

ENSAYO DE RESISTIMETRIA EN SUELOS

A FINES AGROHIDROLOGICOS ¹

Por ANTONIO FRANCISCO RIZZO ²

I. INTRODUCCION

A. OBJETO DEL TRABAJO

Este ensayo, de uno de los métodos más prácticos y económicos para la prospección geofísica del subsuelo, no pretende establecer nuevas normas o técnicas para su realización, sino que se intentará su divulgación y un mayor conocimiento por parte de todas aquellas personas que de una u otra forma se encuentran abocadas al gran problema que significa, en las zonas áridas de nuestro país, la búsqueda y posterior alumbramiento de aguas subterráneas, con fines de aprovechamiento agropecuario.

El problema del estudio, ubicación y utilización del agua subterránea (minas de agua) en la República Argentina, no ha sido encarado hasta la fecha con la atención y dedicación que le han dispensado otros países. En efecto, en California (U.S.A.) se cuenta en la actualidad con cerca de 300.000 perforaciones en actividad, cuya extracción de agua se lleva a cabo mediante bombeo eléctrico, lo que da una idea panorámica de la forma práctica con que sus agricultores supieron encarar el problema del regadío en esa zona, que siendo la más fértil del oeste norteamericano ahora, hace un siglo era una región inculta y librada a la escasa fertilidad que le reportaban su precario régimen pluviométrico y las corrientes de

¹Trabajo de la Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía, La Plata.

²Ingeniero Agrónomo. Investigador (Jefe de Laboratorio) contratado de la misma.

aguas superficiales. El 75 % del agua de riego que se utiliza en California proviene de sus napas subterráneas, que son afloradas por medio de las perforaciones de que se habla.

Ejemplo más reciente de utilización de aguas subterráneas con fines de regadío lo da Israel, que sólo a pocos años de su nacimiento en el concierto de las naciones y partiendo de una superficie de suelo poco menos que desértico, ha logrado una agricultura floreciente y próspera, que se encuentra en constante progreso.

India, Pakistán y el noroeste de Africa también han realizado progresos notables en sus agriculturas mediante la expansión de áreas de cultivo que se encontraban vedadas a tales objetivos por la falta de irrigación; dicha expansión se ha logrado mediante la utilización de las napas de agua subterránea, verdaderos ríos ocultos que, llevados a la superficie, aportan caudales más efectivos y constantes que las lluvias o las corrientes superficiales.

Todas estas reflexiones inducen a pensar que la República Argentina, con grandes extensiones desérticas o semiáridas, como toda la región del oeste, del centro-norte y la Patagonia, cuyos regímenes pluviométricos y/o corrientes de aguas superficiales no alcanzan ni remotamente a satisfacer las necesidades de agua que impone una agricultura moderna y desarrollada, deben ser exploradas urgente y minuciosamente con el fin de localizar los reservorios o depósitos de aguas subterráneas que permitan la recuperación de esas superficies hasta hoy yermas y poco menos que estériles.

Una de las mayores dificultades con que se ha tropezado hasta el momento en las operaciones de regadío artificial a napa subterránea es el alto costo de las perforaciones y la incidencia que en ellas tienen los estudios previos (exploración, cateos, sondajes geofísicos, etc.) y que no siempre, una vez practicados, han dado caudales de agua suficientes para los fines por los cuales fueron hechas.

Si se tiene en cuenta que dichas perforaciones se realizan en base al estudio de: los indicios geológicos zonales, condiciones más o menos favorables de los suelos para la infiltración de las lluvias, estudio de perfiles en perforaciones experimentales, etc., que no siempre reúnen el total de información geohidrológica que es necesario poseer, en unos casos, y la incidencia económica que representa, en otros, se justifica la reticencia a perforar que existe entre los agricultores de las zonas áridas y semiáridas en la República Argentina.

Es necesario desterrar esa desconfianza o falta de fe de los agricultores necesitados de agua y poner a su alcance datos seguros sobre la existencia de napas subterráneas, su profundidad, extensión de dichos depósitos acuíferos, posibilidades económicas relativas a su futura perforación, etc., mediante operaciones de exploración o cateos, sencillas, rápidas y económicas por sobre todas las cosas. Estas operaciones previas, que lleven a nuestros agricultores a perforar más sus tierras sedientas, se pueden llevar a cabo mediante el empleo de métodos de exploración geofísica, que si no revisten el carácter de recientes, su técnica operativa se ha desarrollado últimamente en forma tal, que su empleo los torna sencillos, económicos y fácilmente aplicables a las necesidades agrícolas de agua en este país.

Facilitada la exploración y localización del agua subterránea, solamente bastaría tornar más económicos los gastos que origina una perforación, tendiente al afloramiento del precioso líquido en beneficio inmediato de los usuarios, ya sea mediante el empleo de sistemas y equipos mecánicos rápidos de trepanación, fácilmente transportables, que no requieran instalaciones fijas o ayuda económica por parte del Estado, para poner al alcance de los agricultores el uso de tales equipos que se fabrican actualmente.

Tendiente a la facilitación de los trabajos de exploración y localización del agua subterránea, principalmente en las zonas de mayor necesidad, es que en este trabajo se describirá un método de prospección geofísica del suelo, que ya ha sido ensayado y utilizado en otros países y que fue introducido en el nuestro por el ingeniero Alberto De Vita, alrededor del año 1940.

El objetivo fundamental de este trabajo reside en presentar e interiorizar a nuestros técnicos edafo-hidrogeólogos sobre los principios, manejo del equipo, cálculo e interpretación de los datos obtenidos en el ensayo realizado y demostración de la eficacia del método, dentro de las limitaciones que impone su realización en zona húmeda.

B. COLABORACIÓN RECIBIDA

La dirección y orientación del presente trabajo estuvo a cargo del profesor titular de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía de La Plata, ingeniero agrónomo Rubén H. Molfino,

quien en todo momento mantuvo el interés necesario y dirigió la planificación del trabajo en sus lineamientos generales, coordinando y facilitando la labor desarrollada tanto en gabinete como en campaña. Su vasta experiencia en el ordenamiento general de los capítulos que integran este ensayo y su estrecha cooperación fueron brindadas al autor en todo momento, sin retaceos.

El doctor Alfredo Siragusa, experto geólogo y eximio conocedor de la geología local, tuvo a bien revisar los resultados de este ensayo, enriqueciéndolo con valiosos aportes, oportunas críticas y sugerencias de importancia.

Los padres jesuitas, que integran la dirección técnica del Instituto de Física Cósmica de San Miguel, en cuyos laboratorios de electrónica fue construido el aparato de prospección que se utilizó en este ensayo, por especial encargo de la Cátedra de Edafología, que facilitaron diversas fuentes de consulta, textos, información general sobre el aparato, etc.

El ingeniero electromecánico Luis Simon, con su aporte técnico permitió al autor una mayor claridad en la exposición de la faz teórica del método ensayado.

Cabe destacar la meritoria labor del personal no docente de la Cátedra de Edafología, que colaboró directamente en la ejecución de todos los trabajos de campaña, previos y definitivos, con el autor, señores Lorenzo J. Basaldúa y Fernando Spinelli.

A todos estos colaboradores vaya nuestro más profundo agradecimiento por haber permitido, mediante su aporte desinteresado, una feliz culminación de la tarea emprendida, ya que de una u otra manera hicieron posible este trabajo.

II. REVISTA DE LA BIBLIOGRAFIA

Dos grandes fuentes de consulta existen para todo el que desee perfeccionarse en la práctica correcta de la prospección geofísica del subsuelo; ellas son Heiland (1946) y Jakosky (1949), que sobrepasan con amplitud los conocimientos necesarios para el principiante en la práctica de la geofísica. Son dos obras completas, donde se trata todo lo relativo a la exploración geofísica, abarcando la totalidad de los métodos actuales, sus modificaciones, métodos de trabajo, sistemas de cálculo, diagramas de aparatos, etc., y están

profusamente ilustrados con grabados y fotografías. Su orientación general, sin embargo, se inclina a la aplicación de todos los métodos hacia la localización de yacimientos de minerales puros y principalmente de petróleo. Estas obras resultaron muy útiles en la interpretación de diversos principios y leyes que se aplican en el método de prospección ensayado.

Como obra de consulta, le sigue en importancia Petrucci (1959), en idioma italiano, la que resulta fácilmente comprensible para los técnicos de habla latina. Se encuentran en esta obra muy bien desarrollados y profusamente esquematizados los principios generales que se aplican a la gran mayoría de los métodos de prospección geofísica. Resulta dable destacar la actualidad de la información técnica que se consigna en el transcurso de la obra. Cuenta con un buen número de fotografías que ilustran sobre aparatos de prospección geofísica y la correcta disposición para su operación. La orientación general imprimida, si bien se inclina a la búsqueda de minerales y petróleo, por ser estas fuentes de riquezas naturales las más necesarias para la economía italiana, tiende asimismo a la localización de napas de agua subterránea. Resultó de suma utilidad en el capítulo referente al estudio de la corriente eléctrica en el subsuelo, de la que se han extraído diversos principios y esquemas.

De valor histórico-informativo resulta la conferencia pronunciada en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires, el 27 de septiembre de 1940, y publicada por el Centro de Estudiantes de Agronomía de esa Facultad (De Vita, 1940). Mediante dicha exposición se presentó por primera vez ante una delegación de ingenieros militares argentinos un método práctico, perfeccionado por el autor, y basado en el de Wenner, para la ejecución de investigaciones hidrogeológicas, con especial atención a la captación y alumbramiento de aguas subterráneas. Muy esquemática resultó dicha conferencia por la vastedad del tema, ayudándose con proyecciones de perfiles correspondientes a trabajos de prospección realizados por el mismo en territorio argentino e italiano. Se intuye que la finalidad de esta conferencia era la de interesar al Ministerio de Guerra de la época, en la ejecución de trabajos de prospección geofísica a cargo exclusivo del conferenciante.

Un panorama general, entre otros muchos (Castro Zinny, etc.) de los problemas que ocasiona la falta de agua en las provincias del oeste argentino y su similitud con los de algunas regiones de

Norteamérica, presenta Rousseau (1958) en el trabajo que publica la revista *Panorama Agropecuario*. Se trata de encarar soluciones a esos problemas, sugiriendo la ejecución de un censo de perforaciones, la confección del mapa hidrogeológico del país, el estudio de los conos aluviales y las cuencas artesianas principalmente. Resulta interesante este artículo, por las inquietudes que despierta su lectura, en el sentido de simplificar la realización de los estudios propuestos mediante el empleo de aparatos de prospección geoelectrónica del subsuelo argentino.

De trascendente resonancia mundial resulta la labor que despliega la Unesco por intermedio de los estudios, reuniones, conferencias, coloquios, seminarios, etc., que realiza en casi todos los países del mundo y cuyas conclusiones se comunican por intermedio de copiosa información publicada en diversos idiomas, tendientes todas ellas a combatir el avance del desierto. Entre las numerosas publicaciones que posee la Unesco merecen destacarse, por su afinidad con el tema tratado en el presente trabajo, *Reviews of research on arid zone hydrology* (1953) y *Ankara symposium on arid zone hydrology* (1953). La Unesco ha invertido grandes sumas en estudios técnicos sobre hidrología de las zonas áridas, y en la Tercera Conferencia realizada recientemente en Buenos Aires resolvió que los gobiernos americanos enviaran los estudios realizados en las zonas áridas de sus jurisdicciones y delegaciones de expertos a la conferencia que sobre tierras áridas de América latina se realizará en nuestro país en 1963. Una de las conclusiones más inquietantes a que se arribó en la reciente conferencia de Buenos Aires es la de que sobre el total de tierras cultivables en la República Argentina, un 25 % se encuentran ubicadas en zona húmeda, un 15 % en zona semiárida y un 55 % en zona árida. Vale decir que urge dotar de riego artificial a más de las dos terceras partes de las tierras bajo cultivo en nuestro país.

En el ámbito nacional cabe destacar la utilidad que pueden prestar al iniciado en hidrogeología las publicaciones que realiza la Dirección Nacional de Minería y Geología, en las cuales, por orden cronológico y en forma detallada, se consignan las perforaciones que ha ejecutado dentro del territorio nacional, con fines de abastecimiento de agua para las poblaciones y/o instituciones que así lo requieren. Del estudio de esos perfiles de perforaciones se pueden obtener datos e informaciones muy útiles para los futuros trabajos de prospección geofísica del subsuelo.

Al finalizar este trabajo nos llega un aviso literario, comunicando la aparición de una obra en idioma castellano, *Investigación de Aguas Subterráneas* por Darder Pericás y Darder Seguí (1961), editado por Salvat, que llegamos a consultar por haber recibido a la fecha el ejemplar solicitado a la editorial, circunstancia que nos permite abrir juicio separado sobre su contenido, y descontamos su valioso aporte a la solución del gran problema nacional, que significa dotar de agua a las tierras sedientas.

III. PRINCIPIOS BASICOS GENERALES

A. LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN EL SUBSUELO

Antes de comenzar con la descripción del método de prospección geoelectrica que se trata, el autor estima conveniente revisar las formas de propagación de la corriente eléctrica en el subsuelo, por considerar de fundamental importancia la fijación de tales principios generales, aplicados en el método de medida de la resistencia eléctrica aparente del subsuelo.

Si se conectan los dos polos de una fuente de energía eléctrica (pilas, generador, etc.) a dos puntos metálicos insertados en la superficie del suelo, el que se considerará homogéneo en su estructura interna y conductivo, la energía eléctrica generada por la fuente y aplicada a esos dos puntos, atravesará el subsuelo entre dichos electrodos en todas direcciones, tanto en superficie como en profundidad alrededor de cada electrodo.

Cada una de las líneas de corriente que parten de los electrodos, recorren el subsuelo y su superficie en demanda del otro electrodo, a fin de equilibrar la diferencia de potencial existente entre dichos puntos, formando un campo eléctrico que afecta la forma teórica e ideal que se indica en las figuras nº 1 y 2.

Como se puede apreciar, el campo eléctrico formado en el subsuelo, equivale al campo eléctrico en superficie; vale decir que cada uno de los filetes de corriente que lo constituyen resulta de hacer rotar el campo superficial alrededor de la recta AB. Se llama "filete de corriente" a cada una de las líneas punteadas imaginadas en ambas figuras.

Si se observan atentamente las figuras 1 y 2 y se considera que cada línea de corriente experimentará variaciones de poten-

cial a lo largo de su trayectoria entre ambos electrodos, es fácil imaginar que a lo largo de todo el "haz" de líneas de corriente, se podrán encontrar muchos puntos que poseen el mismo poten-

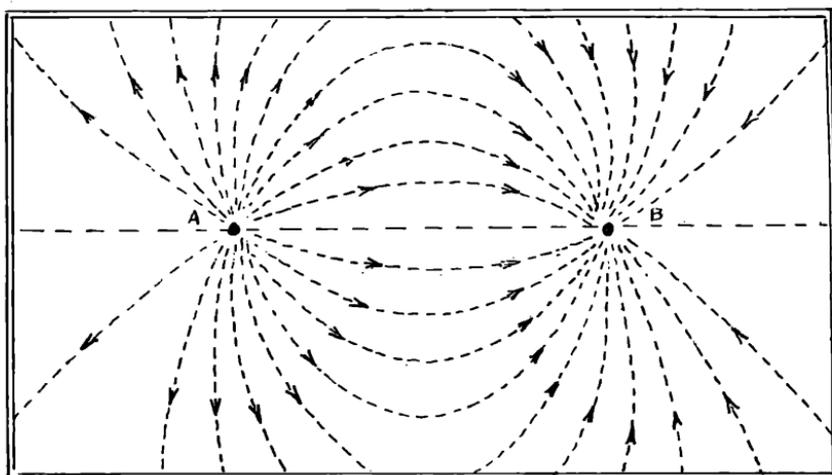


Fig. 1. — Recorrido de la corriente eléctrica en la superficie del suelo. (Petrucci)

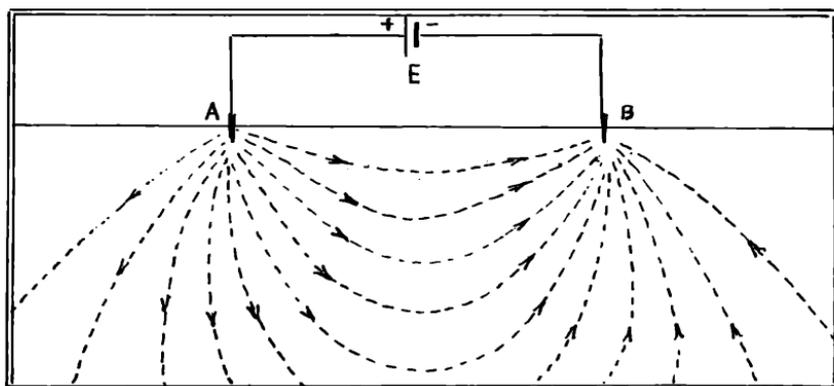


Fig. 2. — Trayectoria de la corriente eléctrica en el subsuelo. Electrodo puntiformes Corte vertical. (Petrucci)

cial eléctrico. Uniéndolos dichos puntos (los de igual potencial), con un trazo continuo, se verá que las figuras geométricas resultantes afectan la forma de circunferencias semi-concéntricas alrededor de cada uno de los electrodos, no guardando la misma relación radial según se acerque o aleje de la región central entre los electrodos; esto visto desde la superficie (figs. 3 y 4).

