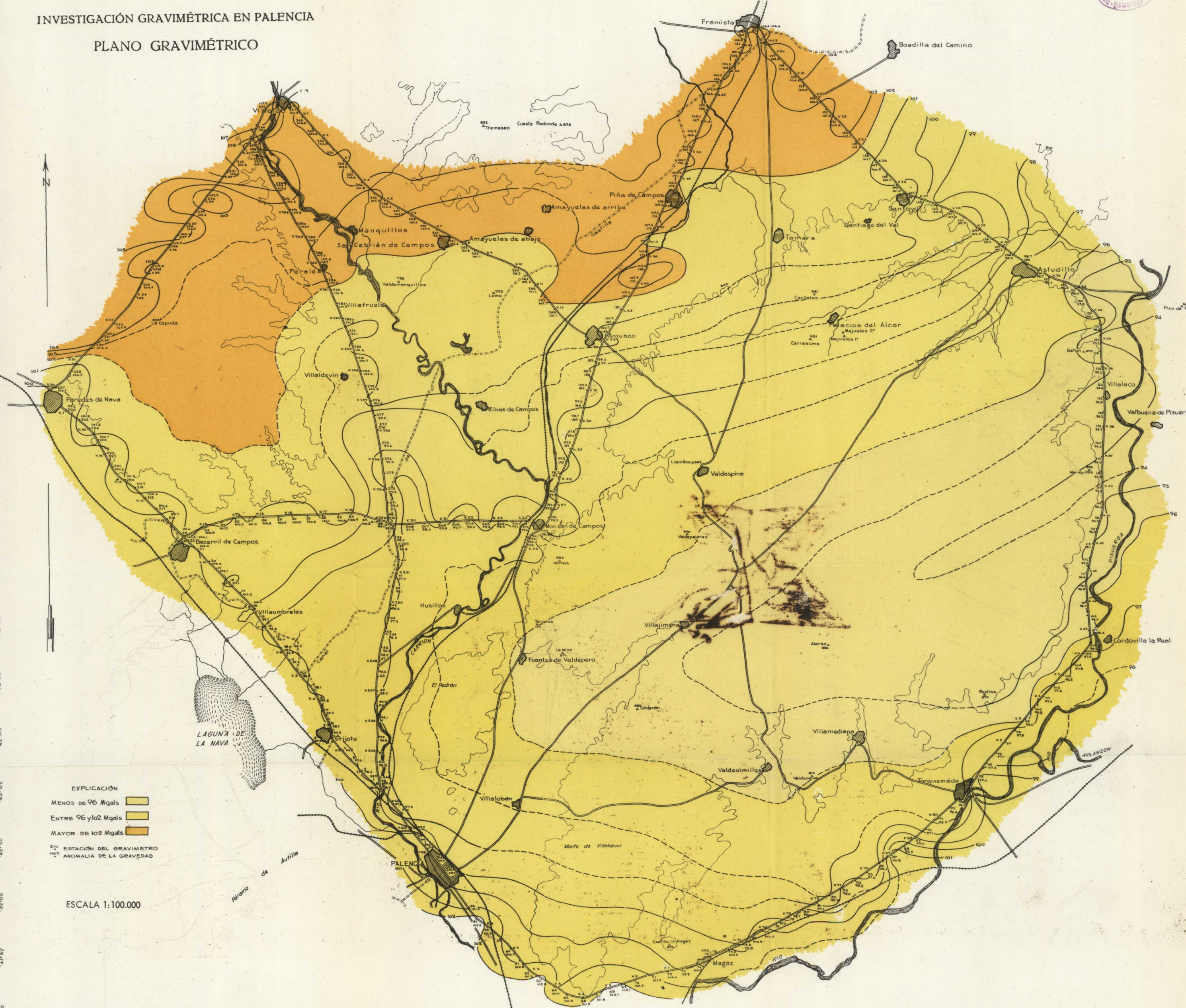
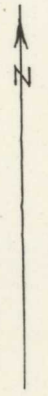
Insistimos en que es de gran interés un futuro estudio detallado de esta anomalía en toda su extensión, prolongando su reconocimiento tanto hacia el NO. como al NE. de Villabuena de Pisuerga, pero también al SO. de Palencia. Una vez bien completado este estudio, e incluso obtenidas las anomalías residuales, calculando teóricamente las que originarían masas o estructuras hipotéticas com-



INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN PALENCIA

PLANO GRAVIMÉTRICO

M. gals
 LATITUD
 GRADOS
 41° 50' 00" 980.357
 41° 51' 00" 980.359
 41° 52' 00" 980.361
 41° 53' 00" 980.365
 41° 54' 00" 980.369
 41° 55' 00" 980.371
 41° 56' 00" 980.375
 41° 57' 00" 980.379
 41° 58' 00" 980.381



- EXPLICACIÓN
- MENOS DE 96 Mgals
 - ENTRE 96 y 102 Mgals
 - MAYOR DE 102 Mgals
 - ESTACIÓN DEL GRAVIMETRO
 - ANOMALIA DE LA GRAVEDAD

ESCALA 1:100.000

parables con la red existente, podremos lanzarnos a una interpretación tectónica racional.

IV. Conclusiones

De todo lo expuesto anteriormente se desprenden las siguientes conclusiones:

1.^a Se ha descubierto una gran anomalía negativa que se extiende desde Grijota hasta Villabuena de Pisuegra, con valores mínimos en este pueblo.

Debe interpretarse como una gran vaguada geológica que, dadas las características porosas del subsuelo tortoniense, ha de ser interesante desde el punto de vista acuífero. Se recomienda un estudio más detallado de la posible cuenca hidrológica, cuya inclinación parece producirse hacia Villabuena.

2.^a Existe una anomalía positiva al NO. de Villoldo y Paredes de Nava, que será conveniente determinar mejor en cuanto a su extensión. Esta anomalía, en el caso de confirmarse como estructura anticlinal, puede ofrecer un cierto interés, tanto en lo que se refiere a la prospección del Carbonífero como a la del petróleo.

3.^a Una vez terminada la investigación gravimétrica, convendrá aplicar el método sísmico sobre la presunta estructura para confirmar su existencia, apoyándonos en la marcha y profundidad de posibles calizas del Terciario antiguo o del Cretáceo.

CAPÍTULO XIX

INVESTIGACIÓN HIDROLÓGICA, POR EL MÉTODO ELÉCTRICO, EN ALMERÍA

I. Antecedentes

El Instituto Nacional de Colonización solicitó del Instituto Geológico y Minero de España un estudio hidrológico de la región occidental de Almería, comprendida entre el caserío de Agua Dulce y el pueblo de Dalías, a fin de conocer las posibilidades de obtener agua con destino al riego en aquella comarca, debiéndose indicar las obras de captación necesarias si así lo aconsejara el resultado del mencionado estudio.

La superficie elegida a tales efectos está limitada (véase el plano general) por dos meridianos que pasan, respectivamente, por los aludidos poblados, y por dos paralelos, uno de los cuales pasa sensiblemente por la carretera general de Málaga a Almería, y el otro por el pueblo de Félix. Comprende esta superficie reconocida alrededor de 25 kilómetros de longitud por ocho de anchura, o sean 200 kilómetros cuadrados en cifras redondas, de los cuales, a excepción de unos 30 aproximadamente, que comprende la zona llana del Sur, todo es accidentado.

Hemos de advertir que sólo se han fijado con exactitud

dentro de dicha superficie las alturas topográficas del pueblo de Dalías y Barrio de Celín, por haber sido tomadas de la hoja de Adra, publicada por el Instituto Geográfico y Catastral de España. Las demás son cotas de relieve aproximado, toda vez que está sin publicar aún por dicho Centro la hoja limítrofe por Levante, que nos hubiera sido muy útil, habiéndonos servido, en su defecto, de observaciones barométricas y referencias de otros planos de poco detalle topográfico. Por todo lo cual, los contornos geológicos que señalamos no tienen completa exactitud, aunque sí la suficiente por zonas para los efectos prácticos que se pretende.

El estudio se ha dividido en dos partes esenciales: la *primera*, con carácter casi exclusivamente geológico, toda vez que la intervención geofísica se concretó a determinar solamente la profundidad teórica de las calizas en la zona de Enix o zona oriental; la *segunda* quedó, por el contrario, circunscrita al establecimiento de una cortina de sondeos eléctricos en el borde mismo de la sierra y comienzo de la llanura (véase el aludido plano general), sin otra intervención geológica que la derivada de la relación superficial de ambas unidades; es decir, subordinada principalmente al estudio puramente geofísico.

