

LA PROSPECCION GEOELECTRICA CON CORRIENTE CONTINUA Y CASI CONTINUA EN INGENIERIA CIVIL

Por MARIANO FERNÁNDEZ BOLLO, Ingeniero de Caminos

Presenta el autor una sucinta explicación de lo que es la prospección geoelectrónica, y cuatro ejemplos de las interesantes aplicaciones que de ella se hacen actualmente a los trabajos de nuestra profesión.

I

En la práctica de su profesión, el ingeniero encuentra a cada paso dudas respecto a la naturaleza del subsuelo en que ha de cimentar sus obras o que las afecta de manera muy importante, como, por ejemplo, el vaso de un embalse o la zona a atravesar por un túnel. Constantemente ha de recurrir a las calas, pozos de reconocimiento, sondeos u otros medios de alcanzar este subsuelo desconocido, con cuantiosos gastos y pérdida de tiempo.

Por estas razones, resulta de gran interés la utilización de métodos geofísicos, siempre más rápidos y normalmente mucho más económicos, cuando estos métodos son realmente capaces de determinar, con la exactitud precisa, las propiedades que se buscan. Y entre todos los métodos actualmente en uso, se destaca como el más simple y fácil de emplear la prospección geoelectrónica, con corriente continua o casi continua, denominación esta última que se refiere a las corrientes alternas de frecuencia suficientemente baja para no tener que modificar leyes de circulación y que se emplea con ventaja en los casos de polarización o tensiones propias del suelo que enmascararían la observación con corriente continua.

El inconveniente principal de este método geofísico, para el estudio de estructuras tectónicas y prospección minera, se halla en la dificultad de obtener determinaciones exactas a profundidades del orden de centenares de metros, pero para la inmensa mayoría de las aplicaciones civiles estas profundidades no interesan, bastando con alcanzar los cien metros o menos casi siempre. Por otra parte, los accidentes y discontinuidades del subsuelo se reflejan de un modo seguro, ya que la zona afectada por la circulación de corriente influye con todos sus elementos, permitiendo esta circunstancia el descubrimiento de muchos accidentes locales, como litoclasas, fallas cubiertas por derrubios, estrechas zonas profundamente descompuestas o valles encajados estrechos de antiguas erosiones que en sistema de sondeos puede muy bien dejar inadvertido por el carácter de esta exploración.

La experiencia en trabajos de exploración geofísica por otros métodos, como la prospección electromagnética o sismoelástica, con su interpretación más difícil, de las cuales nos ocuparemos en otra ocasión, da más valor a la sencilla prospección en continua, y sólo en determinados casos puede fundadamente aconsejarse la utilización de otros procedimientos para los problemas usuales de cimentación o determinación de zonas heterogéneas a poca profundidad.



Figura 1.ª

Antes de exponer algunos de los estudios realizados por este sistema en España, y por indicación de algunos compañeros, se hace un brevísimo resumen de los fundamentos teóricos del procedimiento y de los métodos de estudio más usuales.

II

El suelo es siempre conductor de la electricidad en más o menos grado, y las diferencias de resistividad en la propagación de la corriente son muy notables. En este simple hecho se funda la prospección conductiva

abreviada teniendo en cuenta las dimensiones de la fórmula $m./m.^2$ en la forma práctica Ωm (ohmio-metro).

Los siguientes valores se dan solamente a título de indicación, por ser muy variables:

Conductividad metálica:

Galena	10^{-4}	Ωm .
Pirita	5.10^{-4}	Ωm .
Cobre	3.10^{-8}	Ωm .