Dichas líneas se llaman “líneas equipotenciales”, las que por razones de comodidad algunos autores llaman “líneas potenciales” o

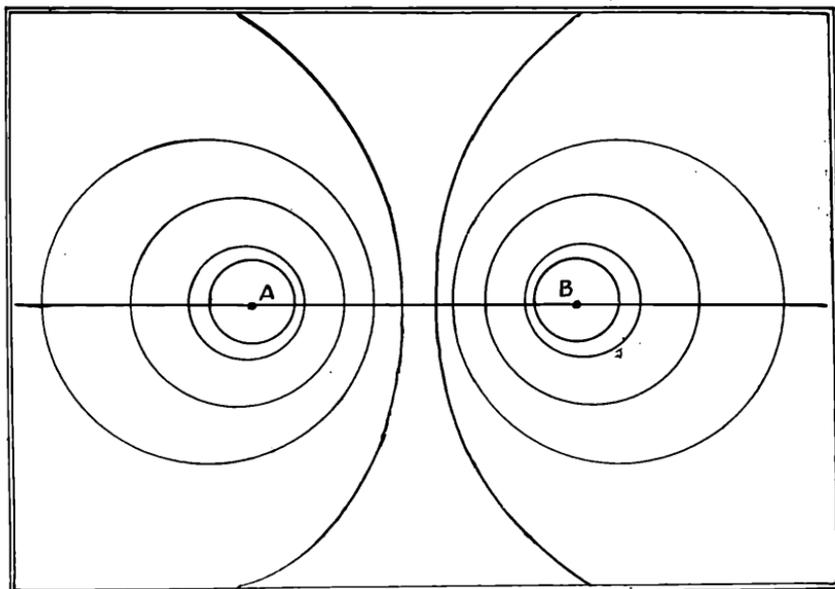


Fig. 3. — Representación esquemática de las líneas equipotenciales en la superficie de un terreno homogéneo. (Petrucci)

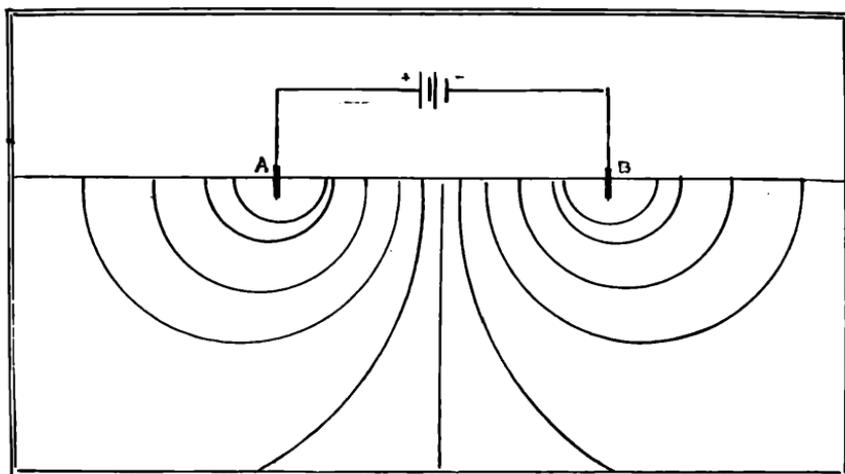


Fig. 4. — Líneas equipotenciales en profundidad

“líneas de tensión” y resultan siempre ortogonales a las “líneas de corriente”.

Si consideramos las líneas equipotenciales tanto en superficie como en profundidad y su representación geométrica simultánea, se verá que cada línea equipotencial se transforma en un casquete esférico cuyo centro es el correspondiente electrodo.

Para explicar someramente el recorrido de la corriente eléctrica en el subsuelo, es necesario previamente determinar la distribución de los potenciales alrededor de los dos puntos metálicos A y B, considerando únicamente los casquetes esféricos que se forman en el subsuelo. Es preciso destacar como condición "sine qua non", que dichas líneas equipotenciales y por ende los superficies equipotenciales que ellas general son siempre ortogonales a las

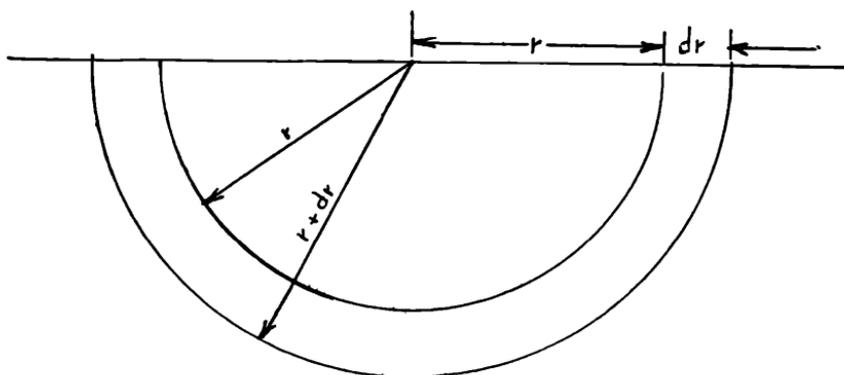


Figura 5

líneas de corriente. Las superficies equipotenciales son superficies de cuarto grado, provenientes de la revolución alrededor de la línea AB. Como se puede apreciar en la figura 3, las líneas equipotenciales cercanas a los puntos A y B afectan la forma de circunferencias concéntricas, mientras que al alejarse de esos puntos difieren radialmente con respecto a los sectores que dan hacia A o hacia B, respectivamente, en la región intermedia de los electrodos, y los frentes opuestos, diferencia que se interpreta de esta manera.

Considerando aisladamente el electrodo A y una superficie equipotencial cercana al mismo, que afecta la figura de una semiesfera de radio r y otra superficie de igual naturaleza cuyo radio se encuentra incrementado en un valor igual a dr o sea: $r + dr$ (fig. 5).

Se verá así que la distribución del potencial entre dichas superficies aplicando la ley de Ohm será igual a:

$$-dV = \rho \frac{dr}{2\pi r} I$$

que por integración resulta:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} + \text{const.}$$

donde ρ es la resistencia específica del medio, el que hemos supuesto homogéneo e isótropo, e I la intensidad de la corriente que atraviesa el subsuelo desde el electrodo A.

Antes de continuar es necesario recordar que esta relación resulta similar a la distribución de los potenciales alrededor de un punto que posee la carga $+q$, colocado en un medio de poder inductor específico K , como se ve en la expresión:

$$V = \frac{q}{Kr} + \text{const.}$$

Como existe semejanza en la distribución de los potenciales de origen electrodinámico y de origen electrostático, se puede sustituir

$$\frac{q}{K} \text{ por la expresión } \frac{\rho I}{2\pi} \quad (1)$$

Ahora bien; considerando la distribución de los potenciales entre dos puntos con cargas eléctricas diferentes ($+q$ y $-q$), se puede expresar esta distribución por la siguiente relación:

$$V = \frac{q}{K} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right) + \text{const.} \quad (2)$$

En base a la semejanza expuesta más arriba, se puede asimilar la expresión anterior a la distribución de los potenciales entre los electrodos A y B a través de los cuales pasa la corriente I (fig. 6).

Entonces sustituyendo en la expresión (2) el valor $\frac{q}{K}$ por la (1):

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right) + \text{const.} \quad (3)$$

Por lo expuesto, estamos en condiciones de enunciar que el potencial de un punto M del subsuelo, situado a una distancia r y r' respectivamente de los puntos A y B está dado por la expresión (3) y que todos los puntos que poseen el mismo potencial del punto M , estarán situados sobre una superficie que al ser seccionada por un plano vertical y pasante por los electrodos A y B , afectará la forma de la línea MM' . Por razones de simetría, en la zona media de la línea AB la superficie equipotencial está representada por un plano ortogonal a AB .

Resulta interesante destacar que el recorrido relativo de las líneas equipotenciales en un *terreno homogéneo*, es independiente

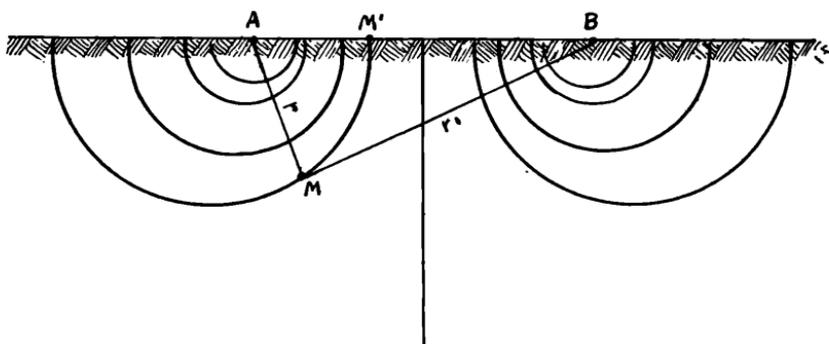


Figura 6

de la resistencia específica del medio; de la diferencia de potencial aplicada y de la distancia de los electrodos o tomas de tierra, ya que si se varía la resistencia específica del medio, la diferencia de potencial, y se aumenta la distancia entre los electrodos, las líneas equipotenciales y por ello las superficies que ellas generan, se irán agrandando, manteniendo siempre la relación original.

Se ha visto hasta ahora la distribución de las líneas equipotenciales y a continuación se verá la distribución de las líneas de corriente, que como se expresara anteriormente, se encuentran determinadas por las líneas normales a las sucesivas superficies equipotenciales. En un suelo homogéneo, la corriente no realiza exactamente el recorrido indicado por las líneas de trazo discontinuo de las figuras 1 y 2, sino que muchos de los filetes de corriente penetran en profundidad en un grado mucho mayor que el indicado en esos esquemas, formando verdaderos conos cu-

yo vértice es el electrodo, mientras que recién en la base de esos conos, los filetes de corriente se desvían lateralmente en demanda del otro electrodo. La densidad de la corriente y la intensidad del campo eléctrico formado entre ambos electrodos, variarán en razón inversa al cuadrado de la distancia entre los electrodos. En la región media, en cambio, los filetes de corriente se tornan cilíndricos, horizontales y de densidad uniforme en una longitud bastante apreciable, como así también en profundidad; por ello, en esta zona el campo eléctrico resulta bastante uniforme.

Por esta última circunstancia la corriente eléctrica que circula en el subsuelo entre ambos electrodos, se puede considerar o imaginar como un número infinito de conductores paralelos que terminan en los electrodos. La intensidad de la corriente que circula por los "filetes" es constante en esta zona media o sección, considerando la zona final o terminal de cada filete próxima a un electrodo, como otra sección, diferente en intensidad y densidad a la zona media. Para interpretar con mayor claridad, convendría subdividir el campo eléctrico formado, en filetes de corriente todos de la misma intensidad, por ejemplo igual a 1.

Entonces si se llama:

V = Diferencia de potencial entre dos secciones de un filete.

l = Distancia entre dos secciones o zonas del mismo filete.

j = Densidad de la corriente.

ρ = Resistencia específica del medio.

r = Resistencia real del conductor.

S = Sección de cada filete, considerado como un conductor ideal.

Por la ley de Ohm:

$$V = I \cdot r$$

pero como ya conoces que:

$$I = j \cdot S \quad \text{y} \quad r = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

sustituyendo estos valores en la fórmula fundamental:

$$V = \rho \cdot j \cdot l$$

cuya interpretación será: "la diferencia de potencial entre dos secciones de un mismo filete de corriente en el subsuelo varía en relación directa con las variaciones de la resistencia específica del medio, la densidad de la corriente y la distancia entre ambas secciones o zonas de dicho filete". (Petrucci). De ello se deduce que la densidad de corriente, cuando $V = 1$ será inversamente proporcional a la distancia " l " entre ambas secciones.

Hasta aquí todas las consideraciones sobre el recorrido de la corriente en el subsuelo, y las líneas o superficies equipotenciales en el mismo, fueron realizadas en base a la homogeneidad e isotropía del medio atravesado, vale decir su resistencia específica se consideró uniforme y por lo tanto se encontraba exento de variaciones en su conductividad. Pero, si se supone ahora los electrodos insertos en un terreno no homogéneo, con fuertes variaciones de conductividad en su masa debido a diferencias en su resistencia específica y recorrido por una corriente eléctrica que fluye de uno a otro de los electrodos, se verá que las líneas de corriente se deforman con respecto al esquema anterior y por lo tanto las superficies equipotenciales sufrirán también deformaciones apreciables.

Recordando lo expresado anteriormente, en el sentido de que los filetes de corriente se pueden considerar como un "haz" de conductores paralelos en su recorrido, en la región media de los dos electrodos, se puede comprobar que dichos filetes seguirán un recorrido normal mientras el medio no presente variaciones de conductividad, pero al acercarse a un lugar cuya masa difiere en su resistencia específica, ya sea mayor o menor que la que lo rodea, veremos que dichos filetes se alejan o acercan respectivamente de dicha zona, acusando deformaciones apreciables en su recorrido (fig. 7).

Como ya sabemos que las líneas equipotenciales resultan invariablemente normales a las de corriente, independientemente de las variaciones de la resistencia específica, dichas líneas resultarán afectadas en su forma original solamente en su intersección con las líneas de corriente perturbadas.

Continuando con las líneas de corriente, tenemos que en el caso de atravesar una zona de mayor o de menor conductividad, la densidad de la corriente en los filetes afectados y en las proximidades de esa zona disminuirá, mientras que una zona de buena

conductividad —baja resistencia específica— los filetes se aglomeran, buscando pasar el mayor número por esa zona que les ofrece menor resistencia y por ello la densidad de la corriente será mayor en esa zona.

Como esas variaciones en la densidad determinan variaciones de los potenciales en los filetes, y las variaciones en los potenciales determinan líneas equipotenciales que llegan a la superficie, esas variaciones al paso de la corriente en el subsuelo se pueden observar con sólo seguir su recorrido desde la superficie a través de la medida que arrojan las diferencias de potencial sobre

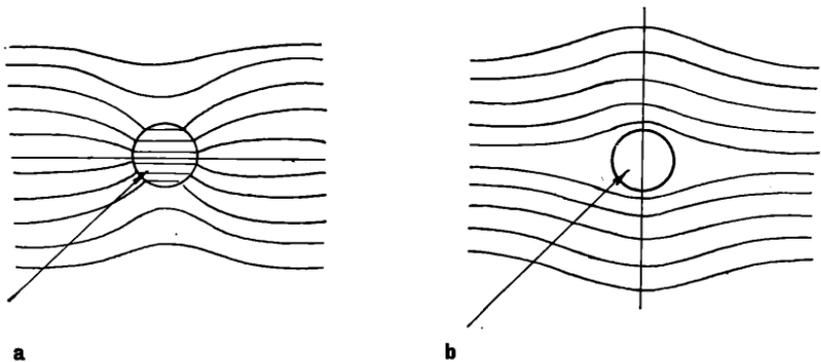


Fig. 7. — *a*, Zona de resistencia específica menor que el medio que la rodea (mayor conductividad). *b*, Zona de resistencia específica mayor que el medio que la rodea (menor conductividad).

las superficies equipotenciales generadas, principio general de la prospección geoelectrica del subsuelo y sobre el que se basan la mayor parte de los métodos eléctricos, entre los cuales se encuentra el de Wenner utilizado en este caso particular y que se detalla a continuación.

