

LA CALICATA ELECTRICA EN LA INGENIERIA

(UN PROCEDIMIENTO RAPIDO PARA LA EXPLORACION DE SERIES PETROGRAFICAS)

Por CLEMENTE SAENZ RIDRUEJO

(Dr. Ing. de C., C. y P.; Lic. Cs. Geol.)
Encargado de la Cátedra de Geología de la
Escuela de Caminos.

El autor hace una ferviente defensa del procedimiento de exploración del subsuelo mediante calicatas; método que tiene aplicaciones muy diversas y, además, comparado con cualquier otro sistema es, sin duda, el más rápido y barato. Al final del artículo refiere someramente dos trabajos realizados en el monte Jaizquíbel (Guipúzcoa), en 1960, y en Arnótegui (Vizcaya), en 1965.

Introducción.

Entre los procedimientos de exploración del subsuelo dedicados a descifrar una determinada estructura estratigráfica, tectónica o petrográfica, el más humilde, el más olvidado, pero también el que generalmente suministra más datos a una persona que sepa "leer" el terreno, es el de las calicatas. Además, comparado con cualquier otro sistema es, sin duda, el más rápido y más barato. Bien es verdad que en muchísimos casos no basta, bien es verdad que en otros no sirve. Por último: puede resultar innecesario. Por ejemplo, no bastará si queremos explorar los cimientos de una gran presa, pero es tan útil que debiera declararse preceptivo. No servirá si queremos explorar el espesor de una terraza (aún así conocemos varios casos en que se han hecho sondeos para determinar la posición del yacente de un terrazamiento cuyos espesores resultaron ser de uno o dos metros, es decir, asequibles a una pequeña calicata). En ciertas zonas áridas — por ejemplo, muchos puntos de la meseta española — no son necesarias a veces, puesto que la estructura está a la vista.

Definiríamos una calicata como una roza o zanja, corrida o no, destinada a descubrir la roca yacente bajo coberturas no muy espesas a efectos de exploración. Podríamos poner docenas y docenas de ejemplos en que este *modus operandi* nos ha sido utilísimo para casos muy variados, en carreteras, en canales, en minería, etc. Se podría establecer toda una sistemática en fun-

ción de los casos, pero ésta no es nuestra intención ahora. La calicata directa, abierta a pico o con excavadora — siempre al final se debe limpiar a pico —, no es la única. Frente al método que pudiéramos llamar convencional, existen multitud de procedimientos de exploración indirecta. El autor de estas líneas ha utilizado mucho el sistema de transmisión de onda elástica "a la maza" con un sismógrafo captor con marcaje inmediato, es decir, que señala directamente en un papel que "quema" instantáneamente el paso de un estilete a la llegada de la onda sobre un tambor sensible, y puede afirmar que es utilísimo para detectar sobre la marcha la presencia de bancos más rígidos intercalados en una serie blanda. Se pueden dibujar rápidamente estructuras — muy útil verbigracia, en la protección catódica — por el procedimiento de la detección de potenciales espontáneos. Se pueden dibujar los isleos rocosos con escintilómetro, incluso el que suscribe lo ha hecho con equipos autoportados de reproducción automática del *back-ground*. Pero ninguno de estos sistemas resulta tan rápido y adecuado a la ingeniería como la que pudiéramos llamar calicata eléctrica. Se trata de un método conocido de antiguo, que incluso se cita en bastantes publicaciones sobre geofísica, pero que no está todo lo desarrollado que debiera si hacemos honor a su utilidad, baratura y, sobre todo, rapidez. Aunque las modernas máquinas pueden abrir rozas en cuestión de minutos, no debe olvidarse que:

- 1.º Al final, si se quiere ver la roca diferenciada en bancos, con sus fracturas, accidentes, durezas relativas, etc., hay que refinar a mano una roza dentro de la que haya hecho la excavadora.
- 2.º A veces los destrozos de las excavadoras en tramos que sólo se trata de explorar — es decir, no propios de la empresa u organismo que va a construir — son muy importantes y, por tanto, suben mucho las indemnizaciones.
- 3.º El empleo de maquinaria pesada en trabajos especializados y de pequeña cuantía siempre es caro.
- 4.º En muchas laderas, charquizales, etc., no pueden entrar las máquinas.

Es decir, en general, si queremos comparar una exploración convencional con una calicata eléctrica habremos de hacerlo entre ésta y la zanja manual.

En un país muy avanzado en su economía es evidente que lo barato será la calicata eléctrica. En uno semidesarrollado, en general, para un trabajo pequeño será más económico rozar y compensará más la exploración eléctrica en cuanto ésta es de alguna cuantía. Este es el caso español actual, en el que los precios de desplazamiento de un equipo técnico, interpretación, etc., compensan pronto los salarios de operarios no especializados. Generalmente la rapidez es mucho mayor en los procedimientos resistivos y no es equiparable en cuanto la longitud de la exploración es grande. Téngase en cuenta que, en casos de no excesiva complejidad, en un par de días pueden hacerse muchos cientos de metros de calicata eléctrica y su interpretación puede durar otro par de ellos.

Así, pues, sin entrar en detalles, diremos que la calicata eléctrica, en general, es más barata y más rápida sin perjuicio de que no proporcione tantos datos o de que éstos sean menos seguros: en muchos problemas basta y sobra con los que suministra. Existen numerosos casos en que lo más económico es una mixtura de ambos procedimientos: la calicata eléctrica

dirá "por dónde" está lo que se busca y los procedimientos convencionales lo confirmarán y afinarán.