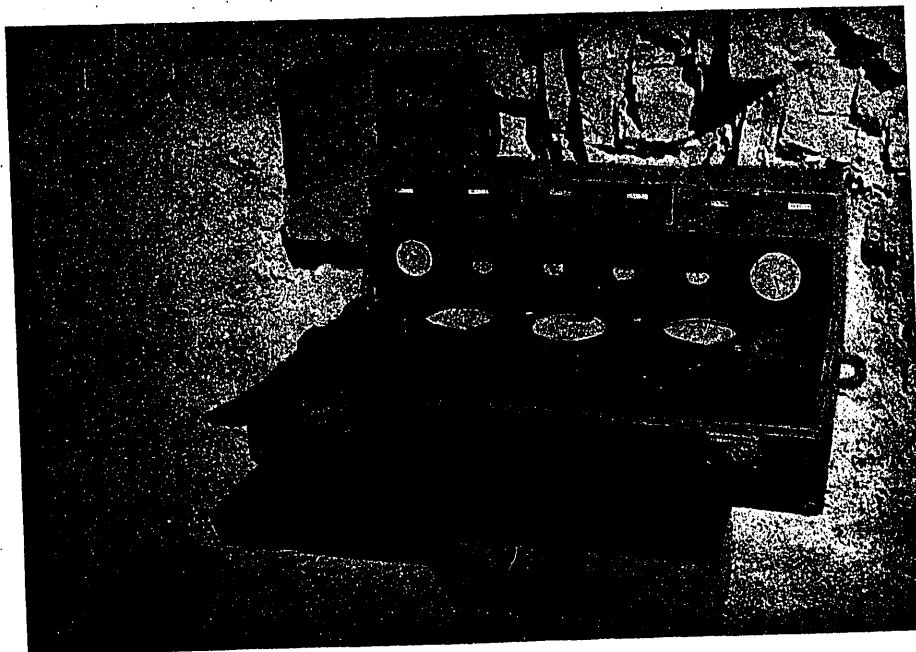


Figura 2.ª

de que tratamos. En realidad, en los materiales del subsuelo hay dos conductividades esencialmente distintas: la *conductividad metálica*, propia de muy contadas materias (pirita, galena, sulfoantimoniuros), y la *conductividad electrolítica*, que es el caso general y que depende esencialmente de la cantidad de agua contenida por la roca y de su riqueza en iones.

Por esta razón, en líneas generales, las rocas impermeables dan resistividades más constantes y con frecuencia más elevadas que las permeables, que cuando, además, están muy cargadas de sales presentan fenómenos de polarización, electrocapilaridad y tensiones telúricas de concentración que originan medidas variables e inestables. La unidad usualmente empleada en la medida de la resistividad de las rocas es el ohmio por cubo de un metro de arista, generalmente

Conductividad iónica:

Agua salada	8	Ωm .	(Cantábrico).
Agua dulce normal.....	80	Ωm .	(Río Sil).
Granito	10 000	Ωm .	(Sanabria).
Calizas	5 000	Ωm .	(Pirínco).
Pizarras	1 500	Ωm .	(Pirínco).
Pizarra alterada	200	Ωm .	(Río Navea).
Morrena granítica	700	Ωm .	(Alto Tera).
Aluviones graníticos	80	Ωm .	(Alto Tera).

En realidad, no puede tratarse de establecer una correspondencia entre la naturaleza del terreno y la resistividad de un modo general, sino estudiar cada caso especialmente. Por ejemplo, de unos granitos a

otros la resistividad pasa de 400 a 100.000 Ω m. Pero en una zona determinada no suele variar en más de un 5 por 100, y en esta misma zona, entre su parte descompuesta superficial y la profunda intacta normalmente hay una diferencia del orden de 300 Ω m. a 2 000 Ω m., por ejemplo, es decir, casi diez veces más resistente en la zona no alterada.

De esta variedad de conductividades se deduce in-

perponen a las enviadas a éste para las medidas. En ellas se funda el método de estudio por "corrientes autóctonas", importante, pero de aplicación limitada.

Aun hay otros medios de trabajar con corrientes continuas o casi continuas, pero éstos son los más utilizados y de mejores resultados. Dentro de cada uno de ellos también hay muchas modalidades prácticas, cuyo estudio sale fuera de los límites de este artículo.