B. EL MÉTODO DE WENNER.

Wenner en el año 1916 ideó un método simple para realizar el sondaje eléctrico del subsuelo, basándose en la medida indirecta de la resistencia específica aparente del subsuelo. Dicho método es también conocido como el “método de los cuatro puntos”, ya que se utilizan cuatro electrodos, dos extremos o primarios y dos interiores o secundarios. Todo el método descansa en los principios generales del recorrido de la corriente eléctrica en

el subsuelo y la medida de los diferentes potenciales que se originan al atravesarlo, como ya se enumeró precedentemente. Para el logro de los fines perseguidos, Wenner dispuso los siguientes circuitos (fig. 8):

Dos electrodos primarios, metálicos y puntiformes insertados en el suelo, que designaremos con las letras A y B respectivamente; conectando el electrodo A a un polo de una fuente de energía eléctrica (c.c.). El otro polo de la fuente de corriente continua se conecta a un borne de un instrumento para medir pequeñas cantidades de corriente —miliamperímetro—, el que se encuentra

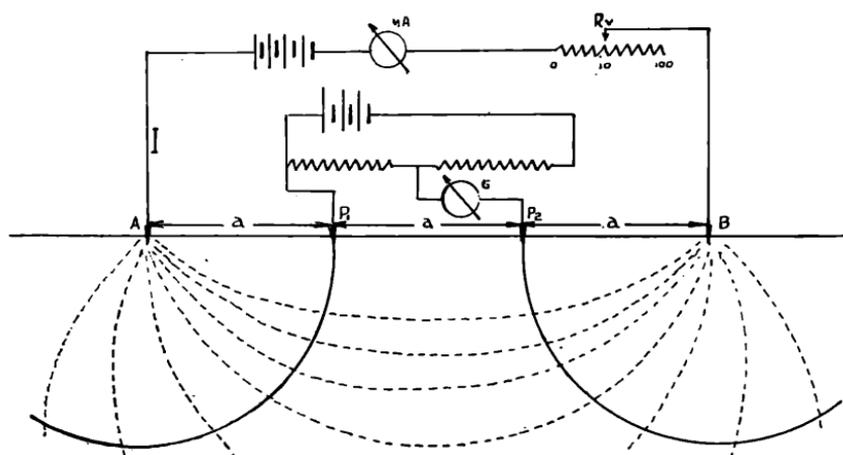


Fig. 8. — Esquema del método de Wenner para la prospección eléctrica del subsuelo determinando la resistencia específica aparente. (Petrucci)

conectado a su vez con una resistencia cuyos valores seccionales son perfectamente conocidos y el cursor de la misma se conecta al electrodo B, cerrándose así el circuito.

Esta disposición de elementos constituye el *circuito primario* que envía corriente al subsuelo por medio de los electrodos A y B; corriente cuya intensidad se puede medir mediante el miliamperímetro y variar a voluntad por medio de la resistencia variable. La diferencia de potencial entre los polos de la pila es perfectamente establecida "a priori". Entre ambos electrodos se producirán las líneas de corriente ya conocidas.

La distancia entre los electrodos A y B se divide en tres partes iguales, de manera que $AB = 3a$, y a una distancia "a" de cada uno de los electrodos primarios se instalan en el suelo, for-

mando una línea recta, dos nuevos electrodos que designaremos P_1 y P_2 , llamados *secundarios*. Estos nuevos electrodos se conectan, como lo muestra el esquema, en serie con un galvanómetro o potenciómetro G y dos o más resistencias cuyos valores son perfectamente conocidos, como así también a los polos de una nueva fuente de corriente continua cuya diferencia de potencial se ha determinado previamente.

Como se aprecia en la figura nº 8, las líneas de corriente originadas en el electrodo A atraviesan el subsuelo en todas direcciones en demanda del electrodo B, formando el clásico campo eléctrico.

La intensidad de la corriente eléctrica que fluye de la fuente de c.c. y se introduce en el suelo, puede medirse fácilmente mediante el miliamperímetro en forma permanente mientras dure la operación y/o variarse a voluntad por medio de la resistencia R_v .

Como la distancia AB se encuentra dividida en tres partes iguales, en los puntos que se encuentran instalados los electrodos secundarios P_1 y P_2 , necesariamente pasarán dos superficies equipotenciales del mismo valor, pero de distinto signo, siempre que se cumplan los siguientes requisitos: si se mantienen constantes los valores de densidad de corriente que circula entre A y B y que la resistencia específica del medio sea igual a "1", entonces la aguja del galvanómetro o potenciómetro intercalado en el circuito secundario se mantendrá en cero o en un valor determinado si se trata del segundo instrumento. Pero si se varía la resistencia del subsuelo, vale decir las líneas de corriente ya no realizan el mismo recorrido que en el ejemplo anterior, las superficies equipotenciales que pasan por los puntos P_1 y P_2 tendrán potenciales diferentes, diferencia originada en las variaciones que experimentó la resistencia específica del suelo, la que a su vez modificó la densidad de la corriente, circunstancias que determinan una caída de potencial acentuada a lo largo del recorrido de los filetes de corriente, principalmente en el tramo que media entre las dos superficies equipotenciales que pasan por P_1 y P_2 .

En base a esta diferencia de potencial, cuyos valores se miden en el circuito secundario, y al valor de la intensidad de la corriente que circula por el circuito primario y las distancias entre

los electrodos, se puede determinar la resistencia específica aparente del subsuelo.

Recordando la fórmula general (3) que determinaba la distribución de los potenciales entre dos electrodos, a través de los cuales pasa una corriente "I" y asimilando dicha expresión a los potenciales de los electrodos P_1 y P_2 , se puede determinar el potencial que posee cada superficie equipotencial que pasa por dichos puntos. Así para

$$Vp_1 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right)$$

$$Vp_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Pero como se dijo más arriba, es preciso fijar la diferencia de potencial entre los puntos P_1 y P_2 ya que los valores absolutos de Vp_1 y Vp_2 serán diferentes en base a las distancias r , r' , r_1 y r_2 , entonces se resta de Vp_1 el valor de Vp_2 :

$$V = Vp_1 - Vp_2$$

Reemplazando valores:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right) - \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right) - \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right] \quad (4)$$

Si se establece que:

$r = "a"$ distancia desde P_1 hasta A.

$r' = "2a"$ " " P_1 " B.

$r_1 = "2a"$ " " P_2 " A.

$r_2 = "a"$ " " P_2 " B.

se pueden reemplazar estos valores en (4)

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \right]$$

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right]$$

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{2}{a} - \frac{2}{2a} \right]$$

$$V = \frac{\rho I}{2\pi \cdot a}$$

De esta expresión se puede deducir el valor de ρ o sea la resistencia específica del medio, cuyo valor aparente se ignora:

$$\rho = 2\pi \cdot a \frac{V}{I}$$

que es la fórmula de Wenner para conocer el valor de la resistencia aparente del subsuelo, que muy difícilmente puede compararse con el valor absoluto de la resistencia eléctrica real de cada terreno.

Se estableció anteriormente que si la distancia entre dos electrodos aumenta, la diferencia de potencial entre dos secciones de un mismo filete de corriente varía en relación directa a dicha separación; en el método de Wenner al separar los electrodos primarios A y B se deben separar también los electrodos secundarios P_1 y P_2 manteniendo siempre la relación de distancias $AB = 3a$ y así aunque el valor absoluto de V_{P_1} aumente, también aumentará en la misma proporción el valor absoluto de V_{P_2} , por lo que el valor de ρ se mantendrá constante si el medio es homogéneo.

Al aumentar la separación de los electrodos, la intersección de las superficies equipotenciales que pasan por P_1 y P_2 , con las líneas de corriente, se producirá en zona más profunda, y teniendo en cuenta que los filetes de corriente se tornan horizontales y de densidad uniforme en una longitud bastante apreciable en profundidad, se ha establecido que la distancia "a" equivale a la profundidad en que se produce dicha intersección. En otras palabras, *la distancia en que se encuentran separados los electrodos entre sí, está dando la profundidad a que se realiza el sondaje.*

Como se ha visto, mediante sucesivas separaciones de los electrodos primarios y secundarios, se podrá ir explorando el sub-

suelo en profundidad y estableciendo las variaciones que experimente la resistividad aparente del subsuelo, originadas por la presencia de vetas de minerales, capas de complejos litológicos diversos, napas de agua con sales en disolución, petróleo, etc.

Este método, sin embargo, presentaba algunos inconvenientes, ya que como emplea una fuente de corriente continua, es imprescindible el uso de electrodos secundarios o potenciométricos impolarizables a fin de contrarrestar los efectos nocivos para las mediciones, de las corrientes telúricas, vagabundas, tensiones de polarización, etc. Para evitar estos efectos nocivos debería ejecutarse cada medición dos veces, invirtiendo la polaridad en los electrodos.

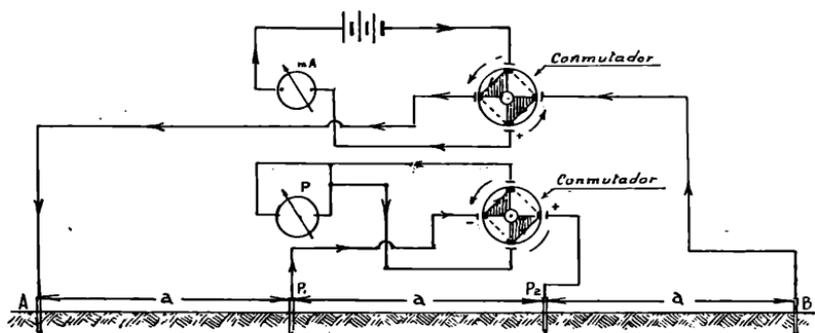


Fig. 9. — Esquema de la modificación de Gish y Rooney, al método de Wenner para la medida de la resistencia aparente

C. MODIFICACIONES DE GISH Y ROONEY

Es por los inconvenientes apuntados anteriormente, que H. Gish y W. J. Rooney en el año 1925, y también para evitar el uso de sondas o electrodos impolarizables que también presentan algunos inconvenientes en su uso, idearon una modificación al método de Wenner, sólo en lo que al cambio de signo de la corriente se refiere.

Intercalaron dos conmutadores rotativos y axiales en los circuitos primario y secundario, respectivamente, que girando en el mismo sentido, enviaban la corriente continua al subsuelo por medio de los electrodos A y B cambiándole el signo con una frecuencia de treinta rotaciones por segundo. De esta manera la corriente continua se transforma en una corriente pulsante de onda semi-rectangular, sin alcanzar a ser alterna por las características intrínsecas de la onda.

Las tensiones recogidas en los electrodos P_1 y P_2 recomponen su signo nuevamente al pasar por el conmutador del circuito secundario (ver fig. 9). Mediante este dispositivo, se pueden usar electrodos metálicos, sin peligro de los disturbios enumerados anteriormente, y no existe la necesidad de repetir las operaciones cambiando la polaridad en los electrodos.

IV. INSTRUMENTAL UTILIZADO

A. ORIGEN

El aparato de prospección geoelectrica utilizado en este ensayo, pertenece a la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía de La Plata y fue recientemente adquirido al Instituto de Física Cósmica de San Miguel, República Argentina, donde se construyen con la denominación de Resistímetro "I.S.M.", empleando en su construcción un alto porcentaje de materiales electrónicos de industria nacional. El modelo de Resistímetro ensayado, corresponde al n° 3, ya que también el citado Instituto fabrica un modelo denominado n° 2 equipado con un milivoltímetro de mayor sensibilidad que permite mediciones más exactas.

El modelo ensayado es muy indicado para la prospección geoelectrica en profundidad y sus principios de funcionamiento se basan en el "método de los cuatro puntos" o de Wenner para la medida de la resistencia aparente del subsuelo y cuenta con las modificaciones de Gish y Rooney. Su alcance en profundidad se encuentra limitado sólo por la separación que se pueda dar a los electrodos entre sí.

B. DESCRIPCIÓN DEL APARATO

Consta esencialmente de dos cuerpos que se conectan entre sí por medio de cinco conductores reunidos en un cordón conector provisto de sendas fichas terminales de cinco patas. Uno de los cuerpos consta de una caja de metal en cuyo interior se colocan 4 elementos de batería de 45 V. cada uno, tipo medio pesado, secas, de las utilizadas en radiotelefonía, conectadas en serie y que alcanzan un potencial total de 180 V. en c.c. La caja está provista de bornes auxiliares con salidas a 45, 90, 135 y 180 volts.

El otro cuerpo del equipo es el resistímetro propiamente dicho, con caja metálica, rústica, apropiada para el trabajo en campaña y que se encuentra munida de los siguientes instrumentos de medición eléctrica y accesorios:

- a) Un miliamperímetro de industria nacional con escala de 0 a 10, cuyas lecturas en miliamperes se pueden hacer desde 0 hasta 1.000, mediante la desconexión de valores de resistencia conectados en serie en el circuito, que se seleccionan con una llave ubicada en la parte inferior y central del aparato. Este instrumento se encuentra conectado en serie con los electrodos primarios n^{os} 1 y 2.
- b) Un milivoltímetro de 0 a 100 mV, importado, con una sensibilidad de 10.000 ohms/volt, que ocupa la región central del aparato y conectado en serie con los electrodos n^{os} 3 y 4.
- c) Un voltímetro para corriente continua con escala de 0 a 250 V., de industria nacional, situado en la zona superior derecha. Este voltímetro mide las tensiones que mediante el selector de la parte inferior derecha, son enviadas al subsuelo por los electrodos primarios, a los cuales se encuentra conectado en paralelo.
- d) Hacia la parte inferior izquierda del aparato se encuentran cuatro enchufes numerados, en los cuales se acoplan los cables que terminan en los electrodos; corresponden los números 1 y 2 a los electrodos externos o primarios y el 3 y 4 a los internos o secundarios.
- e) Más abajo se encuentra un pulsador en cuya base se indica "Lectura" y que cierra el circuito entre el doble inversor, el miliamperímetro, el voltímetro, las baterías y los electrodos N^{os} 1 y 2. Debe mantenerse presionado cada vez que se realicen lecturas en los instrumentos.
- f) Existe también una llave marcada "Trabajo" con las posiciones "1" y "2", que desconecta el milivoltímetro del circuito de las electrodos 3 y 4 en la posición "1", conectando simultáneamente esos electrodos el circuito de los secundarios n^{os} 3 y 4. En la posición "2" restablece la independencia de los circuitos y conecta nuevamente el milivoltímetro al circuito secundario.