La principal razón de esta división y aplicación obedece a los deseos concretos del referido Instituto de Colonización de saber: de una parte, la forma de conseguir agua de pie mediante galerías de captación en la zona de sierra, donde por las circunstancias topográficas que en ella concurren, no es prácticamente eficaz la aplicación de los métodos geofísicos más que en forma muy limitada y con enormes dificultades y errores. De otra parte, la determinación de niveles acuíferos en la zona baja, donde la geología tiene escaso horizonte y se entra de lleno en el cam-

po de la geofísica aplicada y, en nuestro caso, en el del método de sondeos eléctricos empleado (*).

II. Descripción geográfica

FISIOGRAFÍA.—Constituyen la región de referencia dos unidades, perfectamente definidas en el orden geográfico, y diferenciadas entre sí: una, representada por la estribación meridional de la sierra de Gádor, de exuberante y variado relieve, y la otra, por el contrario, de suave y casi uniforme caída desde el pie de la sierra hasta el mar.

El relieve de la estribación está constituido por una serie de altitudes comprendidas entre las cotas extremas de 2.000 y 150 m. sobre el nivel del mar, correspondiendo la primera a la loma de Lubín, de la aludida sierra, y la segunda a la altitud media aproximada de su enlace superficial con la llanura. Entre ambas altitudes se distribuye una variadísima multitud de otras intermedias, coincidentes con sendos picachos y barrancadas, lomas y ramblas, etc., parte de cuyo conjunto se representa, en líneas generales, en el corte geológico, vista panorámica y en los otros complementarios.

La zona llana o tierra baja se extiende entre el pie de la sierra, con cota media de 150 m., y el nivel del mar. Constituye una semiplanicie de pendiente sensiblemente uniforme hacia el borde, sólo alterada de vez en cuando por sencillos altozanos y por las frecuentes erosiones del pedregoso cauce de las ramblas.

(*) En este trabajo ha intervenido, además de todo el personal de Geofísica ya citado, el ingeniero Sr. Orti, de la Sección de Aguas subterráneas.

En su borde oriental está limitada por un espolón o puntal de la sierra que avanza hasta la orilla del mar, donde acaba en forma de abrupto acantilado, sobre el que está labrada en sinuoso y atrevido perfil la carretera general de Málaga a Almería, desde Agua Dulce a la capital.

HIDROGRAFÍA.—Desde el punto de vista hidrográfico está representada por una profusión de ramblas y quebradas diversas, cuyas directrices se orientan, en líneas generales, de N. a S., es decir, desde la sierra hacia el mar.

Todas son de exageradas pendientes dentro de la zona montuosa, y sus márgenes en general de pronunciados escarpes. Su cauce, de marcha divagante o sinuoso, presenta a menudo desniveles abruptos, como el barranco de Enix, en el paraje del Agujero. Son de régimen intermitente y torrencial, y describimos las principales de un modo somero por su importancia orientadora dentro del estudio que nos ocupa.

RAMBLA DE HORTICHUEBLAS.—Es la primera de interés, según vamos de Levante a Poniente.

Tiene como afluente más importante el barranco de la Loma del Arco, que se incorpora a la mencionada rambla por su margen izquierda, en el citado paraje de El Agujero (véase el plano general). Dicho barranco, unido previamente al de Enix, recoge las aguas de escorrentía de aquella zona. Tiene la particularidad de que por cruzar en su recorrido, de brusca pendiente, la que denominamos «Zona oriental de interés hidrológico», tiene puntos de ataque apropiados para captar las aguas internas que procedentes de los altos de Félix y de Marchal deben circular por ese paso obligado.

En las inmediaciones del cortijo del mismo nombre confluyen con ella otras dos pequeñas, la de Los Rincones

y la del sondeo mecánico, y es donde surge en su cauce el único manantial permanente que en ella brota, con un gasto aproximado de tres litros por segundo.

RAMBLA DEL PASTOR.—Menos importante que la precedente es esta rambla. Tiene su origen en un collado próximo al pico de Peñas Negras, y sólo brota en su cauce un pequeño manantial de curso también constante, que se invierte en el riego de unos huertos marginales de poca importancia.

RAMBLA DE VICAR.—Nace de la confluencia de los barrancos de Plateros y de Marchal, en el término de Félix y cercanías del collado de Ratamar. Recoge las aguas de escorrentía de esa zona alta y desciende por las inmediaciones de Vicar, donde surgen a su vez varios manantiales de relativa abundancia que abastecen al pueblo y riegan sus huertos circundantes dentro de un valle atrayente por su lozanía y belleza, en contraste con la aridez de las lomas vecinas.

RAMBLA DE CAÑUBLO.—Siguiendo hacia Poniente se llega a la que recibe el nombre de rambla de los Sauces, en el término de Félix, de donde procede.

En su accidentado curso surgen varios manantiales de pequeño caudal permanente. Brotan y se suman repetidamente a lo largo del cauce, debido a la alteración de caliza arcillosa y de caliza fisurada. Llama especialmente la atención en su curso una zona bastante plegada y sensiblemente concordante con el paso teórico de otra similar de la rambla del Carcáuz, de la que luego hablaremos. En ésta aumenta sensiblemente el caudal, que aprovechan mediante una presita y una acequia para el riego de los huertos de un par de cortijos, denominado uno de ellos el cortijo del Zahorí.

RAMBLA DEL CARCÁUZ.—En el extremo occidental de la

zona que denominamos «Zona central, sin interés hidrológico», y sin afectarla apenas, toda vez que está alimentada casi por completo por la «escama» occidental inmediata, se encuentra esta interesante rambla, que discurre, como su precedente, por el término de Félix, en curso accidentado y tortuoso.

En el paraje de El Arco, nombre debido sin duda a la existencia de un acueducto que cruza la rambla cerca del origen, surge un manantial permanente, coincidiendo con un trastorno estratigráfico, cuyo caudal se estima en unos 20 litros por segundo. Dicho manantial, denominado El Nacimiento, está aprovechado y conducido mediante una acequia de unos dos kilómetros de longitud, que vierte a un molino situado a la salida del monte y paraje conocido con el nombre de Casablanca, donde empieza el valle y cuyas tierras se riegan con ella.

Es dicha rambla la más importante de todas las enumeradas, tanto por su desarrollo como porque bordea la zona occidental y de mejor disposición estratigráfica. Además es donde se encuentran lugares más apropiados para realizar captaciones por medio de galerías.

RAMBLA DE BERNAL.—Muy cerca de la anterior, y circundando por Levante el peñón que lleva el mismo nombre, se extiende esta rambla, cuya particularidad favorable es que corta la misma estructura estratigráfica, donde surge un nuevo manantial, pero no tan abundante (unos 1,5 litros por segundo aproximadamente).

Es de cauce pedregoso y perfil más agrio, hasta el punto de que la acequia en ella establecida para la conducción del expresado caudal se desarrolla en términos que tiene pendientes que superan el 30 por 100.

Su importancia radica, como ya hemos dicho, en que confirma el mismo accidente tectónico con su secuela de

repliegues y roturas de extremo interés en el presente estudio.

MANANTIALES DE CELÍN Y FUENTENUEVA.—No detallamos los otros dos barrancos que se suceden inmediatos a Poniente de la rambla de Bernal, llamada de la Maleza y del Águila, por no quedar bien recorridos en nuestra visita, pero sin duda cortan a la misma estructura y deben estudiarse con detalle en planes futuros. Daremos, sin embargo, cuenta de los dos manantiales situados más a Poniente, que son los más importantes de toda la región.

Manantial de Celín.—Se denomina así por alumbrar sus aguas en las cercanías del así llamado barrio de Dalias. Es el manantial más antiguo y está destinado totalmente al abastecimiento del pueblo y vega inmediata del mismo.

Su caudal es de unos 100 litros por segundo, con muy escasas variaciones durante el año, según manifestaciones del encargado de su distribución y vigilancia, incluso en el verano, durante el cual a veces más bien aumenta, en vez de decrecer como es corriente en la mayoría de los manantiales, dato de extrema importancia porque afirma nuestra creencia de una posible comunicación interna con el macizo de Sierra Nevada por medio de estructuras adecuadas o de fallas.

Manantial de Fuentenueva.—Kilómetro y medio más hacia el SE. del anterior, y algo más bajo de nivel topográfico, se halla dicho manantial de nuevo alumbramiento.

Su caudal oscila entre los 100 litros por segundo y los 130 que alcanza a menudo, según referencias del lugar. Su galería de captación es recta y de dirección NE. Tiene 800 m. de longitud atravesando calizas; sigue en 130 más sobre launas, volviendo de nuevo a las calizas, donde se encuentra actualmente.

Su origen es el mismo que el del anterior y ofrece las mismas características en la marcha de su caudal.