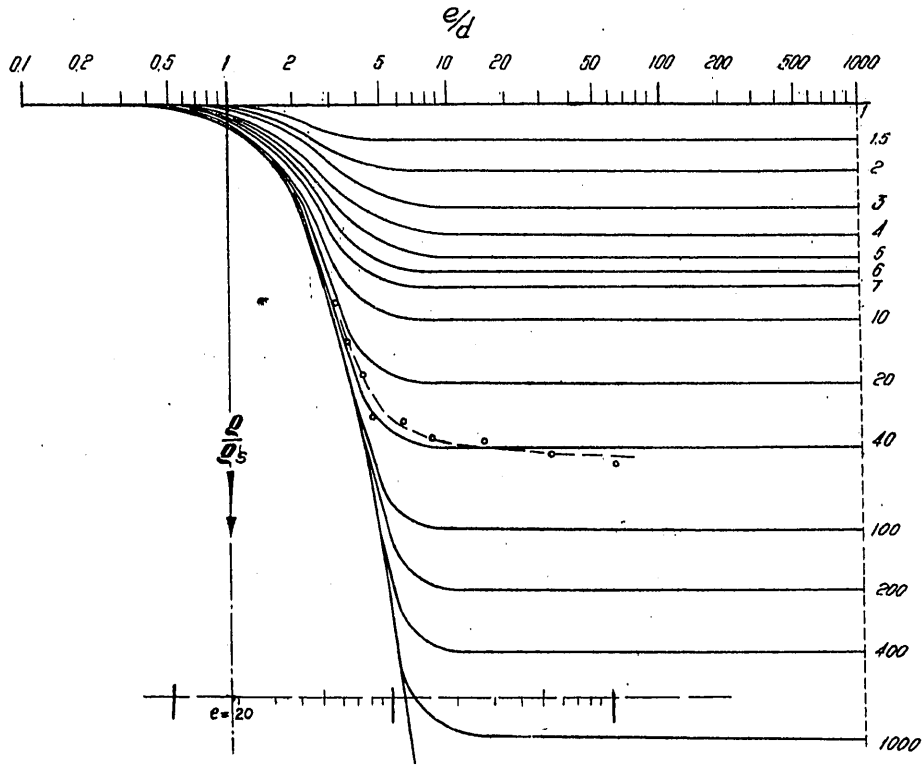


Fig. 3.ª — Ejemplo de determinación de la profundidad de una capa empapada en agua, cuya resistividad resultó del orden de 40 veces menor que la superficial. La curva medida (de trazos) se identifica con la del ábaco y se deduce el espesor de la capa superior (d) de la relación e/d , que resulta igual a 1 para $e=19$; es decir, que 19 m. es la profundidad buscada. El ábaco adimensional de la figura ha sido calculado especialmente para estos casos en que la capa superficial es más resistente, y sólo hay dos terrenos con separación sensiblemente paralela a la superficie del suelo.

mediatamente que, si por algún procedimiento de medida determinamos la resistividad del subsuelo, podemos estudiar su composición (método de las resistividades eficaces), y por otra parte, si establecemos un campo conductivo en el terreno, la corriente se distribuirá de manera distinta en las zonas de diferente conductividad, lo cual permitirá identificarlas (método del campo de corriente).

Por otra parte, la diferencia de naturaleza de los distintos terrenos, y las aguas freáticas, entre otros agentes, crean corrientes telúricas que pueden estudiarse, y que indican con su circulación las irregularidades importantes del subsuelo y, en todo caso, se su-

Para terminar con estas ideas de la teoría que nos interesa, conviene indicar algo acerca de los aparatos utilizados para los trabajos del campo. La figura 1.ª es una fotografía de un equipo ligero transportable a brazo, en el cual puede distinguirse el depósito de baterías de alimentación (A), los instrumentos de medida y control de la corriente enviada al campo (B) y los de medida en el terreno (C), que equivalen a un potenciómetro que mide en milivoltios las diferencias de tensión entre distintos puntos del suelo por medio de electrodos (D) especiales para suprimir errores debidos a tensiones de contacto. Un equipo muy completo para esta clase de exploraciones se representa en la