La calicata eléctrica.

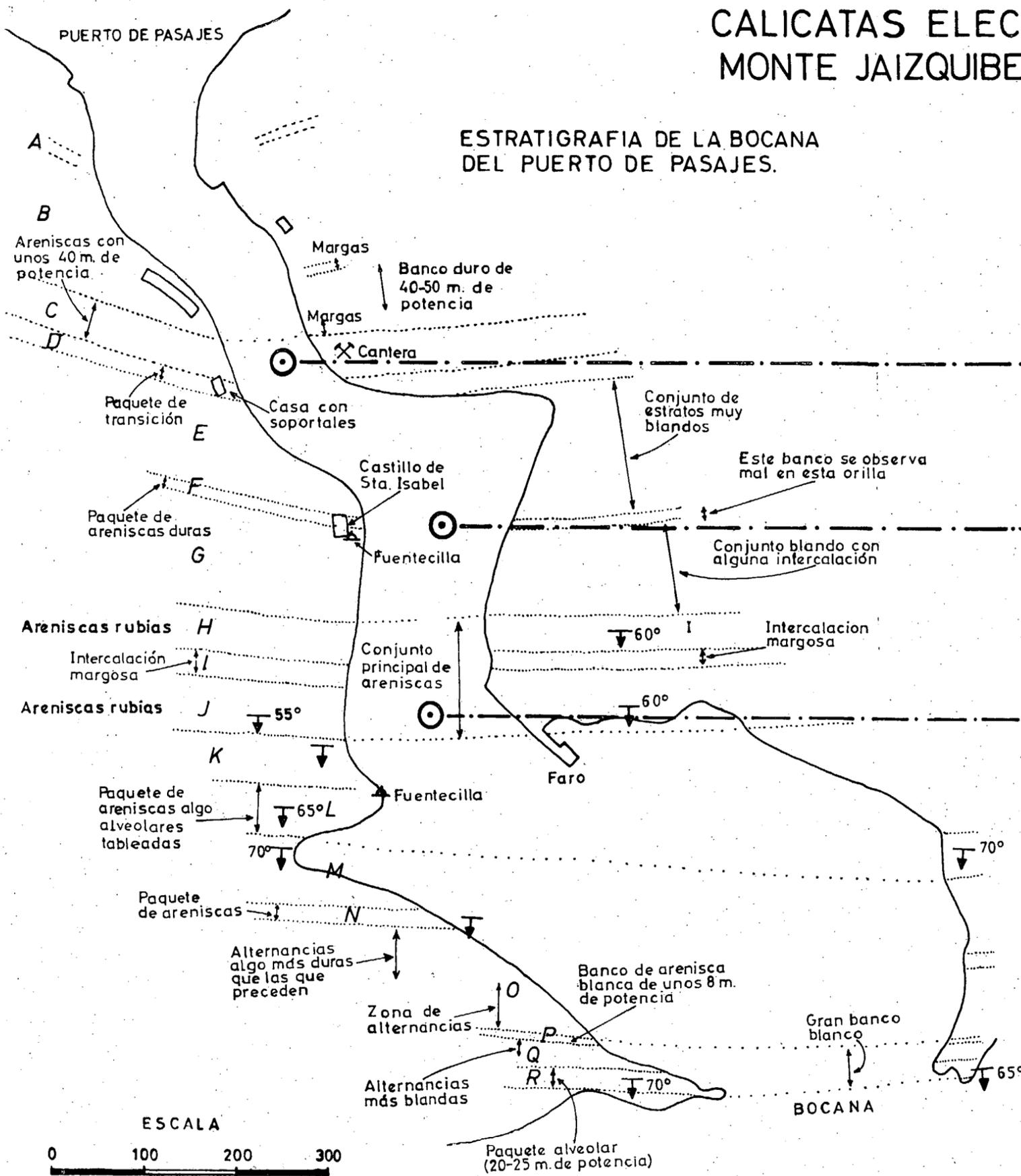
Como es sabido, a la amplia gama de rocas corresponde una no menos amplia serie de valores de resistividad eléctrica. Bien es verdad que las condiciones locales de humedad, fracturación y cambios de facies, etc., pueden dar lugar a variaciones que no se traducen en una biunivocidad tipo pétreo-valor resistivo. Sin embargo, en distancias no muy grandes y condiciones topográfico-geológicas análogas puede esperarse una cierta continuidad de valores a lo largo de las series rocosas. Por tanto, en principio, puede admitirse que a cada estructura corresponde un diagrama característico geoelectrico.

En general, cualquier formación tendrá zonas vistas (A) y otras ocultas (B) por derrubios, alteraciones, depósitos, etc. Si para una determinada obra nos interesa localizar los distintos términos de la serie en una zona oculta, el sistema a seguir será el siguiente: se empezarán midiendo los valores eléctrico-resistivos en los terrenos A, estableciendo una correspondencia geología-resistividad. Esta operación es la llamada de tarado o aforo. Después se explorarán las zonas B, también con medidas geoelectricas. Si los diagramas de A y B son inequívocamente correlacionables, habremos conseguido extrapolar las capas, isleos o formaciones de las áreas directamente observables a las ocultas sin necesidad de catas, sondeos u otros métodos directos.