III. Reseña geológica

ESTRATIGRAFÍA.—En el orden geológico se estiman, lo mismo que en el geográfico, dos unidades bien definidas: la representada por el macizo de la sierra de Gádor, de pronunciada y violenta estructura, cruzada de accidentes estratigráficos, y la suave y poco alterada sedimentación moderna de la zona llana.

Sus formaciones geológicas se suceden, de mayor a menor edad, como sigue:

ESTRATO CRISTALINO.—Corresponde este sistema al núcleo sobre el cual descansan todas las formaciones sedimentarias que figuran en la región y que iremos enumerando.

Aflora en las cimas de la sierra y se manifiesta también en algunos lugares más bien donde la erosión lo ha dejado al descubierto, tal como en los valles, barrancos y quebradas.

Está representado esencialmente por las siguientes rocas: neis micáceo; micaesquistos de dos micas, aunque predominando la variedad biotita; pizarras talcosas o filadidos y micacitas. Sus bancos están intervenados, según los planos de exfoliación y en disposición cruzada, indistintamente, por vetas de cuarzo en forma discontinua y espesores en general pequeños. Algunas veces el cuarzo se observa en forma de irregulares masas aisladas.

Dicho terreno es el almacén de todos los sistemas filonianos de la sierra, que dieron lugar en otro tiempo a intensas explotaciones de plomo y otros metales, algunas

de las cuales siguen a pequeño ritmo o se hallan en plan de reanudación.

Su estratificación es de disposición muy variada. En general se ciñe a la irregular configuración del propio núcleo, aunque adoptando toda clase de orientaciones, inclinaciones y buzamientos.

La importancia de este núcleo desde el punto de vista de nuestro interés hidrológico se halla en la condición citada, de estar atravesado y cruzado por diferentes sistemas filonianos y fallas, que son, en definitiva, conductos evidentes por donde discurren las aguas, no sólo de lluvia que directamente los alcance, sino las de alimentación lejana de las sierras de Granada, que pueden perfectamente alcanzar dada la corrida y longitud de dichos sistemas y la extensión del núcleo.

ZONA DE «LAUNAS».—En la periferia del expresado macizo arcaico y como constituyendo su envoltura, aparece, allí donde la erosión la deja al descubierto y está acreditada por las labores subterráneas, una especie de aureola muy arcillosa, que en Almería denominan «launas» y en otros lugares, como en Cartagena, «láguenas». A nuestro juicio, son producto de alteración o metamorfismo de contacto cuya edad no consideramos aclarada hasta la fecha.

Dichas launas son impermeables, condición que, por su blandura y fácil arranque y manejo, utilizan los del país para la construcción de terrados, y en el sentido hidrológico permiten la retención de las aguas de circulación interna, provocando su salida allí donde están sosteniendo a la esponja calcárea y se hallan alcanzadas por la erosión, como sucede en las ramblas. Otras veces constituyen balsas internas, cuando es adecuada la posición del núcleo en forma de barreras naturales a las aguas subterráneas del interior.

Se destacan fácilmente, a distancia, por su aspecto lustroso y su colorido típico, de tonos grisáceos, blanquecinos, rojizos y violáceos o vinosos. A lo lejos se confunden con las margas irisadas del Keuper, pero cuando se observan de cerca, no parece se deba dudar en considerarlas como más antiguas, aunque por la ausencia de fósiles no podamos determinar su edad. En algunos lugares se las ve mezcladas e inseparables de los esquistos del núcleo y hasta con un principio de transformación inconfundible.

Triásico. —Apoyado directamente sobre el horizonte de launas o sobre el propio núcleo estrato cristalino, le sucede inmediato un horizonte potente de calizas estratificadas en bancos fuertes. Son en general dolomíticas, de textura cristalina, a veces brechiforme, y otras tableadas y miloníticas, en disposición alternante. No son de abundante ni típica fauna, pero por su facies, análoga a la de algunas regiones próximas debidamente estudiadas, se han clasificado como pertenecientes al tramo superior del sistema Triásico, o bien al Infralías o Retiense, según algunos geólogos.

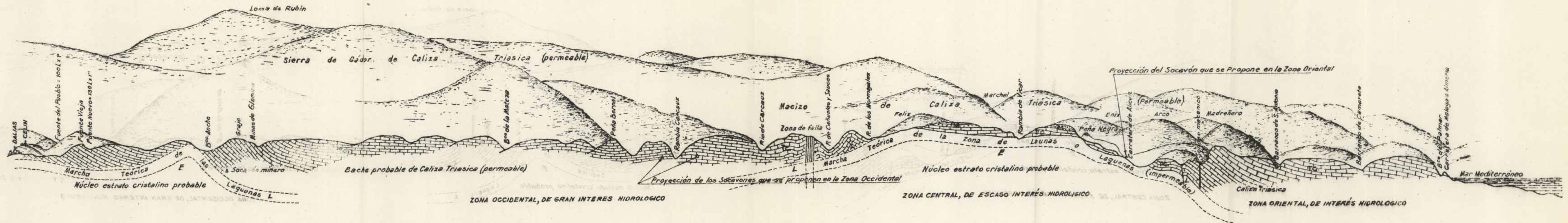
La circunstancia interesante es que se trata de un fuerte espesor de calizas, que si bien su alta compacidad la podría convertir en roca impermeable, se halla tan fisurada y cavernosa, como ya hemos advertido, por la intervención de los numerosos movimientos tectónicos, que la han convertido en una verdadera esponja superpuesta a ese fondo impermeable de launas, que resulta el fondo apto para la circulación y retención de las aguas internas.

Como circunstancia especial y de un modo local, se encuentran, en determinados sitios, esas calizas convertidas en yeso, quizá por acción hidrotermal. Las fases de ese proceso se observan en las zonas en las que aparecen



INVESTIGACIÓN POR EL MÉTODO ELÉCTRICO EN ALMERÍA
 CORTE GEOLÓGICO SEGÚN PLANOS VERTICALES M-N-O-P, PASANDO
 POR DALLAS Y EL SONDEO MECANICO, Y VISTA PANORÁMICA DE LA SIERRA

ESCALAS { Horizontal 1:75.000
 Vertical 1:37.500



las capas con textura arenosa, y cuyos diminutos granos son de naturaleza yesosa. También se manifiesta en bandas de espesores variables, en las que no es difícil hallar partículas de calcopirita con aureolas de transformación y manifestaciones azufrosas. Ejemplos de todo ello se encuentran en las canteras de la rambla de Hortichuelas y en las de las cercanías de Enix, próximo al empalme de su camino vecinal con la carretera de Alicún. También se ve en la loma de las Palomas y en otros lugares más. Esa textura arenosa y el colorido pardoamarillento que imprimen a las zonas donde aparecen, suelen confundir, de lejos, por la semejanza con las formaciones terciarias de la misma región.

MIOCENO.—Este sistema de la serie terciaria se manifiesta en la región ocupando la zona central (véase el plano general).

Está dividido en tres pequeños isleos, separados entre sí por las ramblas de Hortichuelas, del Pastor, de Vicar y del Cañuelo. Sus rocas predominantes son las areniscas pardoamarillentas de grano fino, con alternancias margosas, en las cuales se hallan profusión de equinodermos y lamelibranquios, entre los que hemos encontrado varios moldes y ejemplares no muy completos de *Clypeaster* y *Ostreas*.

La orientación de sus capas es sensiblemente de Levante-Poniente; su buzamiento hacia el S., con ligera tendencia hacia el E., e inclinaciones comprendidas entre 5 y 15°. Su potencia total no es grande, y desde el punto de vista hidrológico, de relativamente escaso interés por ahora.

PLIOCENO Y PLBISTOCENO.—Coronando las formaciones y con mal definida separación entre sí, se extienden estas dos formaciones modernas cubriendo la totalidad de la zona llana o de vega, desde el pie de la sierra al mar.

Comienza por una costra calcárea o travertino que festonea la sierra, sobre la cual se hallan depósitos cuaternarios diversos, formados por repetidas tongadas de materiales de acarreo, con cantos rodados de tamaños muy diferentes, llegando a convertirse en arenas. Estas tongadas cubren la costra y rodean los asomos de areniscas y margas terciarias, localizadas hacia la parte del Egido.

Su sedimentación es horizontal o con ligera pendiente hacia el mar.

ROCAS HIPOGÉNICAS.—Dentro de esta zona baja se observan varios altozanos o cotorros que concuerdan con apófisis eruptivos, sobre los que se distribuyen algunas canteras. Suelen estar coronados por un manto de conglomerados poligénicos no muy compactos, en algunos sitios en forma de pliegue anticlinal, como ocurre en el propio camino vecinal de Vicar, en el codo de su misma rambla, sin duda producido por la propia erupción postpliocena.