Gráfico de resistividades eficaces del terreno

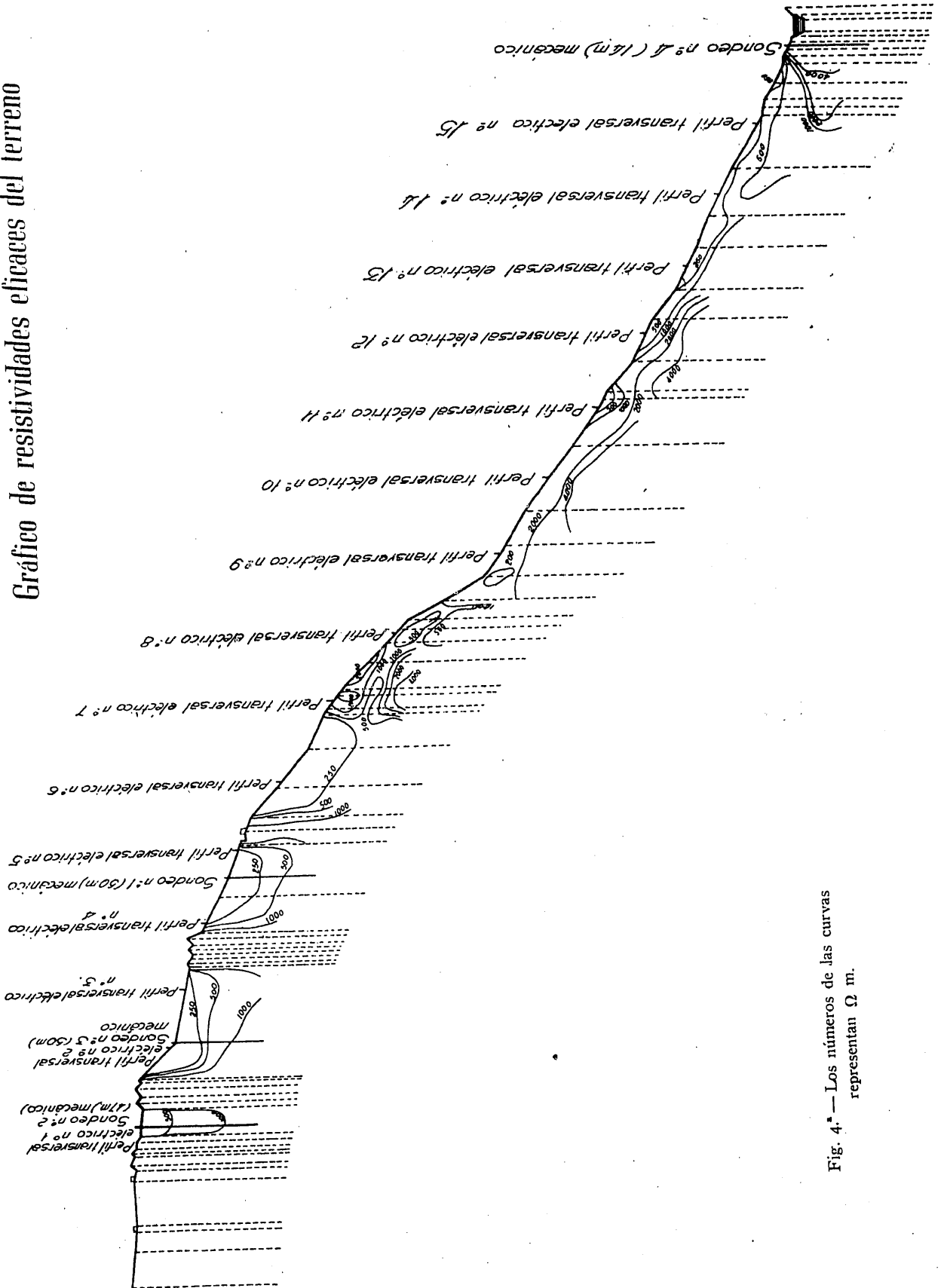


Fig. 4.ª — Los números de las curvas representan Ω m.

figura 2.^a, en la cual pueden observarse sus distintos elementos. La alimentación de este equipo, así como las líneas que se tienden para estudios hasta 250 m. de profundidad, suponen un volumen relativamente importante que precisa tres caballerías para su transporte

que en un solo trabajo importante la ventaja obtenida por su empleo, simplificando los trabajos de exploración directa, reduce el coste total considerablemente (a veces más de un 50 por 100), aunque sólo se trate de colaborar en una campaña de sondeos mecánicos,