El sistema práctico consiste en situar cuatro electrodos eléctricos (dos de corriente y dos de medida de tensión) en un dispositivo cualquiera — Slumberger, Wenner... —, pero que se mantiene siempre igual a sí mismo, y trasladar este dispositivo a lo largo del terreno, en general, en perfiles planos, con los electrodos contenidos en el plano por comodidad y con las distancias de paso de unas medidas a otras siempre iguales. Lo natural en formaciones estratificadas es cortar transversalmente la serie.

CALICATAS ELECTRICAS EN EL MONTE JAIZQUIBEL (GUIPUZCOA)

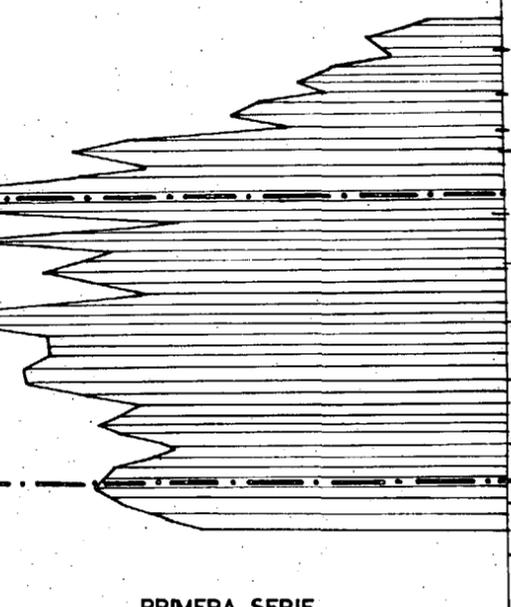
ESTRATIGRAFIA DE LA BOCANA DEL PUERTO DE PASAJES.