TECTÓNICA LOCAL.—Observando la marcha general de las capas, que es, como ya hemos advertido, de Levante a Poniente, y sus buzamientos de marcada tendencia hacia el mar, además de repetirse en sus flancos pliegues secundarios de generatriz paralela a la sierra, se deduce claramente que la dirección principal del empuje fue de Norte-Sur.

Otro esfuerzo de dirección normal originó la elevación parcial de éste en la zona central y en la de Dalías, y el hundimiento de la zona occidental intermedia y de la oriental hacia el golfo de Almería, según se expresa en el corte longitudinal. Estos movimientos se han traducido en el desprendimiento de parte del bloque meridional de la sierra en trozos o escamas de resbalamiento sobre el núcleo arcaico.

Posteriores movimientos del suelo, producidos por los derivados del accidente tectónico principal y las sucesivas erupciones postpliocenas, de las que son testigos evidentes los asomos hipogénicos de que hemos hecho mención, acabaron de perfilar la estructura de la región en los términos que en la actualidad se observa. Es decir, compuesta por esas grandes y pequeñas escamas calcáreas, rellenando los baches o zonas de hundimiento y flotando aisladas sobre el núcleo por efecto de posteriores erosiones. Todo ello favorecido, sin duda, por el descenso del Mediterráneo en esa zona.

Los tres cortes geológicos, hechos según las respectivas trazas de los socavones o galerías de captación que se proponen, y el corte general, expresan gráficamente cuanto en el sentido estratigráfico y tectónico dejamos expuesto, y de ellos se deduce la configuración del núcleo fundamental, la marcha del horizonte de «launas», de tan gran interés hidrológico por su efecto de retención de las aguas internas, y la disposición de la que denominamos esponja calcárea superpuesta.

IV. Consideraciones hidrológicas

Reflejo de cuanto hemos dicho son los cortes geológicos que se incluyen, los cuales, en unión del plano general, aclaran la división que hemos hecho en tres zonas en cuanto se refiere al interés hidrológico de la región estudiada. Las circunstancias respectivas de cada una son las siguientes:

ZONA ORIENTAL.—No la consideramos como la de mayor interés debido a que por la disposición de la zona calcárea que constituye la esponja, buzando esencialmente ha-

cia Levante, lo mismo que el horizonte de launas en esa parte del macizo y a la profundización rápida de su contacto, no es completamente apropiada para la fácil captación de aguas de pie.

Hay, sin embargo, una parte que puede ser útil a tales efectos, y esa es la que corresponde al estrecho geológico descubierto en las cercanías de Enix, que ha de ser paso evidente de las aguas altas del macizo entre Félix y Marchal y podrán captarse. Volveremos sobre ella para proponer determinadas labores de captación.

ZONA CENTRAL O DE VICAR.—A nuestro juicio tiene poco interés esta zona a los efectos que se pretenden, porque, como se observa en el plano, se trata de una escama del bloque general de calizas aislada por el asomo de launas que la circunda y, consecuentemente, las posibilidades de agua captable por socavón han de quedar subordinadas principalmente a la capacidad de recepción meteórica de la pequeña superficie que tiene.

Queda, naturalmente, la posibilidad de que, por alguna fractura del núcleo cristalino o por filones en dirección y comunicación con la parte alta de la sierra, haya circulación de agua, pero esto es muy difícil de determinar y ha quedado eliminado *a priori* de nuestro estudio.

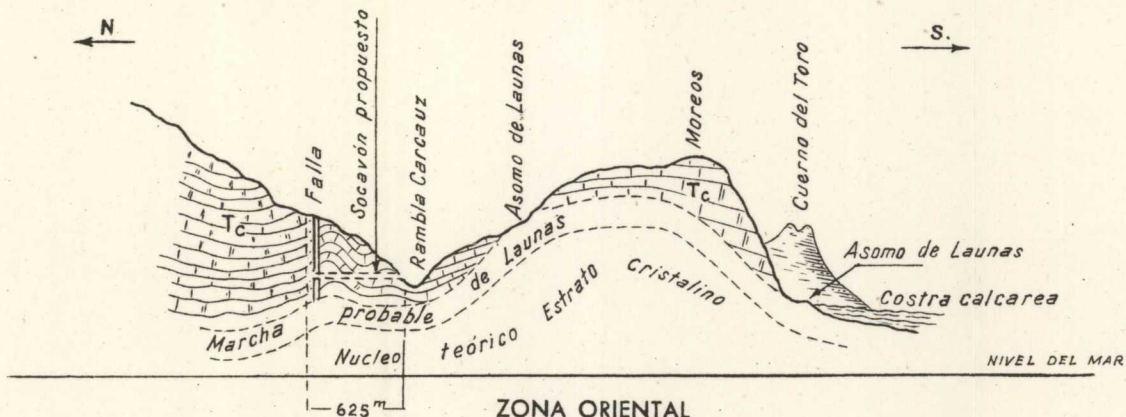
ZONA OCCIDENTAL.—La reputamos del mayor interés, entre las recorridas, no sólo por la gran extensión de la zona calcárea, sino por la disposición en forma de cuenca de la misma y por la profusión de grietas que la cruzan, por la existencia de pliegues y repliegues en sus capas que pueden formar cobijaduras y, por último, por los brotes naturales que se observan en determinados lugares de las ramblas, algunos de los cuales son de gran importancia.

Las posibles cobijaduras del núcleo y su cobertera de launas entre las capas calcáreas, pueden dar lugar a acu-

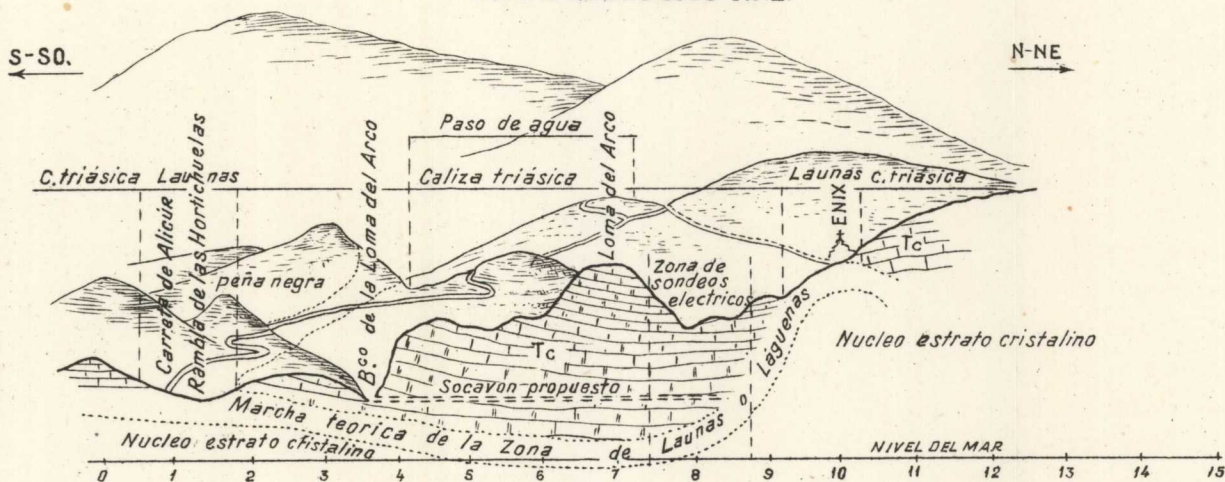
INVESTIGACIÓN POR EL MÉTODO ELÉCTRICO EN ALMERIA

ZONA OCCIDENTAL

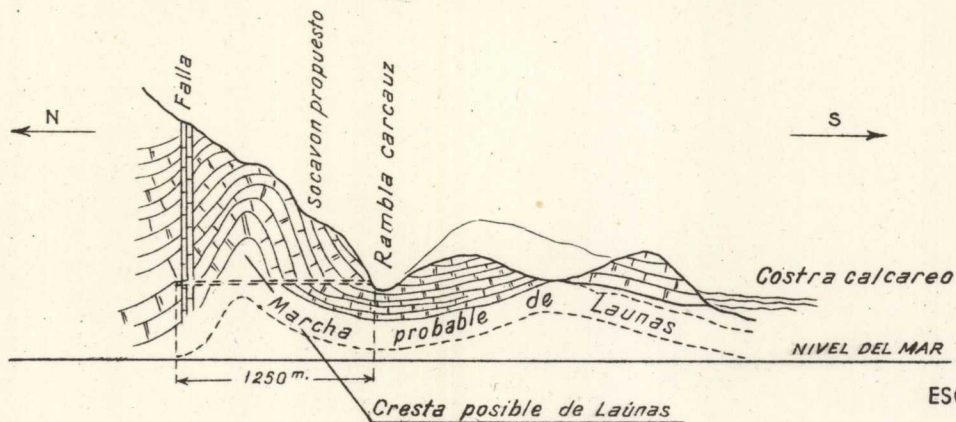
CORTE GEOLÓGICO POR EL SOCAVON N.º 1. PROPUESTO



ZONA ORIENTAL CORTE GEOLÓGICO NNE.