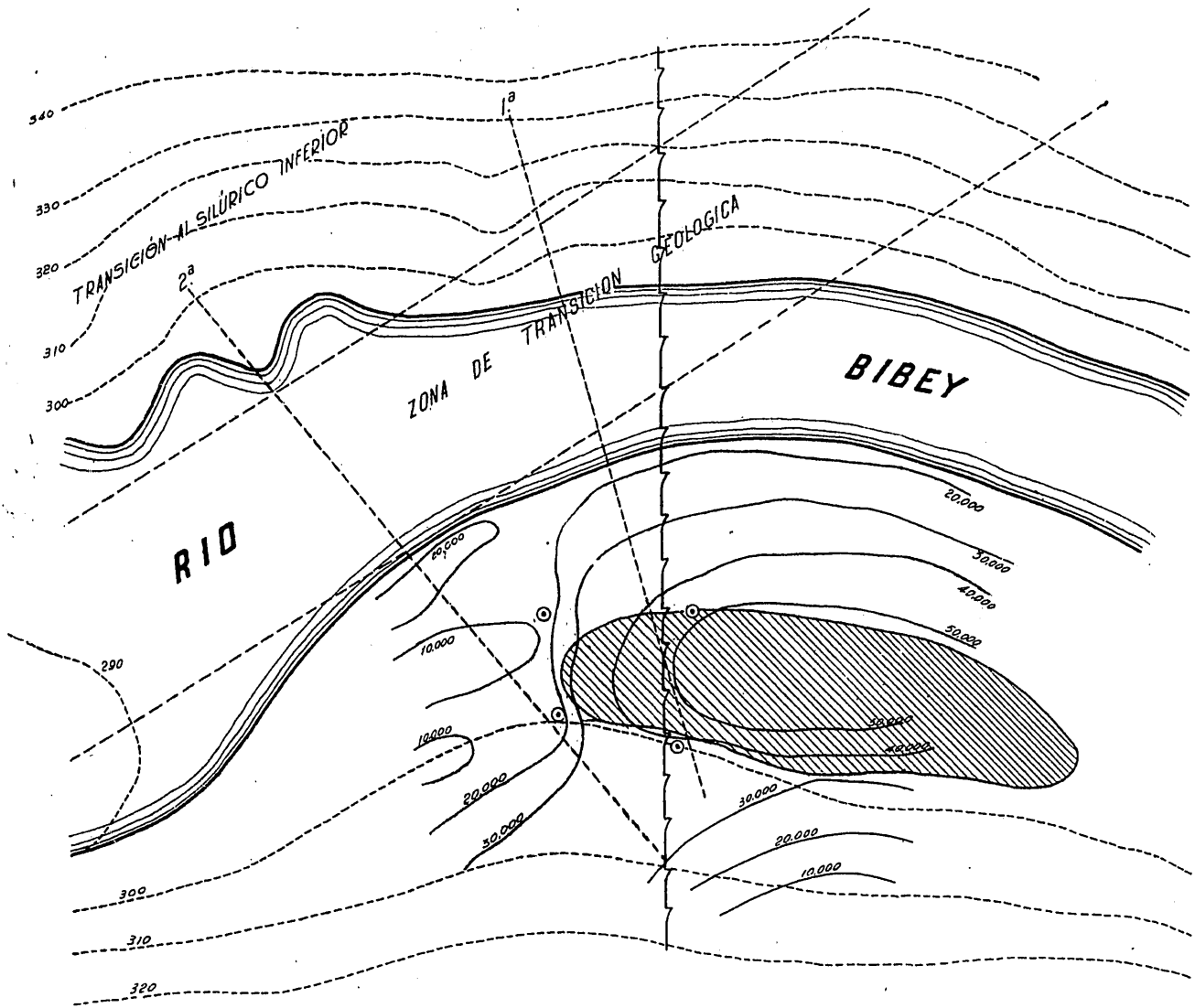


Figura 5.^a.

te. Por último, un gran equipo con líneas de varios kilómetros y baterías de mucha capacidad, necesita un pequeño vehículo o una docena de caballerías. Estos últimos no son generalmente necesarios para un trabajo de Ingeniería civil, bastando, en la mayor parte de los casos, un equipo ligero.

En cuanto a la parte económica, puede observarse

por ahorrar taladros, situándolos en los puntos más interesantes, y mucho más cuando la zona a estudiar es extensa y la prospección se emplea para fijar algunos sondeos de comprobación y comparativos que, en muchos casos, es uno de los mejores métodos para situar rápida y eficazmente el emplazamiento de una obra.

IV

PRIMER EJEMPLO

Estudio del emplazamiento de una galería forzada.