RESISTIVIDADES MEDIAS A 15m. DE PROFUNDIDAD EN PASAJES DE S. JUAN

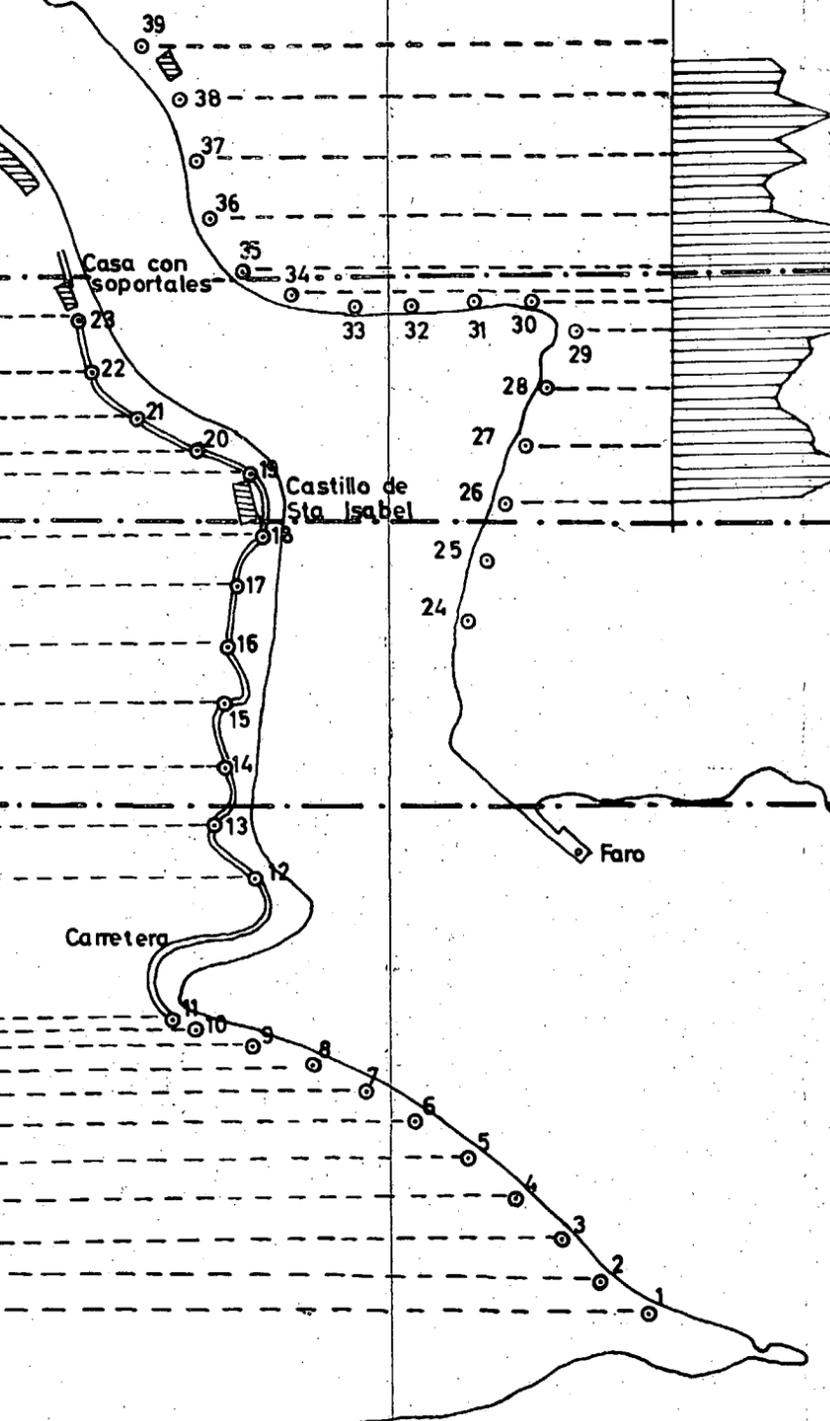
SEGUNDA SERIE

m 100 80 60 40 20 0



PRIMERA SERIE

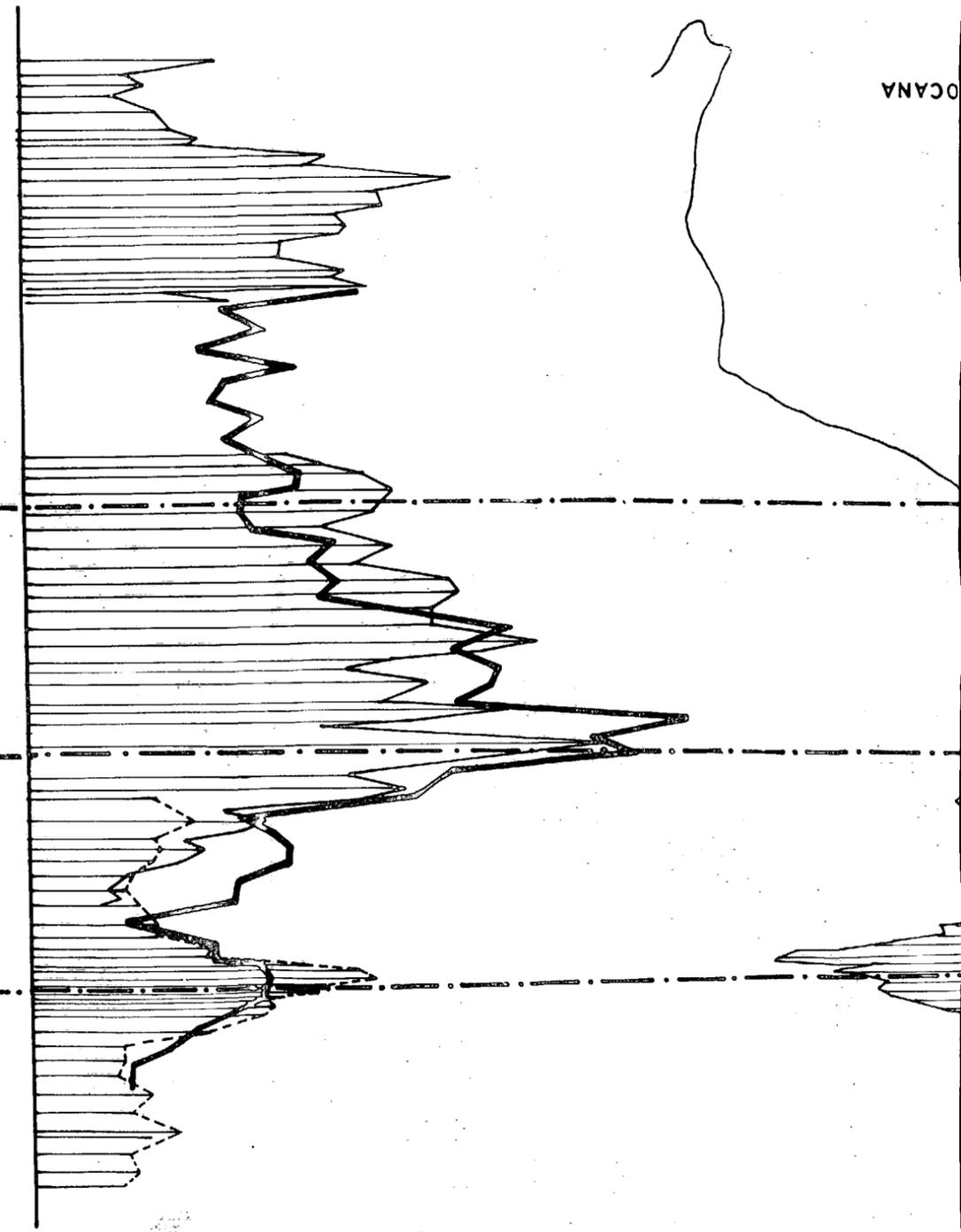
RESISTIVIDADES MEDIAS A 15m. DE PROFUNDIDAD EN PASAJES DE S. JUAN