ZONA OCCIDENTAL CORTE GEOLÓGICO POR EL SOCAVÓN N.º 2. PROPUESTO



ESCALAS { Horizontal 1:50.000
Vertical 1:25.000

mulaciones de agua subterránea en forma de embalse, posiblemente alimentada por fracturas del propio núcleo; algo parecido a lo que ocurre en los manantiales de Dalías. Todo ello nos hace considerar a esta zona como de grandes posibilidades hidrológicas y, concretamente, como la más importante del estudio que nos ocupa.

V. Elección de lugares y labores para la captación de agua de pie

Prescindiendo de las zonas llanas del S., subordinadas a los resultados de la intervención geofísica y que se tratan en epígrafe aparte, surge, como consecuencia de lo expuesto, la posible captación en la parte de sierra, haciendo labores mineras en las condiciones más económicas.

En cuanto a la zona central, queda descartada por tratarse de estructura anticlinal, con pequeño espesor y extensión de calizas y estar ya sangrada en gran parte con los alumbramientos existentes.

Queda en consecuencia, como solución inmediata, el abordar el problema en las zonas laterales: la oriental o de Enix y la occidental o de Dalías, cuyas circunstancias reflejamos como sigue:

ZONA DE ENIX —Por las razones ya expuestas al ocuparnos de esta región, elegimos como labor de alumbramiento más indicado un socavón de sección apropiada y en dirección oblicua a la disposición del estrecho geológico, cuyo punto de arranque ha sido ubicado en las inmediaciones del cruce del barranco de Enix; el trazado está de acuerdo con las deducciones geofísicas tratadas más adelante.

El mencionado lugar se encuentra en la rambla de

Hortichuelas, paraje conocido con el nombre de El Agujero (véase el plano general y corte geológico).

El espesor de las calizas en dicho estrecho, según los resultados obtenidos de los sondeos eléctricos, es superior a 100 m. en los lugares donde fueron efectuados. Por lo tanto, es de suponer un desarrollo para el proyectado socavón del orden de dos kilómetros para llegar a las launas en su extremo norte. Podrán encontrarse antes porque el fondo del estrecho no será uniforme, como indica el corte, pero será conveniente seguirle hasta salvar por completo la zona calcárea.

El desarrollo de dicha labor puede ser superior a dos kilómetros, no sólo porque no alcance las launas antes en la dirección señalada, sino porque si sigue su piso en calizas y no diera agua suficiente, sería conveniente derivarla en labor transversal hacia la izquierda, hasta topar con launas y seguir su contacto. Pero estos detalles deberán ser motivo de mayor estudio.

ZONA OCCIDENTAL.—Entre los distintos puntos de ataque posibles en esta zona, que los tiene diversos por su gran desarrollo y variadas ramblas, consideramos de interés preferente para un rápido tanteo inmediato, la rambla del Carcauz.

Dicha rambla corta una importante estructura anticlinal y de falla en el paraje conocido por El Nacimiento donde, como ya dijimos, brota un manantial cuyo caudal aproximado es de 20 litros por segundo.

La estructura prosigue a Levante y Poniente. En el rumbo primero y pasada la cercana rambla del Cañuelo afloran las launas a corta distancia, limitando las posibilidades de alumbramiento; pero, en cambio, hacia Poniente, se extiende la escama calcárea y prosigue el accidente estratigráfico en muchos kilómetros.

Son, por lo tanto, esos lugares los más indicados para la ubicación de la primera labor de captación, y a tales efectos señalamos los dos puntos mejores que pueden elegirse dentro de la rambla. Las circunstancias de cada uno de ellos son las siguientes:

El más cercano al alumbramiento actual tiene el inconveniente de esa misma cercanía, aunque se halla a la distancia legal con exceso. Se encuentra en un codo de la rambla situado alrededor de 500 metros aguas abajo del arco por donde cruza la acequia dicha rambla. La longitud del socavón se aproximará a los 625 m. hasta el corte teórico del paso de la falla.

El más alejado corresponde a otro codo de la misma rambla, al kilómetro poco más o menos aguas abajo del anterior. La longitud de este segundo socavón será de unos 1.250 metros a los mismos efectos, con la ventaja sobre el anterior de estar emplazado en una cota de nivel unos 15 metros más baja, pero con el inconveniente de ser de mayor tiempo y mayor coste de ejecución.

La disposición y clase de terreno que ambas labores han de atravesar son prácticamente iguales y queda reflejada en los dos cortes geológicos respectivos.

Es de advertir que para la fijación de dichas labores, sea cual sea la elegida, y para compararlas, será conveniente un levantamiento topográfico y nivelación por alturas del perfil de la rambla, antes de iniciarlas, advertencia extensiva a la zona de Enix.

Hemos de añadir, acerca de estas labores de captación, que no es la rambla citada la única que presenta puntos de ataque favorables, sino que son los considerados como más apropiados para un primer y rápido intento, en las circunstancias presentes.

Dentro de la misma zona hay otros lugares de igual in-

terés. Especialmente sería conveniente el levantamiento topográfico de dos socavones ya existentes en los barrancos denominados Ancho, próximo al alumbramiento de Puente Nueva, en Dalías, y el del barranco del Lobo, vecino de aquél por Levante.

VI. Estudio geofísico

La actuación geofísica se ha limitado a determinar el fondo de las calizas en unos lugares y a deducir la constitución del subsuelo por sus características eléctricas en el llano. Esto ha servido al mismo tiempo para descubrir el paso de dos fallas o accidentes transversales de mucho valor, desde el punto de vista hidrológico.

El método empleado ha sido el eléctrico, de resistividades en forma de líneas de sondeos, lo que hemos traducido además en perfiles de resistividades, cuyos resultados han sido de gran utilidad.

Las condiciones del terreno eran francamente malas, debido al difícil contacto de los electrodos en el suelo y al poco paso de corriente en terrenos tan secos y resistentes como las calizas y la costra calcárea pliocena o cuaternaria. Esto, unido a la accidentada topografía a que da lugar la forma de erosión de las calizas, han limitado mucho la aplicación de nuestros métodos.

En cuanto a los gráficos eléctricos, no debemos fijarnos en los valores absolutos de resistividad obtenidos, sino en los aparentes o relativos, y aun así nos hemos visto obligados a aplicar procedimientos propios especiales de interpretación, como son la integración de las cur-

vas, para llegar a los resultados que damos en conjunto (*).

El equipo empleado fue el ya clásico en esta Sección de Geofísica, y que lleva el nombre de «Aparato Siñeriz».

El trabajo se llevó a cabo en cinco zonas, cuyo estudio analizamos a continuación bajo los siguientes epígrafes:

- a) Zona meridional de la Sierra de Gádor.
- b) Zona de Enix.
- c) Zona de Roquetas del Mar.
- d) Zona de Félix.
- e) Zona del sondeo mecánico.

A) ZONA MERIDIONAL DE LA SIERRA DE GÁDOR.— En esta zona efectuamos un perfil de sondeos eléctricos, bordeando la falda de la montaña y en una extensión comprendida entre la carretera de Alicún y la de Dalías. Hicimos un total de 53 sondeos, con una profundidad máxima de investigación de 300 metros. La distancia mutua entre sondeos, si bien variable de un punto a otro, oscila alrededor de los 300 metros.

En el plano horizontal que se adjunta se han situado a escala los sondeos con su numeración correspondiente:

Con los sondeos eléctricos han podido trazarse los perfiles de resistividad que incluimos en la presente Memoria, y que corresponden a profundidades de investigación de 50, 100 y 200 metros.