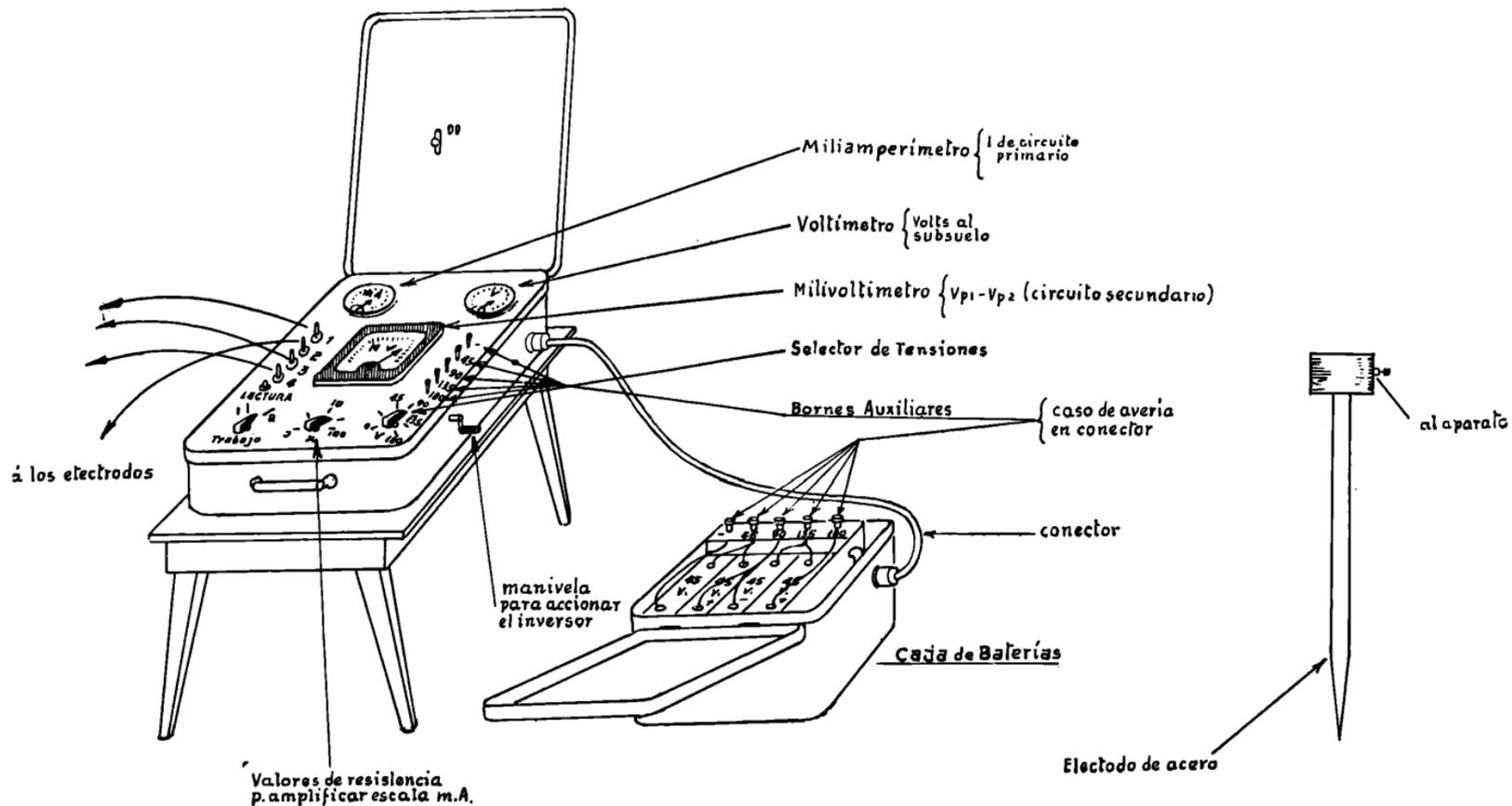


Fig. 10. --- Resistímetro «ISM-3»

- g) En el costado derecho del aparato se instala una manivela desmontable, que acciona el doble inversor de Gish-Rooney, destinado a invertir la polaridad de la corriente a razón de 1.200/1.800 ciclos por segundo — debido a su multiplicación —, y más alejado se encuentra el enchufe que aloja la ficha de cinco terminales del cable conector proveniente de la caja de baterías. En caso de averías en el conector se puede interconectar la caja de baterías con el cuerpo principal del aparato mediante conductores aislados que unen los bornes auxiliares, de los que se encuentran mudos ambos cuerpos del Resistímetro “I.S.M.”.

La figura nº 10 muestra un aspecto general del equipo y su disposición en el campo listo para operar. La figura nº 11 enseña el circuito general esquematizado del instrumental.

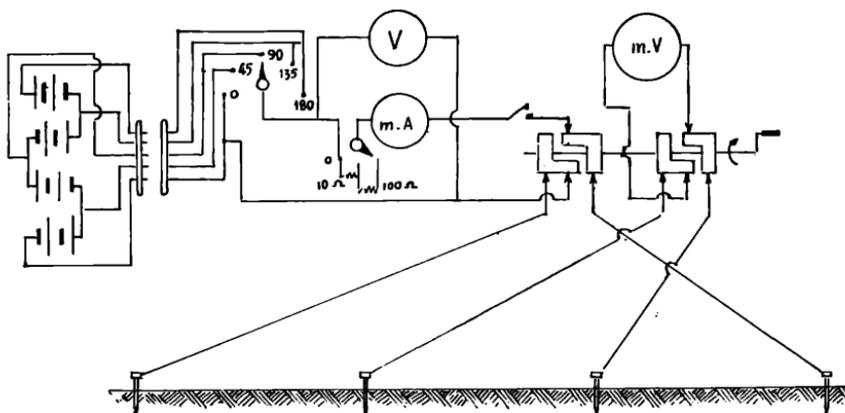


Fig. 11. --- Circuito general del Resistímetro « I. S. M »

C. PLANILLA Y MANEJO DE LOS DATOS PARA EL CÁLCULO

A fin de ejecutar ordenadamente los cálculos en gabinete, se han confeccionado planillas especiales, adaptadas para este aparato, con el objeto de volcar en ellas los datos recogidos en el campo. Su encabezamiento consta de un espacio donde se consigna someramente el lugar en que se realizó el sondaje y su fecha de ejecución.

De izquierda a derecha y debajo del encabezamiento se encuentran tres columnas comprendidas bajo la denominación común de

“Para R_1 ” y que están designadas con los símbolos “V”, “MA”, y “MA. y_2 ”, respectivamente.

Se entiende por R_1 , la resistencia al paso de la corriente, que ofrecen los elementos e instrumentos del aparato y que pueden inducir a error en las lecturas del milivoltímetro si no se calcula su valor previamente en cada operación.

En la columna “V” se anotan los volts registrados en el voltímetro directamente, previa elección del voltaje a introducir en el subsuelo. Colocada la llave marcada “Trabajo” en la posición “1” y girando la manivela del doble inversor a razón de dos o tres vueltas por segundo, se aprieta el botón marcado “lectura” y leen los miliamperes que indica el miliamperímetro anotándolos en la columna “MA”.

Como el doble inversor de Gish-Rooney hace pasar una corriente pulsante también por los aparatos de medida, éstos no reciben corriente en forma continuada, sino a pequeñísimos intervalos, lo que determina que sus lecturas resulten más bajas de lo que realmente deberían ser. Por ello hay que multiplicar sus lecturas por un factor de corrección determinado, que es propio para cada inversor y para cada instrumento de medida. El factor de corrección para el miliamperímetro, que en la planilla se designa “ y_2 ”, vale 1,57 y debe multiplicarse por la lectura de la columna precedente, colocando su resultado en la columna “MA. y_2 ”.

Con estos datos, voltios y miliamperes se está en condiciones de calcular el valor de R_1 , ya que por la ley de Ohm: $R = \frac{V}{I}$ pero como I está dada en miliamperes, es necesario transformar “V” en milivoltios, para lo cual el dato del voltímetro se multiplica por 1.000. Entonces $R_1 = \frac{V \times 1.000}{MA}$; los miliamperes serán los corregidos de la columna “MA. y_2 ”.

Con este valor de R_1 , se está en condiciones de determinar el potencial verdadero del aparato, usando la siguiente ecuación:

$$V_v = V_a \left(1 + \frac{R_1}{R_i} \right) \quad (5)$$

pero si llamamos z al término $\left(1 + \frac{R_1}{R_i} \right)$ y reemplazamos en (5),

$$V_v = V_a \cdot z.$$

V_v = Potencial verdadero en volts.

V_a = Potencial aparente indicado por la lectura del milivoltímetro.

R_1 = Resistencia total del circuito.

R_i = Resistencia interna del milivoltímetro = 1.100 ohms.

Reemplazando el valor absoluto de R_i en z se tiene:

$$z = \left(1 + \frac{R_1}{1.100} \right)$$

que para facilitar el cálculo se puede expresar así: $z = \frac{1.100 + R_1}{1.100}$

valor que se consigue en la columna siguiente a R_1 .

El potencial verdadero del circuito secundario se calcula multiplicando el potencial aparente leído en el milivoltímetro, por el factor de corrección del instrumento ($y_1 = 1,51$) y por el factor "z" recién calculado.

La lectura previa en el milivoltímetro se efectúa pasando la llave marcada "Trabajo" a la posición "2" y presionando el pulsador "Lectura" se gira la manivela del inversor al régimen de 2 a 3 vueltas por segundo.

Simultáneamente se debe registrar la lectura en el miliamperímetro y consignar ambas en las columnas "V" (MV) e "I" (MA), respectivamente. La nueva lectura en miliamperes también debe ser corregida, por lo que se multiplica por el factor de corrección y_2 , que vale 1,57.

Recordando la fórmula de Wenner para la resistencia aparente:

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot \frac{V}{I}$$

donde:

a = separación de los electrodos en centímetros.

V = potencial verdadero entre electrodos 3 y 4.

I = corriente que circula entre electrodos 1 y 2.

se puede simplificar la expresión anterior llamando K al factor $2\pi \cdot a$, entonces:

$$\rho = K \cdot \frac{V}{I}$$

El valor del factor K se puede tabular previamente y así se obtendrá rapidez en el cálculo. Con estos datos se está en condiciones de obtener el valor de ρ para la profundidad prospectada, valor que se anota en la antepenúltima columna. En la columna siguiente se consignan las sucesivas separaciones de los electrodos al ir explorando el subsuelo en profundidad.

Puede ocurrir, por requerirlo así generalmente la localización de horizontes especiales, que la exploración se realice en forma horizontal a una profundidad constante, en cuyo caso la separación de los electrodos será siempre la misma, equivalente a la profundidad explorada, variando la posición de los cuatro electrodos sobre la superficie del terreno solamente, ya que se trasladan al unísono en la extensión elegida, para cada nueva estación.

En este supuesto, el pie de la planilla se puede indicar con un breve esquema el número de estaciones realizadas, la dirección seguida a partir del arranque y la separación en metros entre estaciones. Cualquier nota aclaratoria se puede destacar en la columna que al efecto posee la planilla.

D. CONSIDERACIONES PREVIAS A UN SONDAJE

La ejecución de un sondeo geoelectrico con fines de localización de napas de aguas subterráneas para su posterior alumbramiento y utilización en agricultura, generalmente se realiza en zonas áridas o semiáridas donde la necesidad de agua para riego en grandes cantidades es perentoria y el coste de una perforación en dichas zonas resulta muy elevado, con el agravante que la misma puede llegar a ejecutarse en lugares donde si bien existen aguas subterráneas, las napas alumbradas no poseen los caudales y/o calidades deseadas, con el consiguiente desmedro para la economía del agricultor.

Con el objeto de obviar situaciones molestas al operador y evitar desilusiones a todo aquel que en la posibilidad de adquirir un aparato de prospección, crea individualizar directamente la presencia del agua subterránea por la interpretación matemática de los valores obtenidos solamente, el autor de este trabajo estima necesario ajustarse a ciertas normas generales que deben tomarse en cuenta antes de la ejecución de un sondeo, cualquiera sea la zona a operar, ya que no es posible especificar reglas o normas para las inves-

tigaciones geoelectricas, por cuanto cada zona exige una adaptación en el desarrollo de los trabajos.

Las "normas" que se enumeran a continuación son fruto de la experiencia recogida en el presente ensayo y en términos generales se pueden destacar las siguientes:

- 1) Reunir todos los antecedentes geológicos e hidrogeológicos de la zona en estudio existentes en trabajos, ensayos, cartas, indicios hídricos existentes, etc., para conformar un mejor conocimiento de la constitución hidrogeológica del subsuelo. Siempre este estudio previo ayudará enormemente la posterior interpretación de los resultados que arroje el trabajo y así estimar con mayor margen de seguridad la presencia de las napas subterráneas.
- 2) Conocimiento de la topografía de la zona del sondaje, así mediante el estudio de las curvas de nivel se determina la orientación y exposición de los horizontes superficiales con sus cursos de aguas, si los hubiera.
- 3) Estudio previo de la cuenca hidrogeológica de la región, con especial atención de los cursos de aguas subterráneas y/o grandes reservorios, ya que sus regímenes pueden orientar al operador a la ejecución de la prospección en una zona apropiada.
- 4) Determinado el lugar del sondaje, en base a las consideraciones anteriores, se tratará que el mismo resulte lo más representativo posible de la zona en estudio, alejado de toda fuente de perturbación geoelectrica, tales como: cables eléctricos subterráneos, cañerías conductoras de líquidos, obras subterráneas diversas, etc. Se ha comprobado también que las raíces de árboles corpulentos perturban las indicaciones de los instrumentos de medida, al obrar como verdaderos caños conductores de líquidos.
- 5) Limpiar en lo posible el lugar, de la vegetación herbácea, en una extensión triple a la profundidad máxima que alcanzará el sondaje y en un ancho de un metro, aproximadamente.
- 6) Nunca se ejecutará un sondaje en horas muy tempranas, máxime si el mismo es horizontal y se lleva a cabo con

presencia de vegetación herbácea, pues ésta se encuentra mojada con el rocío y perturba las indicaciones de los instrumentos.

- 7) Tratar de marcar una línea recta, ya sea con un hilo u otro material no conductor, a lo largo del trayecto en que se desplazarán los cuatro electrodos si el sondaje es en profundidad, ya que éstos se deben mantener invariablemente en línea recta.
- 8) Al enterrar los electrodos se verá que los cuatro se encuentran a la misma profundidad, pues aunque ello no parezca primordial, la experiencia recogida lo aconseja.
- 9) Se sugiere que los operadores auxiliares o ayudantes utilizados para trasladar los electrodos sobre el terreno, e hincarlos, respeten en todo momento la proporción $AB = 3a$, pues esta condición es fundamental para la buena marcha de las operaciones. Instruirlos en tal sentido. Se aconseja preparar con antelación en planilla "ad-hoc" las sucesivas distancias a que se instalarán los electrodos.
- 10). Constatar antes de salir a campaña que el equipo se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento, reparando las averías más comunes que se puedan presentar, tales como: cables de electrodos con pérdidas en su aislación, fichas de los cables con falsos contactos o averiadas y principalmente verificar la carga de las baterías, reponiéndolas si los elementos están agotados.

E. OPERATIVO EN CAMPAÑA

Seleccionado el lugar donde se ejecutará el sondaje geoelectrico definitivo, se instalará el aparato al centro de la faja de terreno sobre la que se desplazarán los electrodos y hacia un costado de la misma.

Conectar la Caja de Baterías al Resistímetro mediante el cable conector, alojando las fichas terminales en forma correcta en sus respectivos receptáculos. Abrir el resistímetro e instalar la manivela que acciona el doble inversor de corriente. No se debe accionar sin estar instalados los electrodos en el suelo.

Proceder a la instalación de los electrodos. Para ello es conveniente disponer previamente los cables correspondientes en carretes numerados e instalarles en la extremidad que va al Resitímetro, fichas coloreadas que ayudan a su rápida individualización. Desenrollar totalmente los cables y tenderlos sobre el terreno de tal forma que describan una gran curva individual, así no se corre el peligro de futuros enredos en las operaciones de desplazamiento que vendrán. Seguir la dirección que le corresponde a cada conductor, de acuerdo con la ubicación del electrodo correspondiente.

Hincar los electrodos a lo largo de la línea trazada, a la distancia convenida de antemano. No hacerlos penetrar en el suelo más de sus $2/3$ partes. Se puede golpear con un mazo de madera sobre la cabeza de los mismos para ayudar la penetración en terrenos muy compactos.

Conectar a los electrodos el terminal del cable correspondiente. Dispuesto el equipo de acuerdo a lo indicado, se está en condiciones de operarlo y recoger los datos que señalen sus instrumentos.

a) *Medición de R_1* . — Se selecciona el voltaje a enviar al subsuelo mediante el selector correspondiente (parte inferior derecha). La llave marcada "Trabajo" se coloca en la posición "1" y girando la manivela del doble inversor a 2 ó 3 vueltas por segundo, presionar el pulsador "Lectura".