Se trataba (fig. 4.^a) de estudiar el perfil de una galería forzada en el aprovechamiento hidroeléctrico del río Navea (Orense) para dilucidar si el emplazamiento permitía contar, o no, con una posible colaboración

que, comparadas con los ábacos correspondientes, permitieron hallar resistividades eficaces hasta 60 m. de profundidad, con lo que se pudo dibujar claramente el gráfico informativo de la figura 4.^a.

Se comprobó después, por los sondeos mecánicos indicados en el perfil, el resultado final de los trabajos, hallando una coincidencia totalmente satisfactoria que permitió detallar el perfil geológico.

El resultado es de carácter decisivo en una obra de esta clase.

Perfil longitudinal de la conducción forzada del "Salto de Chandoiro" con indicación de las resistividades eficaces medias del terreno.

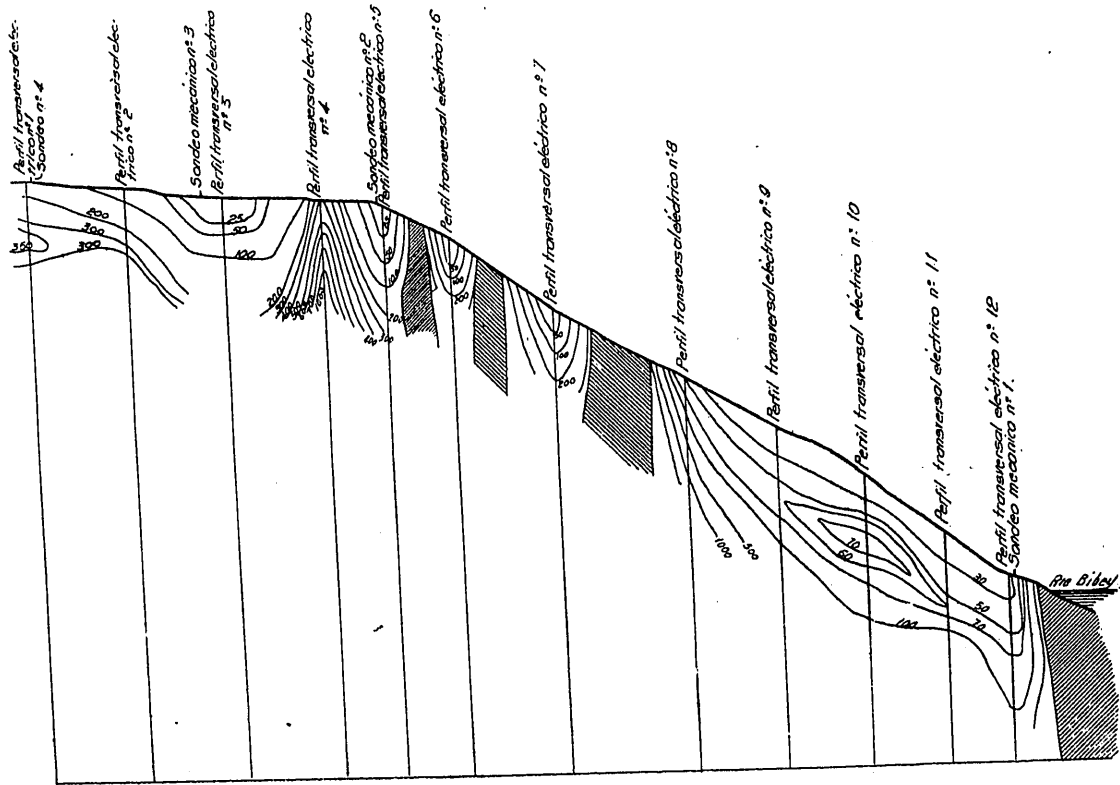


Figura 6.^a.

de la roca. Especialmente interesante era determinar el espesor de la zona descompuesta y de los derrubios superficiales en una cierta parte del trazado. Para ello se estudiaron las resistividades del subsuelo, tanto longitudinal como transversalmente, ya que la estratificación origina una anisotropía importante en el mismo.

Con los resultados de las 249 determinaciones obtenidas en once días de trabajo (terreno muy accidentado que dificulta el cambio de emplazamiento), se dibujaron 52 curvas de distribución de resistividades

SEGUNDO EJEMPLO

Estudio de un emplazamiento por medio de un plano de resistividades.