Interpretación de los perfiles de resistividad.— Para llevar a cabo esta interpretación, hemos de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

(*) Como de costumbre, no publicamos más que algunos gráficos eléctricos.

a) La escala estratigráfica de esta zona, partiendo de la superficie del terreno, es la siguiente:

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1. ^a Costra calcárea, generalmente de poco espesor (de 0,50 a 2 metros) | Plioceno. |
| 2. ^a Sedimentos margo-arenosos | Mioceno. |
| 3. ^a Calizas dolomíticas compactas, aunque fisuradas generalmente | Muschelkalk. |
| 4. ^a Láguenas o launas (pizarras muy metamórficas, arcillosas y sericíticas) | Triás o Estrato cristalino. |

b) El orden de magnitud de las resistividades que pueden llegar a tener estos sedimentos es muy variable, pero *grosso modo*, podemos establecerlos en esta zona entre los límites medios siguientes:

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. ^o Costra calcárea | De 500 a 1.000 Ω /m. |
| 2. ^o Sedimentos margo-arenosos .. | De 100 a 300 — |
| 3. ^o Calizas dolomíticas | De 700 a 2.000 — |
| 4. ^o Launas | De 50 a 200 — |

Repetimos que estas cifras no son absolutas, y sólo las damos a título de orientación. Por ejemplo, unas launas mojadas pueden llegar a tener resistividades tan pequeñas como 20 Ω /m. y mucho menos. Unas calizas fisuradas e impregnadas de agua salobre pueden dar lugar a resistividades del tipo de 100 Ω /m. y aun menos.

Con este inciso, pasemos a estudiar los perfiles de resistividades.

En primer lugar, llama la atención el paralelismo aproximado que existe entre las curvas correspondientes a las tres profundidades de investigación, 50, 100 y 200 metros. Indica esto que los saltos o desplazamientos que se manifiestan junto a las fallas han sido importantes y alcanzan, por lo tanto, a las tres profundidades de medida.

En segundo lugar, la curva correspondiente a los 200 m. va, en general, por debajo de las otras dos, o sea con valores inferiores, cosa evidente también si tenemos en cuenta que, a medida que profundizamos, son las launas las que van haciendo sentir más sus efectos, con la consiguiente disminución de la resistividad aparente.

El examen de los perfiles de resistividad permite dividir la zona reconocida en varios tramos, según su resistividad media:

Tramo	Empieza en el sondeo	Termina en el sondeo	Resistividad aparente media
1. ^o	49	40	500 Ω /m.
2. ^o	39	34	700 —
3. ^o	33	24	300 —
4. ^o	24	18	Prácticamente nula
5. ^o	15	4	150 Ω /m.

Los tramos 1.^o y 2.^o están separados por una falla, cuya traza está aproximadamente entre los sondeos 40 y 39. Esta falla ha hecho descender el bloque comprendido en el tramo 2.^o y subir el del tramo primero. Con ello las launas se han acercado a la superficie y han hecho menor la resistividad aparente.

Entre el tramo 2.^o y el 3.^o existe otra falla, cuyo paso se encuentra entre los sondeos 33 y 34. Su efecto ha sido elevar el tramo 3.^o con relación al 2.^o, con lo que las launas han quedado prácticamente en la superficie, con las salvedades que diremos al interpretar los sondeos eléctricos. El examen de éstos ya permite suponer la existencia de esta falla, pues los valores correspondientes al tramo 2.^o son totalmente distintos de los del tramo 3.^o

Dentro de la misma zona 3.^a, y entre los sondeos 30 y 31, hay otra posible falla o accidente, que reflejan débil-

mente los perfiles de resistividad, pero que acusan los sondeos eléctricos por la discrepancia de forma existente a ambos lados de dicho accidente.

El tramo 4.º es algo francamente curioso; en él las resistividades son insignificantes, hasta llegar a cero en muchos puntos. Geológicamente aparecen en la superficie varios asomos hipogénicos, y hay señales de alteración. Evidentemente se trata de una zona de gran trastorno, en la que hubo reciente (¿pliocena?) actividad volcánica, con sus correspondientes desprendimientos líquido-gaseosos característicos de este tipo de erupciones. Por este motivo las aguas son aquí bastante salobres y su existencia a profundidad moderada es la que ha originado como un cortocircuito al paso de la corriente eléctrica y, por tanto, dando origen a una resistividad prácticamente nula. Obsérvese que los sondeos eléctricos dan valores pequeños en su parte inicial, llegando a ser nulos en nuestro aparato cuando al aumentar la profundización de los filetes de corriente penetran en la zona salobre, muy conductora.

Consecuencia de este empuje hipogénico fue el arrastre hacia la superficie de las launas que aquí se encuentran aflorando. Así, el sondeo n.º 19 está claramente en launas en toda su extensión, y lo mismo ocurre con el número 23, que con el 29 flanquean la zona de trastorno y salinidad.

Respecto al tramo 5.º poco interés despierta, salvo que las launas forman el substratum de los sedimentos modernos. Aparte de ello, la forma de los sondeos indica que la falla existente a lo largo de la rambla de las Hortichuelas no ha sido cortada por el perfil y, por tanto, se encuentra más a Levante de la mencionada rambla.

Interpretación de los sondeos eléctricos. — Teniendo en cuenta las consideraciones ya hechas en el epígrafe

anterior, podemos pasar a interpretar los sondeos eléctricos.

En el tramo 1.º (sondeos 40 a 49) todos los gráficos tienen el mismo aspecto, manteniéndose la resistividad prácticamente constante hasta los 300 m., profundidad máxima de investigación.

A nuestro modo de ver, el primer horizonte de estos sondeos está formado por los terrenos mio-pliocenos modernos, e inmediatamente debajo están las launas. Ahora bien, la resistividad encontrada para éstas, que es del orden de los 400-500 $\Omega/m.$, inferior a la normal de las calizas y superior a la de las launas, hace sospechar que este terreno está constituido por lo que en esta región conocen como launas blancas y que no son otra cosa que una alternancia de calizas y pizarras metamórficas amarillentas, que muchas veces son la transición entre las calizas y las launas propiamente dichas. Esto lo decimos con las naturales reservas, pues igualmente podría tratarse de calizas margosas corrientes o de calizas impregnadas de agua, pero es en todo caso un nivel interesante de reconocer.

En el tramo 2.º (sondeos 34 al 39), la forma tipo de los sondeos es diferente en dos aspectos de la de los del tramo primero. En primer lugar hay, con relación al tramo anterior, una elevación de los valores de las resistividades aparentes; en segundo lugar, indican las curvas que va disminuyendo paulatinamente la resistividad a partir de la superficie del terreno y a medida que vamos profundizando. Evidentemente, el cambio en la configuración de las curvas es índice claro que confirma la existencia de una falla entre los tramos 1.º y 2.º, falla que también señalan los perfiles de resistividad.

Aparte de esto es claro que debajo del recubrimiento moderno se encuentran o aparecen las calizas dolomíticas,

que a su vez descansan sobre launas blancas, o sencillamente sobre calizas margosas. La aparición de las calizas en esta zona indica, una vez más, la existencia de la citada falla e indica también el descenso del bloque del tramo 2.º respecto al tramo 1.º

En los gráficos no se han diferenciado más que las calizas y las launas blancas, ya que la costra superficial, desprovista de interés a nuestros efectos y de poco espesor, no es posible determinarla con el espaciamiento de medidas utilizado.

La profundidad a que aparecen las supuestas launas blancas, señalado de un modo aproximado en los sondeos eléctricos, indica que el salto de falla es superior a los 100 metros.

En el tramo 3.º podemos dividir los sondeos en dos grupos. El primero de ellos comprende los sondeos números 31, 32 y 33, claramente sobre launas propiamente dichas, con lo que confirman:

- a) La falla existente entre los tramos 2.º y 3.º
- b) El levantamiento del tramo 3.º respecto al 2.º

Hay dos cosas que, a primera vista, desorientan en estos sondeos, que son los valores máximos que se aprecian al principio del sondeo 32 y al final del 31. El examen del plano horizontal permite evitar una interpretación falsa. En efecto, en ambos sondeos la línea de electrodos tuvo dirección E.-O., y el plano indica que, en esta alineación, se encuentra el llamado Cuerno del Toro, elevación de caliza, seca por su situación, que tuvieron que atravesar los electrodos en su recorrido. Cuando llegaron a este espolón, de resistividad muy elevada, se produjo un máximo en las curvas. Debido a la posición relativa de los sondeos

respecto al crestón, se manifiesta al principio en el sondeo n.º 32 y al final en el 31. Es pues, una anomalía superficial que nada tiene que ver con la constitución del subsuelo.

El 2.º grupo del tramo 3.º comprende los sondeos número 24 al 30, también muy significativos. Desde luego, las medidas en todos ellos son bastante irregulares, pero, no obstante, es el tipo de sondeos tal como suelen encontrarse en las zonas de trastornos. Todos indican la existencia debajo de los terrenos modernos de las láguenas. Las muchas oscilaciones de las curvas se deben, aparte de los efectos que hemos indicado, a variaciones superficiales y a malos contactos de los electrodos de potencial, desgraciadamente inevitables debido a la costra superficial, en ese lugar altamente resistente y de gran dureza. Este es el motivo de que nada más nos atrevamos a decir respecto a estos sondeos. Pase a lo problemático de las lecturas, hay una tendencia a disminuir la resistividad con la profundidad, siendo los valores medios bastante semejantes a los correspondientes a las launas.