Se anotan las lecturas simultáneas del voltímetro y del miliamperímetro en las correspondientes columnas de la planilla: "Para R_1 " en V y MA, respectivamente. Se recomienda no apretar el pulsador si no está funcionando el doble inversor. En tal caso la lectura no se ajustará a datos verosímiles, pues estaría distorsionada por las corrientes telúricas, vagabundas, etc.

Si se desea una mayor amplitud en la escala del miliamperímetro, se desconectan resistencias en el circuito del miliamperímetro, por medio del selector de 3 posiciones "0", "10" y "100", en cuyo caso la lectura directa en la escala del instrumento se multiplica por el valor desconectado. La práctica aconseja trabajar con la aguja del instrumento en la zona media de la escala.

Al mover la llave marcada "Trabajo" a la posición "1" se desconecta automáticamente el milivoltímetro del circuito secundario y se conectan los electrodos 3 y 4 ó secundarios, al circuito primario a fin de que pase corriente a través de todo el circuito a tierra y

medir así la resistencia propia del sistema. Esta operación debe realizarse en cada medición, pues como el terreno no es homogéneo, R_1 variará en cada nueva posición de los electrodos.

b) *Medición de I y V para determinar ρ* . — Girar la llave “Trabajo” a la posición “2”; accionando el inversor al mismo régimen anterior, pulsar el botón “Lectura” y registrar las lecturas simultáneas del milivoltímetro y del miliamperímetro. Estos datos se anotan en las columnas “V” e “I” de la sección designada “Para resistencia-lecturas” en la planilla.

c) *Aumento de profundidad*. — Al comenzar el sondaje conviene marcar con una ficha topográfica el punto medio entre los electrodos 3 y 4, para así tener un punto de referencia para la medida de las futuras traslaciones de todos los electrodos, los que a partir de ese punto se irán alejando hacia la derecha y la izquierda, respectivamente.

Como método práctico y a fin de mantener constante la relación $AB = 3a$, conviene recordar que si los electrodos 3 y 4 deben ser separados, por ejemplo, 100 cm más, a partir del punto medio o de arranque marcado se deben desplazar hacia la derecha y la izquierda los electrodos 3 y 4, sólo 50 cm cada uno, mientras que los electrodos 1 y 2 se desplazarán 3 veces más en ambos sentidos, o sea 150 cm más a partir de la nueva posición de los electrodos 3 y 4.

La experiencia sugiere la confección previa en gabinete, en base al plan de trabajo, de una planilla auxiliar del tipo que se ilustra a continuación para evitar confusiones en el campo:

	Separación de Electrodos	Incremento desde punto medio a 3 y 4	Incremento desde 3 y 4 hasta 1 2
Arranque	1.000 cm	500 cm	1.000 cm
	1.100 cm	50 cm	150 cm
	1.200 cm	100 cm	300 cm

Una vez aumentada la profundidad en el grado deseado, se procederá nuevamente conforme al operativo descrito anteriormente.

Interrumpir el suministro de corriente a los electrodos, mientras se ejecutan las maniobras de su desplazamiento.

V. SONDAJE GEOELECTRICO EN EL SUBSUELO PLATENSE

El autor del presente trabajo tuvo a su cargo la ejecución de un sondeaje geoelectrico principal, luego de varios ensayos previos, con vistas a la localización de las napas subterráneas que se encuentran ubicadas en el subsuelo local, a fin de probar la eficacia del aparato y también las bondades del método en él desarrollado.

Con el objeto de correlacionar los datos obtenidos y verificarlos, se comenzó por localizar una perforación bastante profunda y que contara con la documentación correspondiente a los diferentes estratos, capas y napas de agua por ella atravesada.

Con suma gentileza la Dirección de Obras Sanitarias de la Provincia de Buenos Aires por intermedio de su División Construcciones, colaboró en el aporte de perfiles, características y datos de ejecución de diversos pozos con que cuenta en el radio urbano y suburbano de la ciudad de La Plata, para el abastecimiento de agua potable a la población.

Por razones de ubicación, proximidad a terrenos más o menos libres de obras de urbanización y exentos de obras subterráneas de desagües, etc., se determinó ejecutar el sondeaje comparativo en las proximidades del pozo S-32-e que la mencionada dirección posee, ubicado sobre la acera SE de la calle 47 a pocos metros de la calle 1, cuyo perfil y demás datos originales acompañan este trabajo. La perforación alcanza la profundidad total de 65 m, pero en la imposibilidad de llegar a tal profundidad, por la carencia de conductores eléctricos que permitieran una separación de electrodos correspondiente a los 65 m, se alcanzó un máximo de 50 m con el sondeaje geoelectrico.

A. UBICACIÓN

El sondeaje fue realizado exactamente en el campo de deportes que el Colegio Nacional de La Plata posee en el solar comprendido por las calles 116 y 117, entre las de 49 y 50, ya que dicho punto ofrecía las mayores ventajas en lo que respecta a libertad de movimientos con el equipo, subsuelo libre de mejoras y escasez de vegetación herbácea o del tipo arbustivo. Asimismo y en forma principal, se tuvo en cuenta su proximidad al perfil de perforación ya conocido — testigo — y así poder establecer la correlación en los datos.

PLANILLA N° 1

PLANILLA DE CALCULO PARA RESISTIMETRO « ISM »

Lugar : Calles 116-117 e/49 y 50. Campo de deportes del Colegio Nacional

Fecha : Comienzo de las mediciones : 2-V-1961.

Perfil de la perforación del Pozo n° S-32-e de la D. O. S. P. B. A.

Para R _i			Sección	Para resistencias-lecturas		R _i $R = \frac{V \times 1000}{I - MA}$ Ω	Factor Z $\left(1 + \frac{R_i}{1100}\right)$ $= \frac{1100 + R_i}{1100}$	Medidas corregidas		Factor K	$\rho = K \times \frac{MV}{MA}$ Ω/cm	Separación de electrodos (cm)
V	MA	$\frac{MA \times Y_2}{Y_2 = 1,57}$		V (MV)	I (MA)			V MV × Z × Y ₁ Y ₁ = 1,51	I MA × Y ₂ Y ₂ = 1,57			
40	70	109,90	« A »	100	62	364	1,33	200,80	97,34	628,32	650	100
40	72	113,04	»	46	66	354	1,321	91,75	103,62	1256,64	1.112	200
40	60	94,20	»	34	83	425	1,386	71,15	130,31	1884,96	1 029	300
40	60	94,20	»	24	93	425	1,386	50,23	146,01	2513,28	865	400
40	65	102,05	»	20	200	392	1,356	40,95	314,00	3144,60	410	500
40	66	103,62	»	15	96	386	1,35	30,58	150,72	3769,92	765	600
40	94	147,58	»	15	200	271	1,246	28,22	314,00	4084,08	367	650
40	120	188,40	»	19	140	212	1,192	34,20	219,80	4146,91	645	660
40	140	219,80	»	18	160	182	1,165	31,66	251,20	4209,74	530	670
40	150	235,50	»	16	160	170	1,154	27,88	251,20	4272,57	474	680
40	170	266,90	»	15	200	150	1,136	25,73	314,00	4335,40	355	690
80	420	659,40	« B »	28	460	121	1,11	46,93	722,20	4398,24	286	700
80	300	471,00	»	30	320	170	1,154	52,27	502,40	4461,07	464	710

Esquema de Secciones

Las secciones se encuentran indicadas en la copia del perfil correspondiente al pozo n° S-32-e que se agrega al final.

ANTONIO F. RIZZO, Ensayo de Resistimetria en suelos, etc.

PLANILLA Nº 2

Lugar : Indicado en Planilla Nº 1

Fecha : — — —

Para R_1			Sección	Para resistencias-lecturas		$R_1 = \frac{V \times 1000}{I = MA}$ Ω	Factor Z $\left(1 + \frac{R_1}{1100}\right)$ $= \frac{1100 + R_1}{1100}$	Medidas corregidas		Factor K	$\rho = K \times \frac{MV}{MA}$ Ω/cm	Separación de electrodos (cm)
V	MA	$\frac{MA \times Y_2}{Y_2 = 1,57}$		V (MV)	I (MA)			V $MV \times Z \times Y_1$ $Y_1 = 1,51$	I $MA \times Y_2$ $Y_2 = 1,57$			
80	295	463,15	« B »	33	345	173	1,157	57,65	541,65	4523,90	481	720
80	260	408,20	»	29	270	196	1,178	51,58	423,90	4586,73	558	730
80	260	408,20	»	28	250	196	1,178	49,80	392,50	4649,56	590	740
80	200	314,00	»	32	220	255	1,231	59,48	345,40	4712,39	811	750
80	160	251,20	»	31	220	318	1,289	60,34	345,40	5026,56	878	800
80	180	282,60	»	31	220	283	1,257	58,84	345,40	5089,39	867	810
80	200	314,00	»	28	240	255	1,231	52,04	376,80	5152,22	711	820
80	210	329,70	»	22	210	242	1,22	40,53	329,70	5215,05	641	830
80	220	345,40	»	18	175	231	1,21	32,89	274,75	5277,88	632	840
80	220	345,40	»	22	230	231	1,21	40,19	361,10	5340,71	594	850
80	470	737,90	»	23	600	108	1,098	38,13	942,00	5403,54	219	860
80	420	659,40	»	24	700	121	1,11	40,22	1099,00	5466,37	200	870
80	450	706,50	»	24	580	113	1,102	39,97	910,60	5529,20	242	880

Esquema de Secciones

PLANILLA N° 3

Lugar : Indicado en Planilla N° 1

Fecha : — — —

Para R ₁			Sección	Para resistencias-lecturas		R = $\frac{R_1}{\frac{V \times 1000}{I} - MA}$	Factor Z $\left(1 + \frac{R_1}{1100}\right)$ $= \frac{1100 + R_1}{1100}$	Medidas corregidas		Factor K	$\rho = K \times \frac{MV}{MA}$ Ω/cm	Separación de electrodos (cm)
V	MA	$\frac{MA \times Y_2}{Y_2 = 1,57}$		V (MV)	I (MA)			V $\frac{MV \times Z \times Y_1}{Y_1 = 1,51}$	I $\frac{MA \times Y_2}{Y_2 = 1,57}$			
80	520	816,40	« B »	23	700	111	1,1	38,20	1.099,00	5592,03	194	890
80	620	973,40	« C »	23	800	82	1,074	37,30	1.256,00	5654,88	168	900
80	520	816,14	»	20	720	98	1,089	32,89	1.130,40	5717,71	166	910
80	675	1.059,75	»	20	720	75	1,068	32,25	1.130,40	5780,54	165	920
75	550	863,50	»	20	580	87	1,079	32,58	910,60	5843,37	209	930
75	680	1.067,60	»	20	680	70	1,063	32,10	1.067,60	5906,20	177	940
75	700	1.099,00	»	20	760	58	1,052	31,77	1.193,20	5969,04	159	950
80	120	188,40	»	15	160	424	1,385	31,37	251,20	6597,36	824	1.050
80	160	251,20	»	17	200	318	1,289	33,09	314,00	7225,68	761	1.150
80	200	314,00	»	12	180	255	1,231	22,30	282,60	7854,00	620	1.250
80	180	282,60	»	13	150	283	1,257	24,67	235,50	8242,32	888	1.350
80	130	204,10	»	12	150	392	1,356	24,57	235,50	9110,64	950	1.450
80	160	251,20	»	15	180	318	1,289	29,19	82,60	9173,47	623	1.460

Esquema de Secciones

PLANILLA N° 4

Lugar : Indicado en Planilla N° 1

Fecha : — — —

Para R ₁			Sección	Para resistencias-lecturas		R ₁ $R = \frac{V \times 1000}{I - MA}$ Ω	Factor Z $\left(1 + \frac{R_1}{1100}\right)$ $= \frac{1100 + R_1}{1100}$	Medidas corregidas		Factor K	$\rho = K \times \frac{MV}{MA}$ Ω/cm	Separación de electrodos (cm)
V	MA	$MA \times Y_2$ $Y_2 = 1,57$		V (MV)	I (MA)			V $MV \times Z \times Y_2$ $Y_2 = 1,51$	I $MA \times Y_2$ $Y_2 = 1,57$			
80	160	251,20	« D »	15	180	318	1,289	29,19	282,60	9236,30	954	1.470
75	160	251,20	»	15	170	298	1,271	28,79	266,90	9299,13	1.003	1.480
75	140	219,80	»	14	160	341	1,31	27,69	251,20	9361,96	1.032	1.490
75	140	219,80	»	12	140	341	1,31	23,73	219,80	9424,80	1.017	1.500
75	200	314,00	»	13	190	239	1,217	23,89	298,30	9487,63	760	1.510
75	200	314,00	»	12	180	239	1,217	22,05	282,60	9550,46	807	1.520
75	160	251,20	« E »	14	180	298	1,271	26,87	282,60	10053,12	956	1.600
75	150	235,50	»	10	180	318	1,289	19,46	282,60	10681,44	735	1.700
75	240	376,80	»	12	200	199	1,18	21,38	314,00	11309,76	769	1.800
75	240	376,80	»	12	200	199	1,18	21,38	314,00	11623,92	791	1.850
75	210	329,70	»	10	160	227	1,206	18,21	251,20	11686,75	847	1.860
75	260	408,20	»	10	230	184	1,167	17,62	361,10	11749,58	573	1.870
75	300	471,00	»	10	200	159	1,144	16,82	314,00	11812,41	633	1.880

Esquema de Secciones

PLANILLA N° 5

Lugar : Indicado en Planilla N° 1

Fecha : — — —

Para R ₁			Sección	Para resistencias-lecturas		R ₁ $R = \frac{V=1000}{I+MA}$ Ω	Factor Z $\left(1 + \frac{R_1}{1100}\right)$ $= \frac{1100+R_1}{1100}$	Medidas corregidas		Factor K	ρ = K × $\frac{MV}{MA}$ Ω/cm	Separación de electrodos (cm)
V	MA	$\frac{MA \times Y_2}{Y_2=1,57}$		V (MV)	I (MA)			V $MV \times Z \times Y_1$ Y ₁ =1,51	I $MA \times Y_2$ Y ₂ =1,57			
75	320	502,40	« E »	10	250	149	1,135	17,14	392,50	11875,24	518	1.890
75	300	471,00	« F »	13	220	159	1,144	22,45	345,40	11938,08	776	1.900
75	310	486,70	»	11	250	154	1,14	18,93	392,50	12000,91	579	1.910
75	320	502,40	»	10	250	149	1,135	17,14	392,50	12063,74	527	1.920
75	280	439,60	»	11	280	170	1,154	19,16	439,60	12126,57	528	1.930
75	300	471,00	»	10	240	159	1,144	17,27	376,80	12189,40	558	1.940
75	260	408,20	»	10	220	184	1,167	17,62	345,40	12252,23	625	1.950
75	250	392,50	»	12	250	191	1,173	21,24	392,50	12566,40	680	2.000
75	240	376,80	»	9	245	199	1,18	16,03	384,65	13194,72	550	2.100
75	250	392,50	»	6	230	191	1,173	10,61	361,10	13823,04	406	2.200
75	240	376,80	»	4	180	199	1,18	7,12	282,60	14451,36	364	2.300
75	220	345,40	»	6	230	217	1,197	10,84	361,10	15079,68	452	2.400
75	330	518,10	»	6	260	145	1,131	10,23	408,20	15393,84	386	2.450