En el río Bibey (afluente del Sil) se deseaba proyectar una presa de derivación que presentaba dificultades para su situación en la parte encajada del valle por la cortísima longitud de vertedero que admite; por lo cual era preciso reconocer la parte más ancha, cubierta casi totalmente por los aluviones del río.

En la figura 5.^a se indican los centros de tendido de líneas de medida y las líneas de igual resistencia eficaz en la profundidad interesante. De ellas se deduce muy claramente la estructura del subsuelo. Se comprobó el resultado con los sondeos mecánicos que se indican en el gráfico.

que las que la rodean, como se comprobó posteriormente por un sondeo que atravesó roca descompuesta en 30 m. de profundidad, en contraste con la gran dureza demostrada por el resto de las zonas silíceas. Este punto débil es interesante, ya que, geológicamente, lo normal es que la aureola metamórfica sea más

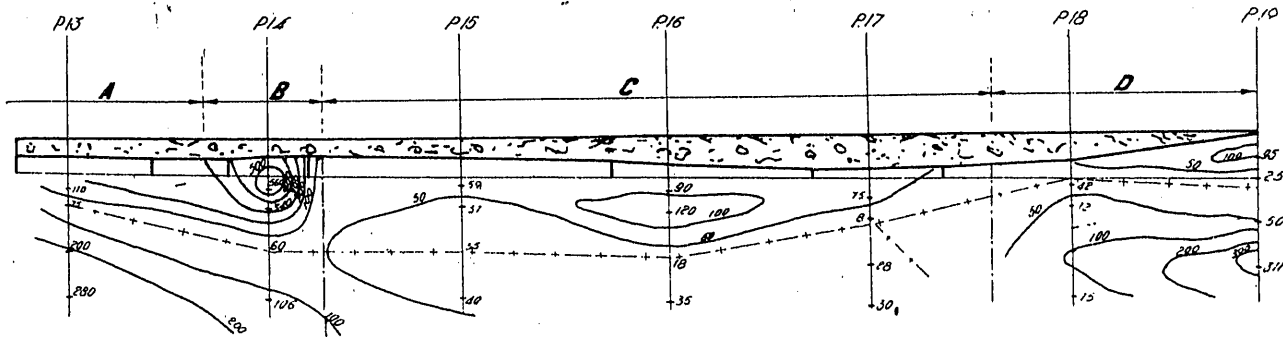


Fig. 7.^a — Perfil del túnel de Matarrosa en la zona explorada en profundidad. — Símbolos: Las curvas de línea llena representan aproximadamente las curvas de igual resistividad; las de trazos y cruces, una poligonal aproximada del mínimo relativo de resistividad; las líneas de raya y punto representan contactos de zonas distintas; las zonas A, B, C y D, se refieren a las explicaciones incluidas en las partes III y IV de la Memoria.

TERCER EJEMPLO

Descubrimiento de un punto débil en el subsuelo, no perceptible exteriormente.

En un caso de aprovechamiento conjunto de dos ríos, Jares y Bibey, el salto alimentado por los dos cursos de agua se vierte en su confluencia cerca de la localidad de Chandoiro.

Se estudió el perfil (fig. 6.^a) localizando zonas de cuarcita algo esquistosa y otras de pizarra más o menos metamórfica a causa de la proximidad del granito pseudoanatóxico (parte alta del perfil). En el mismo granito la resistividad de una distribución lógica, de acuerdo con su descomposición, pero en su borde se pone de manifiesto un punto donde ésta penetra anormalmente. Sin duda se debe a una antigua capa pizarrosa transformada en una roca más descomponible

resistente que los terrenos primitivos, y no se sospechaba al estudiar inicialmente la obra.

CUARTO EJEMPLO

Exploración del emplazamiento de un túnel.

En un salto proyectado en Matarrosa de Sil, el canal de conducción cortaba en túnel una zona con aspecto de terraza aluvial. Interesaba investigar la profundidad real de los acarreo y la continuidad y estado de las rocas subyacentes. Para ello se realizó una prospección eléctrica conductiva sobre la traza del túnel, de la cual se dedujo el perfil adjunto (fig. 7.^a). En él son de notar, por una parte, la poca importancia de los acarreo, y por otra, la existencia de zonas pizarrosas débiles en dos puntos del trazado, en que cambia la naturaleza del subsuelo bajo el uniforme manto superior.