En el tramo 4.º nos encontramos con sondeos que dan resistividades muy pequeñas. En varios de ellos, 20, 21 y 22, la resistividad superficial llega a alcanzar un máximo de unos 60 Ω/m . para caer rápidamente hasta valores prácticamente nulos. Esto es característico de las curvas representativas de terrenos en que hay una segunda capa de resistividad casi nula. En este caso atribuimos el fenómeno a la existencia a poca profundidad, probablemente a menos de los 20 m., de una zona acuífera salobre, y por tanto muy conductora. En estos sondeos la forma de la curva de resistividades está enormemente afectada por esa capa anormalmente conductora, y es difícil la interpretación referente a las capas subyacentes.

No obstante, los sondeos 18 y 19, por ejemplo, indican que el substratum se compone, en esta zona, de launas, que humedecidas no obstante por las aguas, dan valores tan bajos como 20 Ω /m.

Los restantes sondeos que hemos incluido en el tramo 5.º son característicos de las launas. Las anomalías en ellos acusadas son debidas a contactos deficientes y carecen de interés.

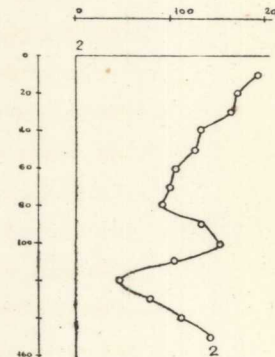
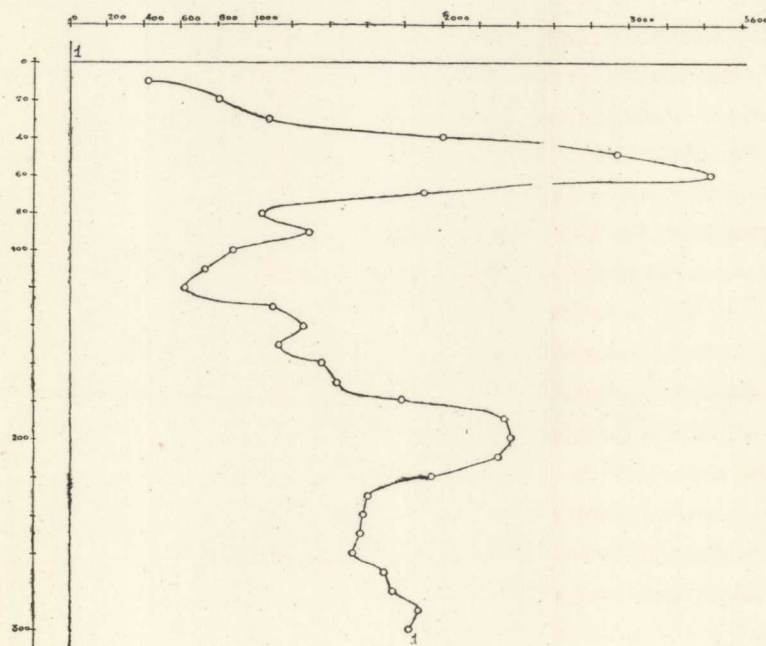
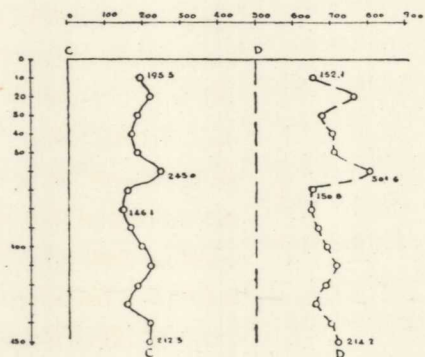
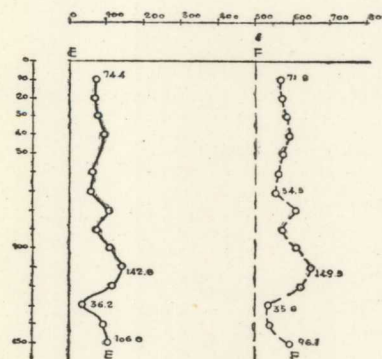
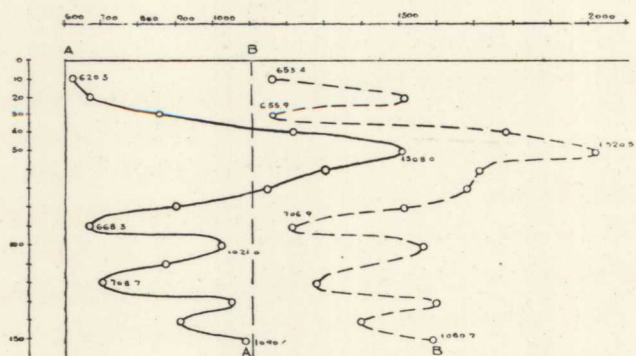
b) ZONA DE ENIX. —Hicimos aquí seis sondeos eléctricos, hasta unos 100 m. de profundidad, en el barranco de las Huertas, próximo a su encuentro con el de las Viñas. La finalidad de ellos era determinar la profundidad de las launas en esta región, ya que, de encontrarse próximas a la superficie, las probabilidades de captar agua aquí en condiciones económicas serían elevadas.

Interpretación de los sondeos eléctricos.—El primer rasgo que llama la atención en todos ellos es el considerable valor de la resistividad aparente. Esto es lógico si pensamos que los sondeos se han hecho sobre calizas, y el hecho de que hasta los 100 m. la resistividad es siempre elevada, indica que las launas se encuentran por debajo de esta profundidad. No se prolongaron más para conseguir mayores penetraciones por dificultades de la extensión de los cables, dada la complicada topografía de esa zona.

c) ZONA DE FÉLIX. —Se hicieron aquí seis sondeos eléctricos, a corta distancia de la carretera de Félix. En el plano horizontal se han marcado éstos, que van señalados de A a F. La profundidad de investigación en cada uno de ellos fue de 150 m. con medidas cada 10 metros (véanse los gráficos).

Interpretación de los sondeos eléctricos. — El examen de los sondeos eléctricos permite dividirlos en dos grupos claramente distintos entre sí.

SONDEOS



Pertenecen al primero de ellos los sondeos A y B, con resistividades muy elevadas y comprendidas entre los 650 y 1.500 Ω/m . Estos sondeos están, pues, sobre las calizas dolomíticas, sin que hayan dejado esta formación a los 150 metros.

Los restantes sondeos, C a F, son totalmente diferentes de los anteriores, si bien análogos entre sí. Las resistividades son pequeñas, con un valor medio de 100 Ω/m , y la forma de los sondeos indica, junto con el dato precedente, que se encuentra sobre launas en toda su extensión.

Hay pues, entre los kilómetros 17 y 19, un estrecho paso subterráneo de agua, que es el que pretendemos captar con la proyectada galería de esa zona.

D) ZONA DE ROQUETAS DEL MAR.—Aquí no hicimos más que el sondeo núm. 2 (véase el gráfico), a corta distancia del pozo en actividad que ha hecho el Instituto Nacional de Colonización en las afueras de este pueblo. Llegó a los 150 metros de profundidad y sirvió para controlar nuestras medidas en sitio conocido.

Interpretación del sondeo eléctrico. — Se encuentra sobre terreno moderno y sus resistividades están dentro de los límites marcados para este tipo de terreno. El hecho de que el gradiente de la curva sea negativo indica que, en profundidad, las capas van haciéndose más arcillosas, aumentando también probablemente su grado de humedad. No hay evidencia de que las aguas procedentes del mar lleguen a este punto, de modo que no creemos que haya peligro de contaminación de las aguas hoy extraídas.

El cambio de gradiente de la curva a los 40 m. señala la presencia del manto acuífero hoy explotado con el pozo.

E) ZONA DEL SONDEO MECÁNICO.—A poca distancia del punto donde se encuentra el sondeo mecánico hecho por el Instituto Nacional de Colonización, hicimos un sondeo

eléctrico que lleva el n.º 2 (véase el gráfico), que llegó a los 300 m. de profundidad, con la idea de determinar la profundidad de las launas en este punto, ya que en su contacto con las calizas es donde debía encontrar el agua.

Interpretación del sondeo eléctrico. — El simple examen del sondeo permite interpretar que en este sitio las launas no se han encontrado a la profundidad de 300 m. En efecto, las resistividades halladas son muy grandes y la resistividad crece en función directa con la profundidad, cuando, de existir launas dentro de la zona de medida, debería disminuir. No se puede, pues, considerar que se han alcanzado las launas en este sondeo eléctrico, así como tampoco creemos, por los testigos extraídos, que se haya llegado a ellas en el sondeo mecánico con sus 292 metros.