Esquema de Secciones

PLANILLA N° 6

Lugar : Indicado en Planilla N° 1

Fecha : — — —

Para R ₁			Sección	Para resistencias-lecturas		R ₁ $R = \frac{V \times 1000}{I = MA}$ Ω	Factor Z $\left(1 + \frac{R_1}{1100}\right)$ $= \frac{1100 + R_1}{1100}$	Medidas corregidas		Factor K	$\rho = K \times \frac{MV}{MA}$ Ω/cm	Separación de electrodos (cm)
V	MA	MA × Y ₂ Y ₂ =1,57		V (MV)	I (MA)			V MV × Z × Y ₁ Y ₁ =1,51	I MA × Y ₂ Y ₂ =1,57			
75	240	376,80	« F »	7	210	199	1,18	12,47	329,70	15456,67	584	2.460
75	200	314,00	»	6	180	239	1,217	11,02	282,60	15519,50	605	2.470
75	220	345,40	»	7	180	217	1,197	12,64	282,60	15582,33	697	2.480
75	210	329,70	»	5	140	227	1,206	9,10	219,80	15645,16	647	2.490
75	220	345,40	« G »	5	150	217	1,197	9,02	235,50	15708,00	601	2.500
75	240	376,80	»	4	140	199	1,18	7,12	219,80	15770,83	511	2.510
75	220	345,40	»	4	150	217	1,197	7,21	235,50	15833,66	485	2.520
75	190	297,30	»	4	150	252	1,229	7,41	235,50	15896,49	500	2.530
75	180	281,60	»	6	160	266	1,241	11,23	251,20	15959,32	713	2.540
75	200	314,00	»	6	160	239	1,217	11,02	251,20	16022,16	703	2.550
75	300	471,00	»	13	320	159	1,144	22,45	502,40	16084,99	719	2.560
75	240	376,80	»	15	300	199	1,18	26,73	471,00	16147,82	916	2.570
75	220	345,40	»	12	280	217	1,197	21,69	439,60	16210,65	800	2.580

Esquema de Secciones

PLANILLA N° 7

Lugar : Indicado en Planilla N° 1

Fecha : — — —

Para R ₁			Sección	Para resistencias-lecturas		R = $\frac{R_1}{\Omega} = \frac{V \times 1000}{I - MA}$	Factor Z $(1 + \frac{R_1}{1100}) = \frac{1100 + R_1}{1100}$	Medidas corregidas		Factor K	$\rho = K \times \frac{MV}{MA}$ Ω/cm	Separación de electrodos (cm)
V	MA	MA × Y ₂ Y ₂ = 1,57		V (MV)	I (MA)			V MV × Z × Y ₁ Y ₁ = 1,51	I MA × Y ₂ Y ₂ = 1,57			
75	220	345,40	« G »	10	250	217	1,197	18,07	392,50	16273,48	749	2.590
75	230	361,10	« H »	12	250	207	1,188	21,52	392,50	16336,32	895	2.600
70	220	345,40	»	12	280	202	1,183	21,43	439,60	16399,15	799	2.610
70	250	392,50	»	14	320	178	1,29	27,27	502,40	16461,98	893	2.620
70	220	345,40	»	16	300	202	1,272	30,73	471,00	16524,81	1.078	2.630
70	250	392,50	»	12	280	178	1,161	21,04	439,60	16586,64	794	2.640
70	260	408,20	»	11	260	171	1,155	19,18	408,20	16649,47	782	2.650
70	260	408,20	»	11	260	171	1,155	19,18	408,20	16964,64	797	2.700
70	260	408,20	»	11	240	171	1,155	19,18	376,80	17592,96	895	2.800
70	250	392,50	»	11	240	178	1,161	19,28	376,80	18221,28	932	2.900
75	230	361,10	»	10	220	207	1,188	17,94	345,40	18723,93	972	2.980
75	220	345,40	»	12	220	217	1,197	21,69	345,40	18786,76	1.180	2.990
75	220	345,40	»	9	220	127	1,197	16,27	345,40	18849,60	888	3.000

Esquema de Secciones

PLANILLA Nº 8

Lugar : Indicado en Planilla Nº 1

Fecha : — — —

Para R_1			Sección	Para resistencias-lecturas		$R = \frac{V \times 1000}{I - MA}$ Ω	Factor Z $\left(1 + \frac{R_1}{1100}\right)$ $= \frac{1100 + R_1}{1100}$	Medidas corregidas		Factor K	$\rho = K \times \frac{MV}{MA}$ Ω/cm	Separación de electrodos (cm)
V	MA	$MA \times Y_2$, $Y_2 = 1,57$		V (MV)	I (MA)			V $MV \times Z \times Y_1$, $Y_1 = 1,51$	I $MA \times Y_2$, $Y_2 = 1,57$			
75	210	329,70	« H »	12	240	227	1,206	21,85	376,80	18912,43	1.097	3.010
75	210	329,70	« I »	10	220	227	1,206	18,21	345,40	18975,26	1.000	3.020
75	200	314,00	»	11	210	239	1,217	20,21	329,70	19038,09	1.167	3.030
75	180	282,60	« J »	10	220	265	1,200	18,12	345,40	19100,92	1.002	3.040
75	170	266,90	»	10	200	281	1,181	17,83	314,00	19163,75	1.088	3.050
75	160	251,20	»	9	180	298	1,271	17,27	282,60	19226,58	1.175	3.060
75	160	251,20	»	8	180	298	1,271	15,35	282,60	19289,41	1.048	3.070
75	160	251,20	« K »	10	160	298	1,271	19,19	251,20	19352,24	1.478	3.080
75	170	266,90	»	8	150	281	1,255	15,16	235,50	19415,07	1.250	3.090
75	170	266,90	»	10	160	281	1,255	18,95	251,20	19477,92	1.469	3.100
75	230	361,10	»	10	230	207	1,188	17,93	361,10	20106,24	998	3.200
75	220	345,40	»	7	220	217	1,197	12,65	345,40	20734,56	759	3.300
75	220	345,40	»	6	180	217	1,197	10,84	282,60	21362,88	819	3.400

Esquema de Secciones

PLANILLA N° 9

Lugar : Indicado en Planilla N° 1

Fecha : — — —

Para R ₁			Sección	Para resistencias-lecturas		R ₁ B = $\frac{V \times 1000}{I = MA}$ Ω	Factor Z $\left(1 + \frac{R_1}{1100}\right)$ = $\frac{1100 + R_1}{1100}$	Medidas corregidas		Factor K	ρ = K × $\frac{MV}{MA}$ Ω/cm	Separación de electrodos (cm)
V	MA	MA × Y ₂ Y ₂ = 1,57		V (MV)	I (MA)			V MV × Z × Y ₁ Y ₁ = 1,51	I MA × Y ₂ Y ₂ = 1,57			
75	220	345,40	« K »	8	140	217	1,197	14,46	219,80	21991,20	1.447	3.500
75	230	361,10	»	8	170	207	1,188	14,35	266,90	23619,52	1.216	3.600
75	230	361,10	»	6	180	207	1,188	10,76	282,60	22933,68	873	3.650
75	270	423,90	»	4	210	177	1,16	7,00	329,70	22996,51	488	3.660
75	240	376,80	»	5	180	199	1,18	8,91	282,60	23059,34	727	3.670
75	240	376,80	»	6	180	199	1,18	10,69	282,60	23122,17	874	3.680
75	240	376,80	»	4	150	199	1,18	7,13	235,50	23185,00	702	3.690
75	220	345,40	« L »	4	130	217	1,197	7,23	204,10	23247,84	823	3.700
75	240	376,80	»	4	120	199	1,18	7,13	188,40	23310,67	882	3.710
75	220	345,40	»	4	140	217	1,197	7,23	219,80	23373,50	769	3.720
75	250	392,50	»	4	120	191	1,173	7,08	188,40	23436,34	880	3.730
75	260	408,20	»	4	140	183	1,166	7,04	219,80	23499,17	752	3.740
75	240	376,80	»	4	140	199	1,18	7,13	219,80	23562,00	764	3.750

Esquema de Secciones

PLANILLA N° 10

Lugar : Indicado en Planilla N° 1

Fecha : — — —

Para R ₁			Sección	Para resisten- cias-lecturas		R ₁ $R = \frac{V \times 1000}{I = MA}$ Ω	Factor Z $\left(1 + \frac{R_1}{1100}\right)$ $= \frac{1100 + R_1}{1100}$	Medidas corregidas		Factor K	$\rho = K \times \frac{MV}{MA}$ Ω/cm	Separación de electrodos (cm)
V	MA	$\frac{MA \times Y_2}{Y_2 = 1,57}$		V (MV)	I (MA)			V MV × Z × Y, Y ₁ = 1,51	I MA × Y ₂ , Y ₂ = 1,57			
70	280	439,60	« M »	10	280	159	1,144	17,27	439,60	23624,83	928	3.760
70	280	439,60	»	8	260	159	1,144	13,82	408,20	23687,66	802	3.770
70	280	439,60	»	5	250	159	1,144	8,63	392,50	23750,49	522	3.780
70	280	439,60	»	8	250	159	1,144	13,82	392,50	23813,33	838	3.790
70	270	423,90	»	5	240	165	1,15	8,68	376,80	23876,16	550	3.800
70	260	408,20	»	8	300	171	1,155	13,95	471,00	24504,48	725	3.900
70	300	471,00	»	8	320	148	1,134	13,70	502,40	25132,80	685	4.000
70	260	408,20	»	5	250	171	1,155	8,72	392,50	25761,12	572	4.100
70	280	439,60	»	6	180	159	1,144	10,36	282,69	26389,44	967	4.200
70	230	361,10	»	4	120	194	1,176	7,10	188,40	27017,76	1.018	4.300
70	240	376,80	»	4	200	185	1,168	7,05	314,00	27646,08	620	4.400
70	360	565,20	»	4	260	124	1,112	6,71	408,20	28274,40	464	4.500
70	320	502,40	« N »	4	320	139	1,126	6,80	502,40	28902,72	391	4.600

Esquema de Secciones

PLANILLA N° 11

Lugar : Indicado en Planilla N° 1

Fecha : 3/VII/1961

Para R,			Sección	Para resisten- cias-lecturas		$R = \frac{V \times 100}{I = MA}$ Ω	Factor Z $\left(1 + \frac{R_s}{1100}\right)$ $= \frac{1100 + R_s}{1100}$	Medidas corregidas		Factor K	$\rho = K \times \frac{MV}{MA}$ Ω/cm	Separación de electrodos (cm)
V	MA	$\frac{MA \times Y_2}{Y_2 = 1,57}$		V (MV)	I (MA)			$\frac{V}{MV \times Z \times Y_1}$ $Y_1 = 1,51$	$\frac{I}{MA \times Y_2}$ $Y_2 = 1,57$			
70	330	518,10	« N »	4	330	135	1,122	6,77	518,10	29531,04	386	4.700
70	280	439,60	»	6	320	159	1,144	10,36	502,40	30159,36	622	4.800
70	280	439,60	»	6	320	159	1,144	10,36	502,40	30787,68	635	4.900
70	260	408,20	»	0	160	171	1,155	1,74	251,20	31416,00	217	5.000

Nota : Fin del sondaje : 3/VII/1961.

Esquema de Secciones

B. MORFOLOGÍA DE LA ZONA

La morfología general de la zona se encuentra modificada por trabajos de urbanización que responden a obras de pavimentación, cercados, alambrados, tendido de conductores eléctricos aéreos, senderos, etc. Asimismo la vegetación prístina de los alrededores ha sido modificada por la introducción de especies variadas y exóticas algunas de ellas, pastos con formación de canteros, etc.

Todas estas introducciones extrañas han determinado una desfiguración del paisaje primitivo, el que por el agregado de macroelementos impiden apreciar visualmente la configuración de la zona. Sin embargo el análisis de cartas topográficas, la comparación con zonas vecinas, donde no han sido introducidas estas modificaciones en tan alto grado y que por lo tanto no han llegado a deformar el paisaje primitivo en forma tan acentuada, permiten todavía interpretar los rasgos geomorfológicos del área.

Del análisis de dichos elementos se desprende que la zona donde se ejecutó el sondeo corresponde a lo que Frengüelli llamó la "Baja Terraza Pampeana". Esta denominación muy gráfica, nos indica una posición altitudinal de cotas poco significativas, normalmente por debajo de 10 m.

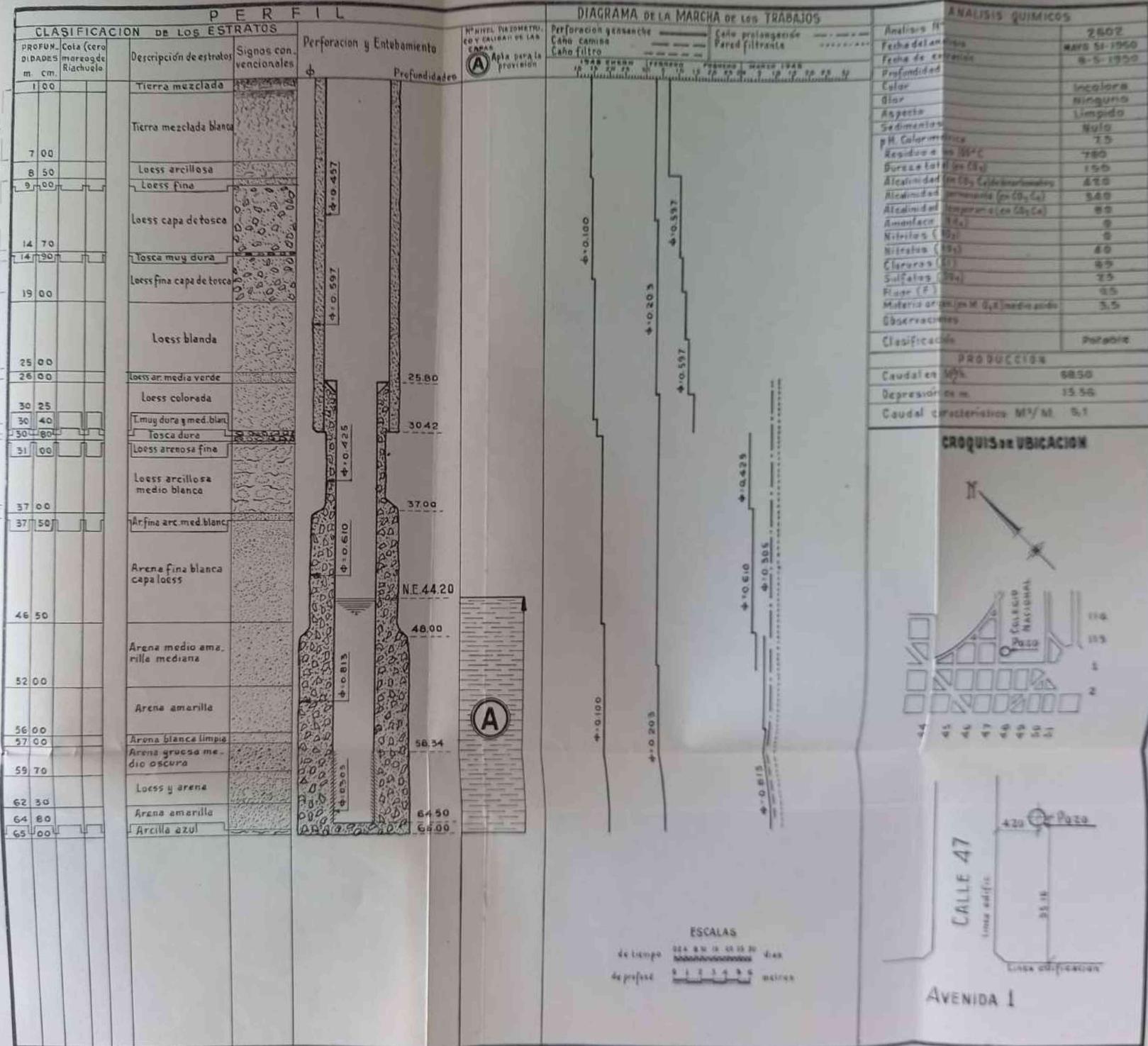
También nos permite ver que estos terrenos se encuentran adosados a otros marginales más altos, formando como un "festón" que acompañan lo que el mismo Frengüelli llamó "Pampa Ondulada".

La "Baja Terraza Pampeana" se separa de la "Pampa Ondulada" por medio de un "escalón" entre ella y las playas fluviales e incluso las marinas.

El relieve general de esta terraza baja, está exento de desniveles, sin socavones motivados por procesos normales de erosión o sedimentación. De allí que esta zona sea pobre en pendientes que permitan un rápido escurrimiento superficial e incluso la movilidad del agua subterránea es bastante lenta.