PROSPECCION DE TARADO EN PASAJES

SUPERPOSICION DE LOS GRAFICOS DE RESISTIVIDADES DE TARADO Y EXPLORACION

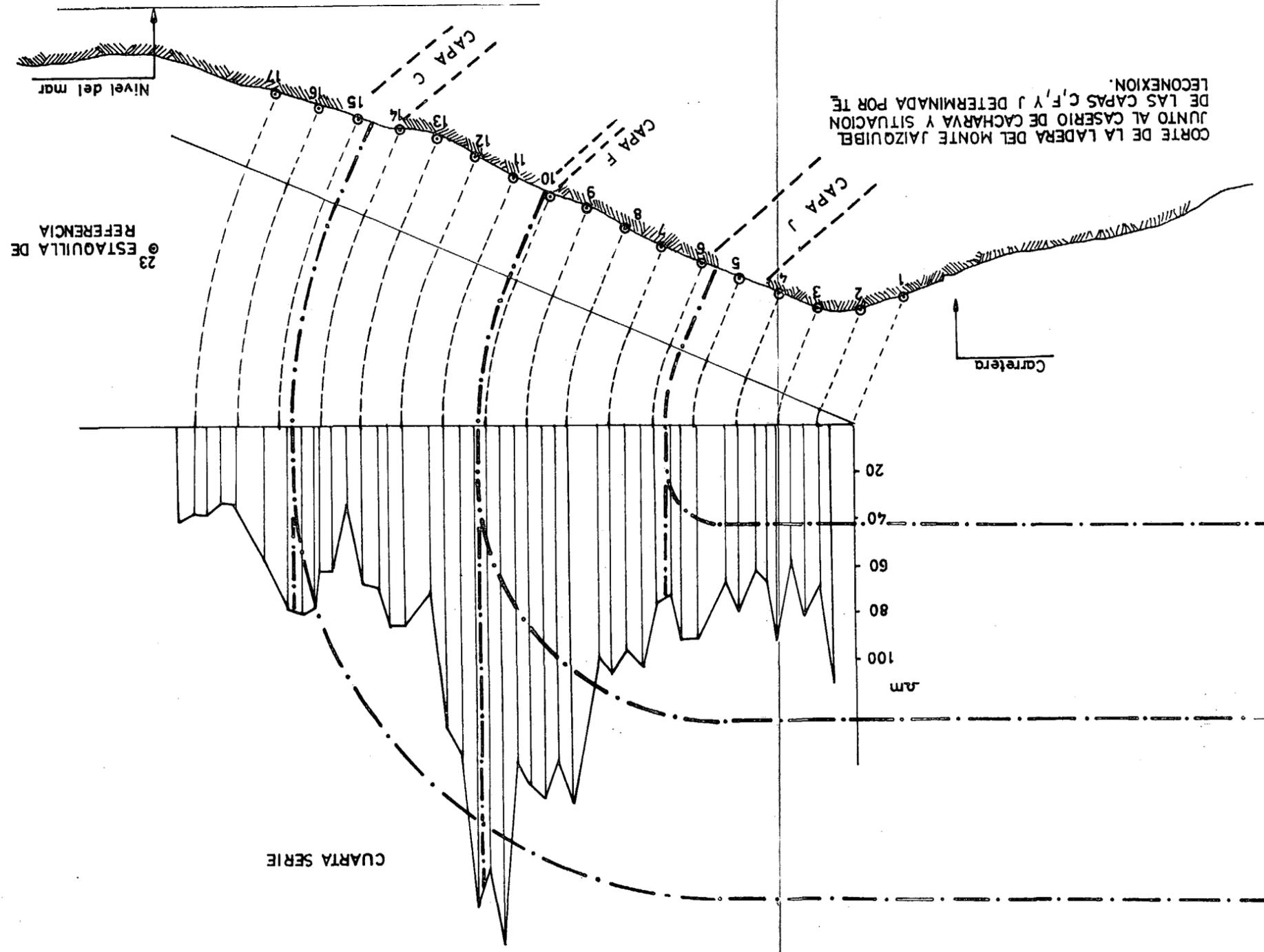
GRAFICO DE TELECONEXION

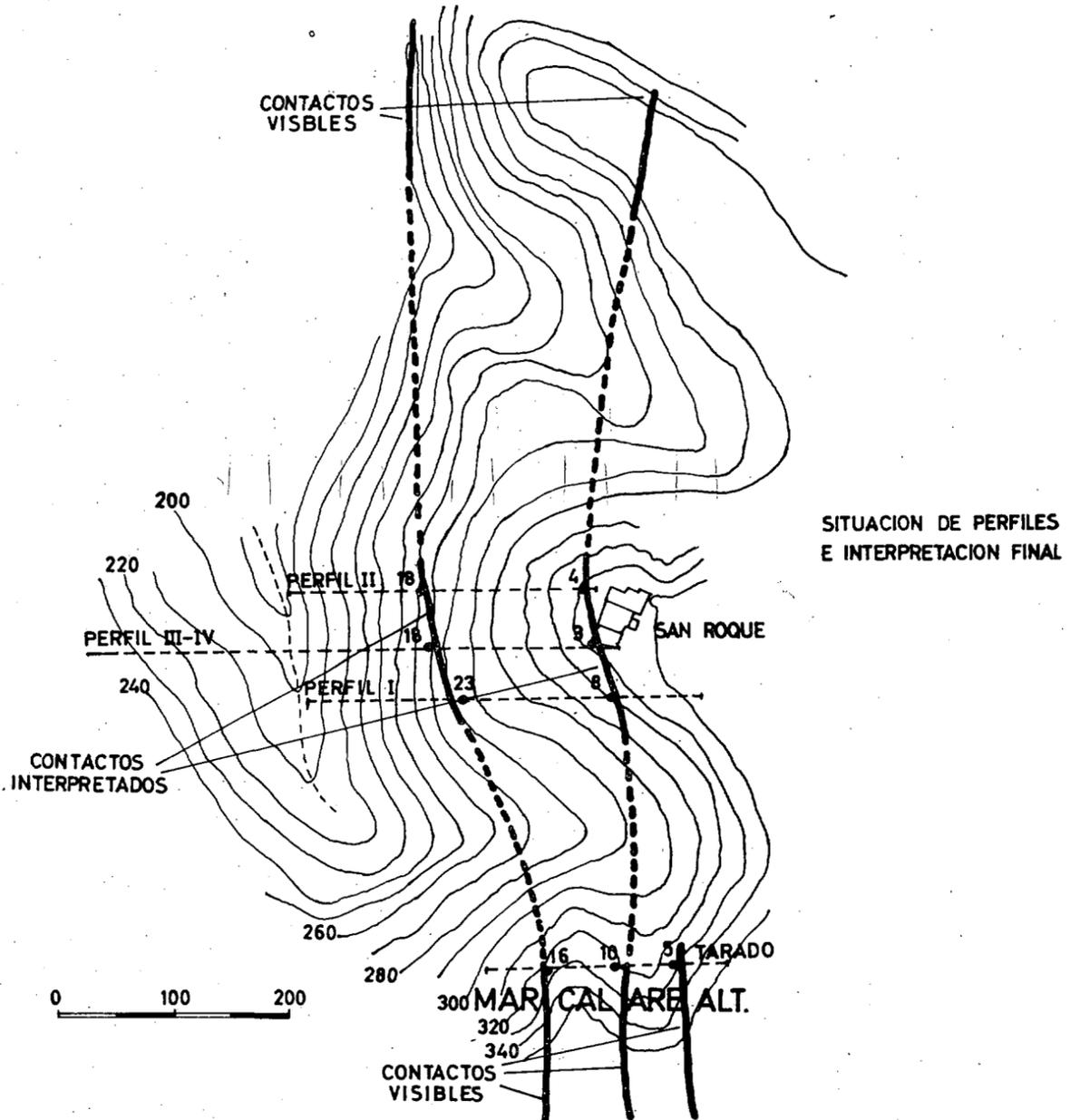