Los máximos y mínimos locales se deben a variaciones dentro de la masa de calizas. Es probable que a los 60 y 200 metros las calizas sean muy secas y compactas, y a los 120 húmedas y con algo de arcillas en sus fisuras.

Conclusiones del estudio eléctrico. — Como consecuencia de todo lo expuesto se desprenden las siguientes conclusiones:

- 1.ª Se han localizado geofísicamente varias fallas cuya traza se marca en el plano horizontal.
- 2.ª Son aconsejables para captación de aguas subterráneas mediante pozos las zonas comprendidas entre los sondeos 40 y 39, 33 y 34 y 24 y 30. Al llegar a los niveles acuíferos conviene emboquillar galerías de dirección Este-Oeste, con lo que se incrementará el caudal obtenido, al cortar fallas o contactos muy inclinados de interés hidrológico.
- 3.ª Está desprovista de interés para captar aguas a poca profundidad la zona que rodea los sondeos 20 y 21, donde las aguas deben ser salobres.

VII. Conclusiones

Del presente trabajo geológico-geofísico se deducen las siguientes conclusiones:

1.ª No es recomendable realizar la galería de alumbramiento proyectada con anterioridad a este estudio. Esta galería habría de pasar por el sondeo mecánico del cortijo de las Hortichuelas (Agua Dulce), y seguramente se encontrará en casi todo su largo recorrido (más de tres kilómetros) a un nivel muy superior al único manto acuífero interesante de esa zona. Además, la cantidad de agua que podría recoger al alcanzar el contacto calizas-launas, probablemente después de los 3.500 metros de avance de la galería, en nuestra opinión no será suficientemente grande para justificar una obra de tal magnitud.

2.ª En lugar de la citada galería proponemos otra de mejores condiciones por su posición geológica. Ésta se ha ubicado entre la carretera de Félix a la costa y el pueblo de Enix (véase el plano horizontal). Tiene unos dos kilómetros de longitud, pero probablemente convendrá tirar desde ella una travesía hacia el NO., para intentar cortar el fondo de calizas-launas en esa dirección. La finalidad de esta obra es la de intentar cortar un paso de agua subterránea que debe de correr sobre las citadas launas en dirección SE. para perderse en el mar. Las capas de Agua Dulce están alimentadas en parte por estas aguas.

Hacemos la advertencia de que aunque en el proyecto de galería se la indica como perforada en línea recta, su verdadero recorrido habría de irse modificando a medida de su avance, de acuerdo con las observaciones hechas en su interior.

Sin embargo, no recomendamos se inicie esta obra tan importante hasta después de realizadas las que proponemos a continuación.

3.^a La zona de mayor interés hidrológico entre las reconocidas hasta la fecha se encuentra entre las ramblas de Bernal y de Carcáuz. En ella hemos descubierto un pliegue-falla de dirección ENE., cuyo núcleo de launas ha de servir de barrera o dique a las aguas que, procedentes de montañas más altas del interior, han de alimentar subterráneamente la estructura.

Se proponen y recomiendan dos galerías en dirección NNO. Una de 625 metros y la otra de 1.250 de longitud. Ambas deben de dar bastante agua, drenando suficientemente con galerías de dirección al llegar a la falla. No queremos aventurarnos a dar cifras, pero sí adelantaremos ej. que creemos firmemente que los resultados pagarán con creces las labores que se proponen.

4.^a La zona de Dalías, que se confirma también con grandes posibilidades hidrológicas, es complicada geológicamente, por lo que no nos atrevemos a ubicar nuevas galerías de alumbramiento hasta un futuro estudio de mayor detalle. Sin embargo, adelantamos que partiendo del socavón de la mina de calamina situada en el barranco del Lobo, y también del que existe en el paraje Marichu, ambos sin agua, se podrían alcanzar manantiales de suficiente caudal para justificar las cantidades invertidas en esas nuevas labores.

5.^a La zona que marcamos como *Occidental de gran interés hidrológico*, debe ser motivo de nuevas prospecciones geológicas y geofísicas de detalle.

6.^a En el sector marcado como *Zona central sin interés hidrológico* brotan espontáneamente varios manantiales, precisamente alrededor del pueblo de Vicar. Esto es

debido a que están levantadas geológicamente y aflorando las launas, que la envuelven en forma de cinta separándola de las aportaciones del interior. Pero precisamente por esto, las aguas que pueden llegar a ser aprovechables lo están siendo ya en parte, y seguirán aumentando poco a poco en forma de los pequeños alumbramientos realizados por los vecinos de la localidad, no siendo por tanto un lugar donde el Instituto Nacional de Colonización deba intentar labores que podrían traducirse en un perjuicio para los manantiales hoy existentes.

No se puede negar, sin embargo, que se puede admitir la posibilidad de que existan en el Estrato cristalino, bajo las launas, fallas, grietas o filones que pudieran traducirse en manantiales aprovechables, pero éste es un problema que se sale del alcance de nuestro estudio y no se debe de tener en cuenta por ahora.

7.^a Por último, la investigación geofísica, cuyos resultados han venido complementándose con el estudio geológico, se traduce en lo siguiente:

a) Se determinan en el llano las zonas consideradas como favorables hidrológicamente. Por lo tanto, se indican aquéllas en las que se han de concentrar las aguas subterráneas y las poco recomendables para intentar alumbramientos por pozos.

b) De acuerdo con lo anterior, se determina en el llano entre el barranco de los Cazadores y la rambla de Carcáuz, la zona mejor para esta clase de alumbramientos, por ser la más asequible.

c) Se indica, también en el llano, otra zona de enorme interés hidrológico, pero a profundidades considerables, pues se pasa de los 300 m., según los sondeos eléctricos, sin haberse conseguido el fondo. La zona se localiza entre las ramblas de la Maleza y del Águila. Sin embargo, hacia

los 100 m. existe un cambio de terrenos que conviene investigar con nuevos medios de prospección.

d) Entre las ramblas de Cañuelo y Carcáuz, sondeos eléctricos núms. 33 y 34, se descubre geofísicamente el paso de una falla que puede ser de mucho interés reconocer por pozo y galerías, con probabilidades de encontrar agua aprovechable económicamente.

e) Se comprueban las deducciones referentes a la zona que hemos llamado del sondeo mecánico, o sea que no se debe de perforar la proyectada galería que habría de pasar por él.

f) Entre los Km. 15 y 19 de la carretera de Roquetas a Alicún se descubre, con ayuda de los sondeos eléctricos, un estrechamiento geológico que convendría estudiar con mayor detalle por el mismo método, pues esto nos podría modificar el punto de ataque de la proyectada galería de esa zona.

En resumen, que se aclaran las características geológicas e hidrológicas de una extensa zona, cuyas posibilidades acuíferas son importantes, debido a que se alimentan, sus capas porosas, de macizos montañosos del interior, donde las aportaciones pluviométricas son muy superiores y más regulares que en los lugares donde se pretende alumbrarlas.

ÍNDICE

	Páginas
Prólogo, por el Excmo. Sr. D. José García Sñeriz	v
Cap. I.—Prólogo del autor	1
— II.— Los métodos aplicados	3
— III.— Investigación hidrológica, por el método eléctrico de prospección, en Alicante	29
— IV.— Investigación hidrológica en Ciudad Real, por los métodos eléctrico y gravimétrico	51
— V.— Investigación sísmica en Monforte del Cid (Alicante) ..	67
— VI.— Investigación sísmica en Cistierna	79
— VII.— Investigación hidrológica, por el método eléctrico, en Logroño	103
— VIII.— Investigación hidrológica, por el método eléctrico, en Fiñana (Almería)	113
— IX.— Investigación hidrológica en Los Monegros	127
— X.— Investigación hidrológica, por el método eléctrico, en Los Llanos del Marquesado (Granada)	161
— XI.— Investigación hidrológica, por el método gravimétrico, en San Javier (Murcia)	171
— XII.— Investigaciones magnética y gravimétrica en Bilbao.	189
— XIII.— Investigación geofísica en el Llano del Beal (Cartagena)	205
— XIV.— Investigación sísmica en Avilés (Asturias)	235
— XV.— Investigación sísmica en Baños de la Encina	261
— XVI.— Segunda ampliación a la investigación geofísica de Guardo (Palencia)	283
— XVII.— Investigación sísmica en Bujalance (Córdoba)	303
— XVIII.— Investigación gravimétrica en Palencia	325
— XIX.— Investigación hidrológica, por el método eléctrico, en Almería	339