C. DESARROLLO DEL SONDAJE

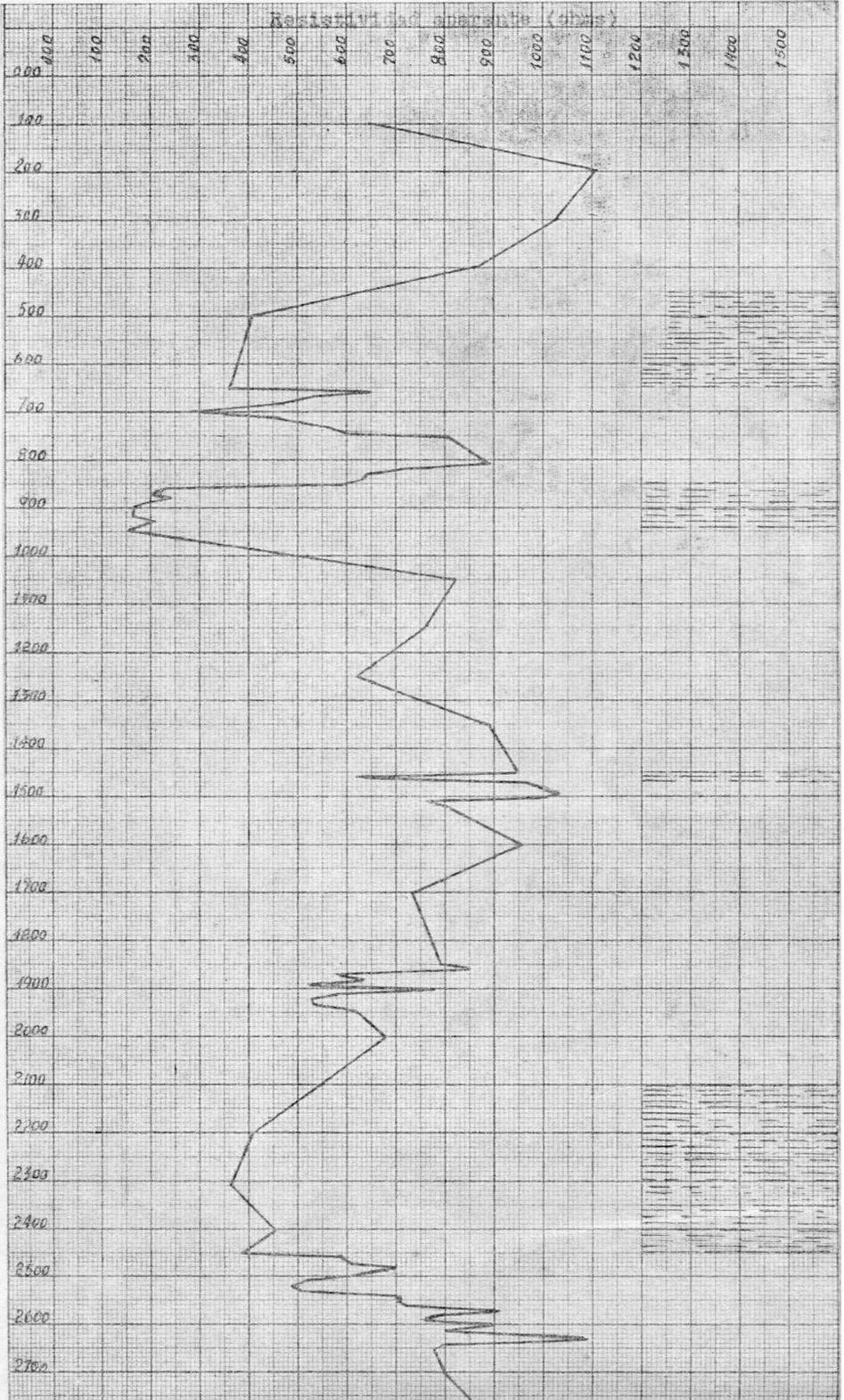
Del estudio previo del relleno geológico del Terciario y Cuartario de la llanura pampeana en diferentes lugares de la misma, por estudios directos y mediante la consulta de trabajos geológicos existentes, relacionados con el área en cuestión y también del estudio del



RESISTIGRAMA

Correspondiente a las mediciones realizadas con Resistímetro I.S.M. en campo de Deportes. Col. Nacional La Plata, cercanías pozo S-32-e

U
A
D
E
N
C
E
N
T
I
M
E
T
R
O
S



U
N
I
D

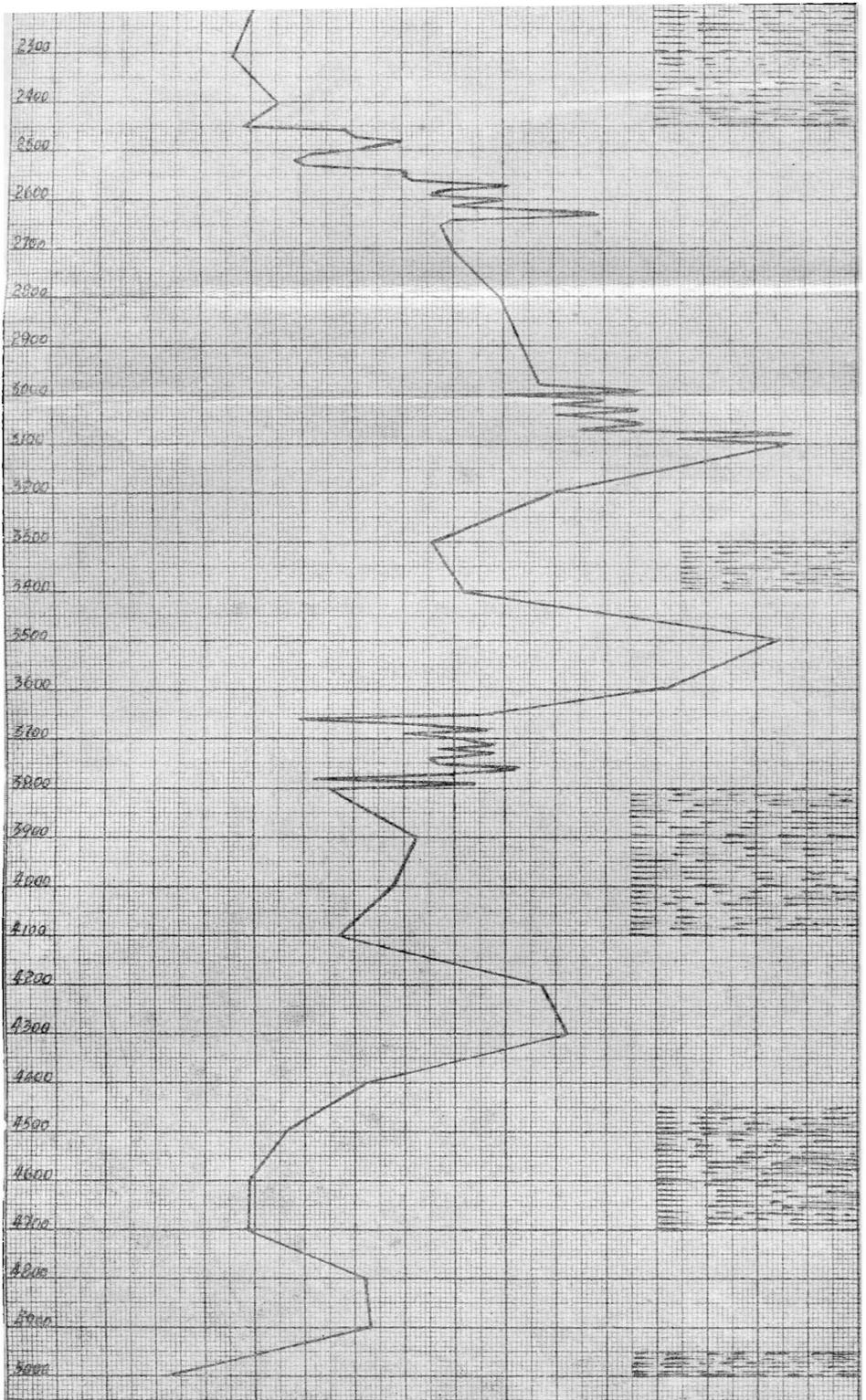


Figura 13

perfil de la perforación del pozo S-32-e y los antecedentes hidrogeológicos y edafológicos existentes, se planificaron con antelación las sucesivas profundidades que paulatinamente iría alcanzando el sondaje eléctrico, a fin de establecer con la mayor precisión posible la correlación de los perfiles existentes con los resultados que arrojará el Resistímetro.

Es así que se inició el sondaje a 100 cm de profundidad y avanzó de a 100 cm en el mismo sentido, hasta 50 cm antes de alcanzar cualquier cambio de los estratos subyacentes. A partir de dicha cota se avanzó solamente de a 10 cm hasta sobrepasar la profundidad de transición entre las capas, indicadas en el gráfico de Obras Sanitarias.

Más allá de la zona de transición entre capas, se avanzó siempre en profundidad, cada 100 cm con el objeto de detectar con precisión cualquier elemento subterráneo que no figurase en el perfil testigo y así hasta la nueva profundidad donde se repite el cambio de horizontes en el subsuelo.

Se dividió el perfil testigo o guía en 14 secciones a las que se les asignó las letras del alfabeto desde la A hasta la N en orden creciente de profundidad. Cada sección abarca un estrato diferente y sus profundidades respectivas son las siguientes:

Sección "A"	= de — 100 cm a — 700 cm.
„ "B"	= de — 710 „ a — 890 „
„ "C"	= de — 900 „ a —1460 „
„ "D"	= de —1470 „ a —1520 „
„ "E"	= de —1600 „ a —1890 „
„ "F"	= de —1900 „ a —2490 „
„ "G"	= de —2500 „ a —2590 „
„ "H"	= de —2600 „ a —3010 „
„ "I"	= de —3020 „ a —3030 „
„ "J"	= de —3040 „ a —3070 „
„ "K"	= de —3080 „ a —3690 „
„ "L"	= de —3700 „ a —3750 „
„ "M"	= de —3760 „ a —4500 „
„ "N"	= de —4600 „ a —5000 „

En base al plan de labor enumerado, se procedió a la ejecución del perfilaje geoléctrico, recogiendo los datos de campaña que arrojó el Resistímetro, conforme el operativo conocido, y finalizado el mismo se procedió al ordenamiento de los datos en las planillas de cálculo especiales ejecutándose el cálculo de los diferentes valores de ρ en el gabinete, con ayuda de máquina de calcular. Las planillas correspondientes se agregan al final del texto. Conocido el valor de ρ para cada una de las profundidades prospectadas, se procedió a la confección de un gráfico interpretativo.

Sobre el eje de las abcisas y asignándole una escala proporcional, se colocaron valores de resistencia aparente en ohms por centímetro, representativos de ρ para cada profundidad.

A lo largo del eje de la ordenada negativa se registraron las profundidades en centímetros alcanzadas por cada prospección sucesiva, en escala proporcionada. Uniendo por medio de un trazo continuo los puntos de cruce de las coordenadas así obtenidas, se logró el gráfico que se agrega.

VI. ANALISIS E INTERPRETACION

A. DEL GRÁFICO

Desde la iniciación del sondaje a $-1,00$ m de profundidad hasta la cota $-2,00$ m, se nota un progresivo aumento de la resistencia, comportamiento anómalo para la resistividad de las capas superficiales de esta zona; esta anomalía se puede interpretar de la siguiente forma:

El suelo normal superficial de la zona no existe, pues el mismo ha sido sustituido por rellenos antrópicos motivados por los trabajos de urbanización, que generalmente se realizan con materiales heterogéneos traídos de otras partes y correspondientes a horizontes no superficiales.

Desde los $-2,00$ m de profundidad y hasta los $-5,00$ m, se distingue perfectamente la disminución de la resistencia aparente del subsuelo en forma bastante pronunciada lo que indica la presencia de un acuífero seguramente salado o salobre. Se supone con un contenido salino bastante alto, por tratarse de un acuífero

cuyas aguas han atravesado un horizonte sub-superficial cargado de sales las que son arrastradas por el fenómeno de percolación.

Hacia los $-6,00$ m aumenta la resistencia de los materiales del subsuelo, por aparecer el fondo de la napa, en forma de capa impermeable. A continuación y siempre avanzando en profundidad se ve que una capa más permeable, portadora de agua, disminuye su resistencia al fluido eléctrico. Dicha capa muestra mayor conductividad hacia los $-6,50$ m.

Al acrecentarse los valores de resistencia desde los $-6,50$ m hasta los $-6,60$ m, nos indican la intercalación de un lente impermeable de poca significación. Menos aún que la observada a los $-6,00$ m.

Disminuye la impermeabilidad, es decir vuelve a decrecer la resistencia y el terreno es muy permeable a los $-7,00$ m tornándose cada vez más impermeable hasta alcanzar la cota de $-7,50$ m, donde se supone existe una firme capa, correspondiente a un fondo de napa de unos 60 cm de espesor.

Desde los $-8,10$ m hasta los $-10,50$ m, el gráfico nos indica la presencia de un claro cuerpo impregnado de agua. En efecto, el perfil establece un aumento de permeabilidad que es muy sostenido entre los $-8,60$ m y los $-9,50$ m.

Salvo pequeñas oscilaciones poco manifiestas, el comportamiento del subsuelo, por sus valores resistivos indica homogeneidad del material. Desde los $-10,50$ m hasta los $-14,50$ m el material subterráneo se muestra más compacto, pues sus valores promedio de resistencia aparente aumentan y demuestra bastante homogeneidad, ya que salvo un pequeño aumento de la permeabilidad a los $-12,50$ m, tiene apariencia de ser bastante uniforme.

Como una anomalía, en la que disminuye rápidamente la resistencia, observamos a los $-14,50$ m la aparición de un acuífero que se apoya sobre una capa poco espesa, altamente aislante, y se puede suponer que ese pequeño acuífero sea alcalino en alto grado, sino salado, por cuanto la capa sobre la cual se apoya debe ser material litolítico fuertemente impregnado de sales de calcio.

De $-14,70$ m a $-15,00$ m se aprecia claramente una capa impermeable determinada por el aumento de la resistividad. Debajo de ella disminuye rápidamente la resistencia. Al poco disminuye la permeabilidad, ya que aumenta nuevamente la resistencia y se mantiene constante con pocas y leves oscilaciones hasta los $-18,60$ m.

A partir de los $-18,60$ m y hasta los $-20,00$ m se observa una serie de inflexiones que no pueden corresponder a acuíferos por su pequeño espesor y sí en cambio se supone con fundados motivos, corresponden a leves capas arcillosas intercaladas en material mojado más permeable.

A continuación se aprecia una suave y firme disminución de la resistencia aparente, desde $-20,00$ m hasta los $-24,50$ m. Esta disminución de la resistencia es característica de la existencia de una buena napa de agua.

Desde los $-24,50$ m y hasta los $-31,00$ m el gráfico muestra un franco aumento de la resistencia con algunas oscilaciones indicadoras de variaciones en la permeabilidad. Estas variaciones corresponden a intercalaciones de capas arcillosas que son las menos permeables y sobre o entre ellas, acumulaciones de agua.

Entre $-31,00$ m y $-35,00$ m se acusa una marcada disminución de resistencia que se hace más evidente entre los $-32,00$ m y $-34,00$ m. En este espesor el gráfico señala la presencia de otra napa de agua, posiblemente de no mucho rendimiento.

De $-35,00$ m a $-41,00$ m hay una disminución general de la resistencia, la que indica mayor permeabilidad. Seguramente existe una napa acuífera, aunque de muy escaso rendimiento. En esta zona se registran algunas fluctuaciones indicadoras de la existencia de lentes menos permeables.

En un espesor que va de los $-41,00$ m a los $-43,00$ m existe una capa aislante, compacta, que ofrece resistencia al paso de la corriente.

Inmediatamente debajo de ella disminuye en forma marcada la resistencia aparente, índice elocuente de que en ese lugar se aloja un buen acuífero. Este se sustenta sobre una capa impermeable. El espesor aparente de esta napa es de unos $5,00$ m, lo que indica un muy buen rendimiento.