PROSPECCION EXPLORATORIA EN EL JAIZQUEL E IDENTIFICACION DE CAPAS

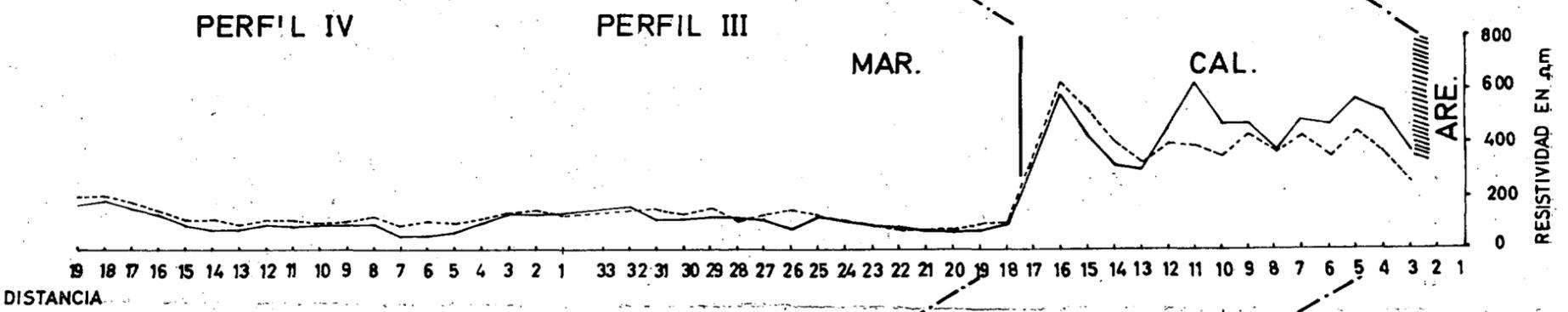
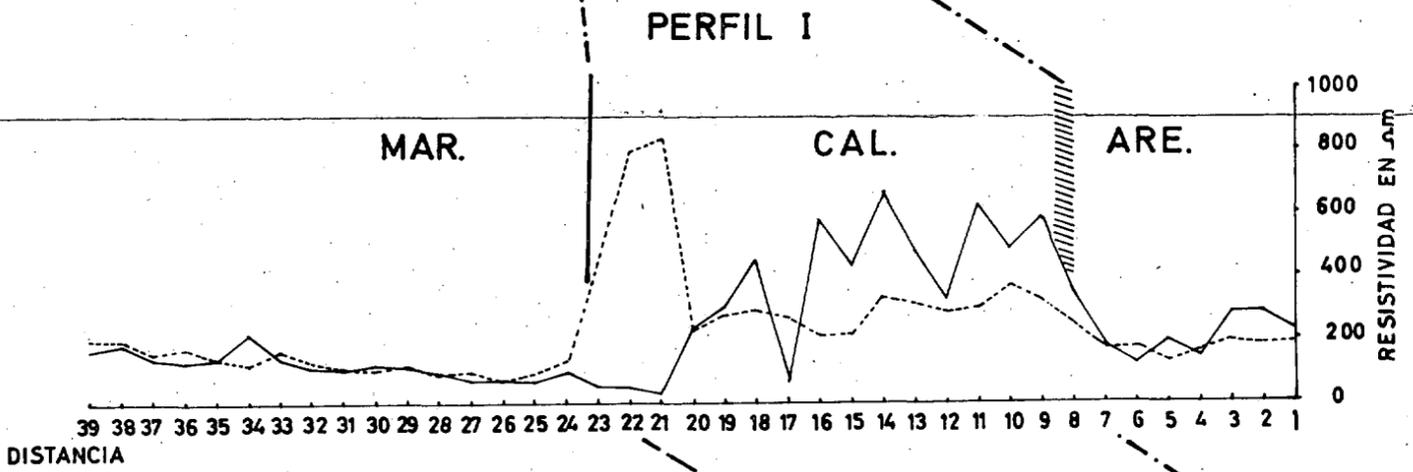
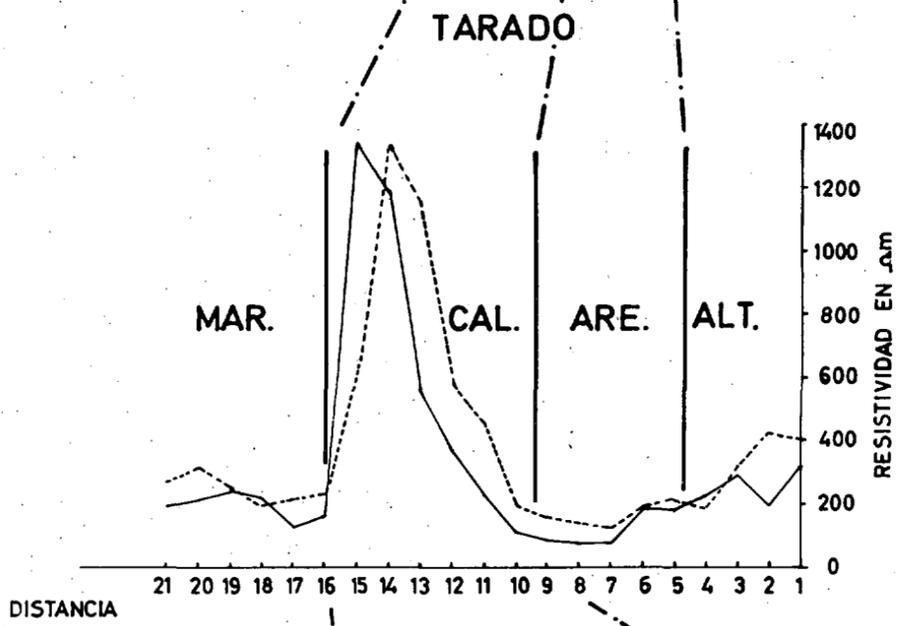
RESISTIVIDADES MEDIAS A 15m. DE PROFUNDIDAD EN EL PERFIL DE CACHARVA