A los $-48,00$ m y con un espesor de $1,00$ m, señala el gráfico la presencia del fondo de esta napa, constituido por un elemento no tan altamente impermeable como los fondos de napas anteriores. Bajo esta capa semipermeable se registra una mayor disminución de la resistencia aparente del subsuelo, alcanzando su valor mínimo a los $-50,00$ m, último valor registrado, por constituir esa cota el máximo de profundidad alcanzado por las razones expuestas al principio. Seguramente ello se debe a la presencia de material rocoso muy suelto, de grano grueso y saturado de agua.

B. GEOLÓGICA ESTRATIGRÁFICA DEL PERFIL

La interpretación geológica estratigráfica del perfil sería la siguiente, referida al nivel del terreno como cota 0 m.

Entre 0,00 m y —2,00 m correspondería a un rellenamiento antrópico y tal vez algo de suelo de la zona.

Desde los —2,00 m a los —7,50 m se puede referir a un complejo de dos pisos Pospampeanos. La parte superior a la Regresión Platense con limos arenosos algo conchíferos salobres. La parte inferior a la Ingresión Querandinense e integrada por arenas y limos ricos en conchilla y sales. La coloración de la capa es gris verdosa en general. Hay lentes algo más arcillosos de color gris claro a blanquecino.

Desde los —7,50 m a los —38,00 m, nos hallaríamos en el complejo pampeano asignable al Ensenadense. Dentro de él hay discontinuidades y variaciones debidas a la intercalación de bancos de tosca. También se encuentran lentes más arenosos y sueltos. En general es limo loésico de color pardo amarillento a pardo rojizo.

Destacaremos que a los —15,00 m la fuerte inflexión que se produce en el perfil geoelectrico, puede corresponder a un lente de tosca con moluscos, a la que se le denomina Interensenadense. Dicha capa mostraría hacia arriba materiales del Ensenadense Superior y hacia abajo otros del Ensenadense Inferior.

Desde los —38,00 m hacia la parte inferior entraríamos al denominado Piso Puelchense. Se le asigna edad Terciaria Superior, es decir, Plioceno, pero existe la tendencia a asignarle edad Cuartaria Inferior, lo que equivaldría a decir Pleistoceno.

La característica de este piso es la de ser excelente portador de agua de óptima calidad, debido a la génesis del mismo, que por haberse depositado como una formación pluvio-deltaica que llega desde el Alto Paraná, por debajo de la Mesopotamia, extendiéndose por Santa Fe y norte y noreste de la provincia de Buenos Aires.

Esta gran cuenca subterránea, muy extensa, es alimentada en distintos sectores, a través de fallas geológicas, por los ríos del sistema del Plata. Ello hace que todas las napas de agua que se encuentran a las profundidades de este piso, resulten de gran rendimiento y muy buena calidad.

C. CORRELACIÓN ENTRE PERFILES

Observando atentamente el perfil de perforación del pozo S-32-e en el croquis de Obras Sanitarias, y el gráfico obtenido por resistimetría del subsuelo, veremos que la primer napa de agua detectada por el aparato, entre los $-4,50$ m y los $-6,50$ m, corresponde perfectamente al relleno del subsuelo existente y señalado en el croquis, ya que el fondo de esa napa lo constituye la napa denominada "Loess arcillosa" entre $-7,00$ m y $-8,50$ m.

Esa capa, por ser muy impermeable y compacta, no permite que el agua superficial infiltrada percole a mayor profundidad y determina su acumulación, originando una napa de aguas freáticas. La impermeabilidad de esa capa del subsuelo está señalada en el resistigrama por el aumento de la resistencia aparente entre los $-6,50$ m y los $-8,50$ m.

La capa de subsuelo que se encuentra inmediatamente debajo de la anterior, "loess fina", resulta mucho más permeable, ya que a esa profundidad el aparato detecta nuevamente un pequeño acuífero, cuya acumulación se puede haber realizado por filtraciones entre grietas del horizonte anterior. Resulta lógico suponer que la capa de subsuelo "Loess capa de tosca" es bastante impermeable, pues la resistencia aumenta en forma acentuada a partir de los $-9,50$ m hasta los $-14,50$ m, donde se estima existe una nueva acumulación de agua, pequeña en espesor, ya que se supone es el agua de impregnación de la misma capa, que se acumula sobre el horizonte "Tosca muy dura".

Esta última formación es claramente acusada en el gráfico y en el espesor aproximado que indica O. S., por el aumento brusco y rápido descenso de los valores resistivos.

Entre $-19,00$ m y $-25,00$ m Obras Sanitarias indica la existencia de una formación geológica que denominó "Loess blanda", e inmediatamente una capa de "Loess arcillosa media verde". En el resistigrama a esa profundidad se detecta una napa de agua por cuanto la permeabilidad de la capa "Loess blanda" es muy pronunciada, mientras que la inmediata es completamente impermeable. Obsérvense los equivalentes resistivos y se comprobará la correspondencia de valores y estructuras en esas profundidades.

Más notable aún resulta la correspondencia de valores que existe en la cota de los $-30,40$ a los $-31,00$ m, donde O. S. marca la exis-

tencia de diferentes capas de tosca y el Resistímetro señala su presencia al aumentar los valores de la resistencia aparente correspondiente a esas capas.

Avanzando en profundidad, a los —33,00 m el resistigrama indica la ubicación de una napa de agua, en correspondencia con la capa de subsuelo “Loess arcillosa media verde” que indica O. S. en su esquema, entre los —31,00 y —37,00 m. En efecto, esa capa resulta mucho más permeable que la que le sucede en profundidad, “Arena fina arcillosa media blanca”, por el grado de compactación de esta última, que determina la acumulación de agua señalada por el Resistímetro.

Igual criterio cabe adoptar en lo que respecta a las demás napas subterráneas detectadas por el sondaje geoelectrico, ya que a los —44,00 O. S. señala la cota del nivel estático de la gran napa que utiliza para la extracción. Efectivamente, a esa cota aproximada el resistigrama señala el comienzo de la existencia de una gran acumulación de agua, pues la resistencia aparente baja cada vez en forma más pronunciada hasta alcanzar su valor mínimo a los —50,00 m.

Como se ha podido apreciar, los datos recogidos por el aparato son verosímiles y ajustados a la configuración geológica de la zona, como lo pone de relieve la perforación existente que se utilizó como testigo.

Se puede aducir que la interpretación dada al resistigrama es caprichosa, pues los valores bajos de la resistencia aparente bien podrían corresponder a vetas de minerales o capas de subsuelo fuertemente mineralizadas, pero ello no se registra en esta zona a las profundidades exploradas, por lo que forzosamente se deben interpretar como un aumento en la conductividad debido a la mayor o menor impregnación de agua en los estratos.

VII. POSIBILIDADES EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Las posibilidades de utilización en gran escala en nuestro país, de los métodos de prospección geoelectrica, siempre con fines de alumbramiento de aguas subterráneas para su utilización agrícola, creemos son grandes, ya que la mayor parte de su territorio y en especial las tierras cultivadas y cultivables que él encierra, se encuentran ubicadas en zonas áridas o semiáridas, donde los regímenes pluviométricos

tricos y las corrientes de aguas superficiales que las recorren son de muy bajo rendimiento hídrico.

Se fundamenta esta divulgación futura de los métodos eléctricos de prospección, en la necesidad perentoria que existe, no sólo en nuestro país, sino en el orden mundial, de recurrir a las aguas subterráneas para recuperar, entre otros medios, las grandes extensiones de tierras áridas que hasta ahora se encuentran incultas o semicultivadas, pero cuyos rendimientos son completamente bajos y las posibilidades de implantar nuevos cultivos en las áridas son nulas por la escasez de agua de riego superficial o meteórica.

Factor determinante de la recuperación de tierras áridas mediante el riego artificial a napa subterránea, será el agrónomo edafólogo y el hidrogeólogo, que con sus trabajos de determinación de dotación de riego en base a los caracteres edafológicos de las áreas a recuperar, necesidad hídrica de los cultivos a implantar y estudio de los factores climáticos correlativos por parte del primero y los estudios de las cuencas subterráneas con caudales suficientes, basados en los caracteres geológicos de esas zonas y trabajos de captación y alumbramiento de esas napas, por parte del segundo, harán que la labor de ambos se desarrolle mancomunadamente en el futuro y tendiente a un solo objetivo: más alimentos para una población cada vez más numerosa.

VIII. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El método de prospección geoelectrico empleado en este ensayo de resistimetría en suelos, el de los "cuatro puntos" o de Wenner, luego de su introducción en nuestro país (1940), fue poco utilizado en trabajos de captación de napas de aguas subterráneas por nuestras instituciones oficiales y/o particulares afectadas a esta especialidad. Una de las causas principales por las cuales su uso se ha visto postergado por otros métodos de prospección, creemos hayan sido los inconvenientes que presentaba el uso de sondas impolarizables, en lugar de electrodos de acero puntiformes en los equipos que se importaban hasta hace algunos años, inconveniente del cual se habló anteriormente. Asimismo como esos equipos no contaban con un doble inversor de corriente (modificación de Rooney-Gish), que anulara los fenómenos de polarización, sus fuentes de energía eléctrica eran pesadas y por ende su traslado engorroso. Todos estos

inconvenientes se han obviado en el moderno equipo que se fabrica actualmente en nuestro país.

Su utilidad práctica, creemos se ha demostrado ampliamente por medio de la correlación del perfilaje del pozo S-32-e y el resistigrama construido en base a los datos de resistencia aparente del subsuelo, arrojados por el aparato. En efecto, suponiendo que no hubiera existido la perforación como testigo, hubiéramos detectado las napas de agua igualmente, en base a los datos hidrogeológicos de la zona, que se poseían.

Los resultados obtenidos en el perfilaje geoelectrico, demostraron claramente la correspondencia entre los perfiles de la perforación testigo y los perfiles aparentes que se pueden reconstruir en base a dichos resultados. A cada capa del subsuelo que por su constitución litológica se supone permeable, corresponde en el resistigrama una caída en los valores de la resistencia aparente. Este hecho se explica por la presencia de agua entre los minúsculos espacios que se encuentran libres. El agua es buen conductor de la corriente eléctrica y si su contenido de sales aumenta, también aumentará la conductividad.

Es decir, existe una lógica correspondencia entre los resultados obtenidos y los existentes por medio de la perforación, ya que los primeros encajan sin ser forzados, en el perfil primitivo.

No puede, por la índole de los trabajos previos a toda prospección geoelectrica, esbozarse un esquema general de trabajo para las diferentes zonas en que deba actuar el hidrogeólogo en la búsqueda de agua, pero en líneas generales se puede especificar que el ensayo comparativo realizado en zona húmeda, se vio dificultado por algunas anomalías provenientes de la abundancia de pequeñas napas de agua subterránea entre horizontes bastante cercanos uno de otros que impregnan los intermedios.

Las ventajas de este método desde el punto de vista práctico y comparativo con otros métodos de prospección son grandes, como veremos.

Método sismográfico: Requiere el uso de un complicado equipo, generalmente montado sobre un vehículo para su transporte, uso de explosivos con el consiguiente peligro que representa su manipuleo descuidado, ejecución de perforaciones en la zona en estudio para la detonación de los explosivos en ellas depositados. Instala-

ción de numerosos geófonos para recoger los ecos de la onda sísmica propagada artificialmente. Numeroso personal, que determina un elevado coste de la prospección y otros inconvenientes que sería largo enumerar.

Método gravimétrico: Complicada instalación en el terreno a proyectar, de delicados instrumentos de precisión, tales como balanzas gravimétricas o péndulos o gravímetros especiales, etc., sobre pequeñas obras de nivelación previa en el lugar, antes de cada sondaje. Las nivelaciones deben ser ejecutadas por personal semi-especializado, a fin de evitar errores groseros en los resultados. La delicada instalación del equipo determina gran lentitud en la ejecución de los trabajos en grandes áreas.

Método magnetométrico: A las desventajas del método anterior deben sumarse las correcciones de temperatura y tiempo, necesarias para toda lectura.

Método radioeléctrico: Si bien este método, que mide la influencia de cuerpos extraños sobre las condiciones de oscilación de un circuito de radio que envía sus ondas de pequeña longitud al subsuelo y recoge la interferencia instantáneamente, presenta la ventaja de su rapidez, tiene en cambio una desventaja fundamental: su pequeño alcance en profundidad.

Los métodos enumerados, entre otros varios, y principalmente el sismográfico, pueden resultar muy útiles en la búsqueda de minerales, petróleo, etc., pero resultan muy gravosos a los fines de la búsqueda de agua subterránea con vistas a su aprovechamiento agropecuario.

El único inconveniente que puede presentar el método eléctrico ensayado, reside en la interpretación de los datos, que está librada a la mayor habilidad y/o capacidad del conocimiento profundo de los problemas hidrogeológicos que posea el operador. No debe creerse que la sola posesión del equipo y la capacidad de ejecutar con eficacia los cálculos en gabinete, son únicamente necesarios para descifrar la incógnita del subsuelo. Ello no basta, si no se posee un conocimiento más o menos profundo de la constitución hidrogeológica de las zonas a estudiar. Asimismo resulta de fundamental importancia para la correcta interpretación de los resistogramas, una experiencia en los diversos terrenos en que se actuará,

la que se logra mediante el trazado del mayor número posible de gráficos en cada área, comparativos con perfiles conocidos anteriormente.

Résumé. — *Essai de résistance de sols dans des buts agrohydrologiques.* — Le but essentiel de cet article est celui de présenter une nouvelle équipe de prospection géophysique du sous-sol, perfectionnée et développée par l'Institut de Physique Cosmique de San Miguel, République Argentine: le Résistimètre I.S.M. n° 3 et, d'autre part, de faire connaître à nos techniciens et à nos agriculteurs capables, ses principes, son maniement, le calcul et l'interprétation des données obtenues, et la preuve de l'efficacité de la méthode sur des nappes d'eau souterraine préalablement identifiées par une perforation témoin.

L'équipe utilisée a pour base la méthode déjà connue de Wenner ou "des quatre points", pour mesurer la résistance spécifique apparente du sous-sol.

Ce simple principe de physique sur lequel est basé l'équipe présentée, et le perfectionnement introduit dans sa construction, permettent l'exploration rapide de grandes surfaces, étant donné que la manière d'opérer est simple et que la provision sur place de données est portée au minimum.

Dans l'essai d'efficacité fait par l'auteur à La Plata, les résultats dans le profillement géoélectrique ont nettement montré l'accord entre les profils de la perforation témoin et les profils apparents que l'on reconstruit sur ces résultats.

A chaque nappe du sous-sol, dont la constitution permet de la supposer perméable, il correspond dans le Résistimètre une chute des valeurs de la résistance électrique apparente calculée pour cette nappe.

BIBLIOGRAFIA

- DE VITA, ALBERTO, 1940. *Investigaciones geofísicas de aguas subterráneas.* — 48 pp. Conferencia publicada por el Centro de Estudiantes de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires. Año 1, n° 1.
- HEILAND, C. A., 1946. *Geophysical Exploration.* — 963 pp. il. Ed. Norman E. Hinds., New York, 2ª edición.
- JAKOSKY, J. J., 1949. *Exploration Geophysics.* — 1.160 pp il. Ed. Trija Publishing Co., California, U.S.A., 2ª edición.
- PETRUCCI, GIUSEPPE, 1959. — *Geofisica applicata alla ricerca dei minerali e dell'acqua nel sottosuolo.* — 400 pp., il. Ed. Ulrico Hoepli, Milano.
- ROUSSEAU, CARLOS A., 1958. *El uso del agua subterránea como solución para algunos problemas de irrigación en las zonas del centro y oeste de la República Argentina.* — Publicado por la Revista Panorama Agropecuario, 5, (52), Bs. Aires.

SUSSINI, M. y otros. 1937. *Aguas minerales de la República Argentina*. — 341 pp., il. Vol. III, Ministerio del Interior, Comisión Nacional de Climatología y Aguas Minerales (ley 11.621), Bs. Aires.

UNESCO. 1953. *Reviews of Research on Arid Zone Hydrology*. — 210 pp., il. Vol. I del Arid Zone Programme.

— *Ankara Symposium on Arid Zone Hydrology*. — 268 pp., il. Vol. II del Arid Zone Programme.

La Plata, 15 de diciembre de 1961.