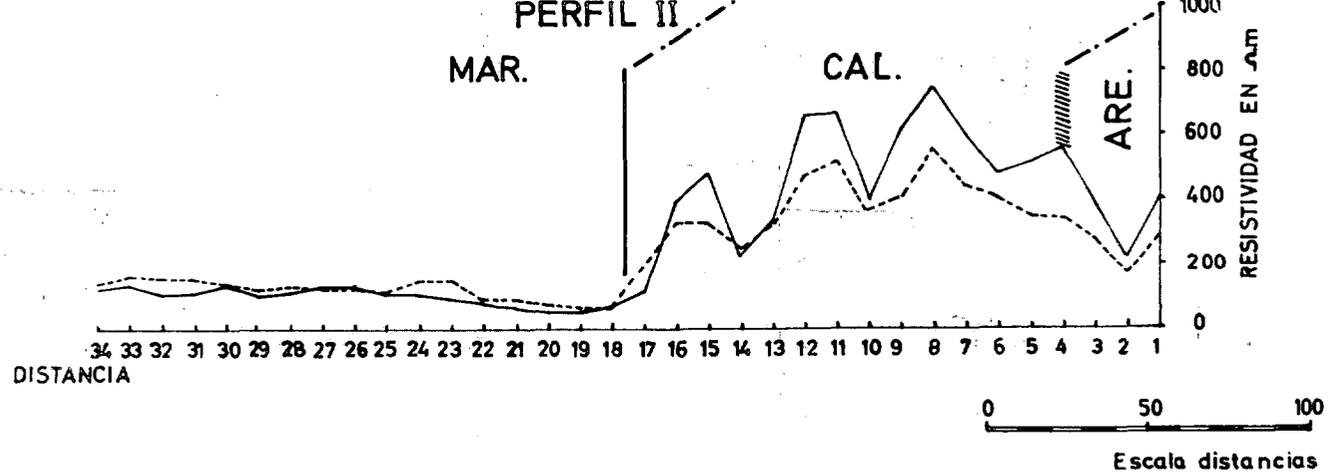
CUARTA SERIE





CALICATAS ELECTRICAS EN ARNOTEGUI, AL PIE DEL MONTE PAGASARRI (VIZCAYA)





PROFUNDIDAD 10m(separación electrodos 30m.) ———

PROFUNDIDAD 20m(separación electrodos 60m.) - - - - -

Esto que se enuncia tan sencillamente tiene algunas dificultades prácticas. La principal reside en que si las medidas se hacen con un dispositivo muy menudo (o sea, pequeña distancia entre electrodos de corriente) se conseguirá un gran detalle del histograma eléctrico en las zonas de aforo, pero las coberturas lo desvirtuarán en exceso en las de exploración. Si el dispositivo es de mayor "profundización" se obviará dicho inconveniente, pero se perderá contraste entre capas y detalle. Así, pues, la gracia del buen uso de este método reside en escoger el dispositivo adecuado, en especial la distancia entre electrodos de corriente. Las variables son tantas (relación de espesores de coberturas a espesores medios de capas o intercalaciones, relación de resistividades entre formaciones a diferenciar, relación de las mismas a las de los recubrimientos) que creemos preferible no intentar una tabulación de casos y proceder por vía experimental. Ello requiere la presencia de un técnico responsable en el terreno durante la ejecución.

Téngase en cuenta que muy a menudo no puede saberse de antemano la potencia de coberturas y sería necesario medirla. Incluso en algunos casos es más rápido y económico trabajar pasando dos o tres veces sobre cada perfil a distintas "profundidades".

El método tiene aplicaciones muy diversas. El autor lo ha experimentado en localización de capas de carbón (Celada de Roblecedo, Palencia), en la ubicación óptima de una presa junto a un contacto de terrenos resistentes — cimientos — con otros estancos — impermeabilidad (Orient, Mallorca; La Janda, Cádiz), en la investigación de un estrato a beneficiar para agua (Lezo, Guipúzcoa) —, en la evitación de un filón para una central subterránea (Aldeadávila, Salamanca), en la evitación de un banco calcáreo temible por las aguas que pueda llevar a un túnel (Arnótegui, Vizcaya), etc. Referimos someramente dos de estos casos, que se practicaron en 1960 y 1965, respectivamente.

Calicatas eléctricas en el Monte Jaizquíbel (Guipúzcoa).

Se trataba de perforar capas de arenisca car-

gadas de agua en las laderas del Monte Jaizquíbel, entre el puerto de Pasajes y Fuerterrabía, para un abastecimiento. La serie, un flysch eoceno, era bien visible en el canal de paso de la bocana al gran recinto portuario. Allí se localizan potentes bancos permeables que dan fuentes. Sin embargo, a lo largo de las laderas del Jaizquíbel, muy enmascaradas por derrubios y vegetación, era imposible seguirlos con seguridad. En vista de ello, se hizo un conjunto de medidas de aforo en Pasajes — forzosamente discontinuas por dificultades topográficas — (véase figura adjunta). Obtenido el diagrama eléctrico, se hizo un perfil descendiendo la ladera del monte en la zona de interés práctico para la perforación (Cacharúa). Ambos diagramas, con pequeñas diferencias indudablemente debidas a las variaciones del recubrimiento y distinto estado de saturación, resultaron tan semejantes que una vez correlacionados (véase gráfico de teleconexión) no admitían traslaciones mutuas de más de 10-20 metros. Así, pues, la serie quedaba identificada y situada en el Jaizquíbel.

La "profundidad" de trabajo escogida, 15 metros, se mostró muy apta, dados la levedad media de los derrubios y el espesor de los principales bancos (30-60 metros). En este caso, como en otros muchos, hubimos de tener en cuenta la variable intersección, en planta y alzado, de bancos y terreno, para trabajar con distancias estratigráficas y no topográficas, que introducirían deformaciones en las abscisas (distancias).

Calicatas eléctricas en Arnótegui (Vizcaya).

Las calizas arrecifales urgonianas del país vasco suelen presentar problemas en los túneles, dada su carsicidad y consiguiente carga de agua en región tan lluviosa, en especial si se atraviesan en profundidad. Por ello, la nueva traída de aguas de Bilbao debía, a poder ser, evitarlas, en un afloramiento situado al pie del Monte Pagasarri (ermita de San Roque, Arnótegui). En la zona en cuestión no estaban a la vista, mostrándose, por el contrario, claramente dos perfiles transversos a la formación antes

y después del lugar conflictivo. En principio, el túnel marcharía por las margas pizarreñas (cayuelas en el argot local), lo más lejos posible del biohermio calcáreo. En evitación de sorpresas, en una zona cubierta (San Roque) se hicieron hasta tres perfiles de calicata geoelectrica, precedidos de uno de aforo en un sector visible. Interesaba, sobre todo, localizar, en este caso por interpolación, el contacto calizas-margas. Pronto se vio que éste resultaba muy nítido en los diagramas eléctricos (véase gráfico): las resistividades altas y variables de la caliza contrastaban muy bien con los uniformes y bajas de las margas. Los puntos en los que se controlaba el contacto en los tres perfiles de exploración enlazaban perfectamente con los visibles situados a ambos lados. Dado el ca-

rácter arrosariado de este tipo de formaciones y la posible existencia de algún lentejón calizo entre las margas, se prolongó el perfil III por otro (IV), que no detectó otra cosa que la monotonía de los niveles de cayuelas.

Considerábamos idónea una "profundidad" de trabajo de 10 metros. Sin embargo, hicimos doble pasada, repitiendo sobre los mismos puntos medidas a 20 metros. Estas resultaron casi innecesarias, pero en algún lugar (medidas 20 a 24 del perfil I) demostraron su eficacia, puesto que el contacto principal buscado había quedado enmascarado por el gran espesor de aluvión y se detectó en la segunda pasada en su verdadera posición.