

05.78.34



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION
PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION
DE YACIMIENTOS URANIFEROS**

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1978

CNEA-AC-18/78

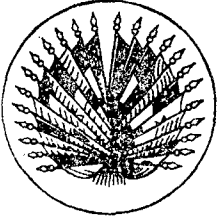
III. METODOS DE PROSPECCION URANIFERA

7. GEOFISICA

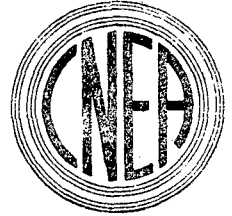
JORGE A. MUSET

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES
OCTUBRE 1978



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION DE YACIMIENTOS URANIFEROS

CONFERENCIA III-7

G E O F I S I C A

JORGE A. MUSET

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

1. INTRODUCCIÓN

La geofísica es la ciencia que tiende a medir desde superficie las características físicas de la corteza terrestre y en base a ellas reconstruir su composición y estructura.

Si bien el tema incluye clásicamente todo tipo de medición de esos parámetros físicos, en atención a la finalidad de este Curso se deja de lado ahora a la radiactividad, esencia de la prospección uranífera y objeto de exposiciones detalladas de varias conferencias a cargo de especialistas.

Según Dobrin "los datos de los estudios geofísicos para ser eficaces, deben expresarse en términos geológicos y el valor que pueda concederse al cuadro geológico así obtenido, mayor para unas técnicas que para otras, depende de la calidad de los datos y de la pericia con que son interpretados". Con este párrafo el autor expuso el objetivo de la pesquisa geofísica orientada a la exploración geológico-minera y el requerimiento de conocimientos indispensables para la interpretación de los resultados que cada método brinda.

2. METODOS GEOFÍSICOS

Quizás pueda hacerse la distinción entre aquellos métodos que miden las condiciones naturales del terreno sin provocar una perturbación del mismo y los que por el contrario miden su reacción o comportamiento ante un estímulo artificial. Dentro de la primera categoría se encuentran la magnetometría, la gravimetría y la polarización espontánea, además claro está de la radimetría. En la segunda se incluyen la sísmica y los métodos eléctricos de contacto (resistividad, polarización inducida). Exponer los fundamentos teóricos de cada uno de ellos es tarea por demás engorrosa para una conferencia de este tipo así que en general nos limitaremos a mencionar su aplicación, salvo para aque-

llos que por ser de uso corriente en la exploración geológica de apoyo a la prospección uranífera merecen un tratamiento más detallado. Esto ocurrirá con algunos métodos eléctricos y con el de sísmica de refracción.

2.1. Magnetometría

Es quizás el método más antiguo en la exploración geofísica. Su empleo tiende a localizar menas magnéticas (cuarzitas ferríferas por ej.); a la prospección de estructuras favorables a albergar acumulaciones minerales no magnéticas y a determinar características estructurales de las rocas del basamento.

Siendo que las rocas sedimentarias ofrecen un pequeño efecto magnético en comparación con las ígneas, gran parte de las variaciones medibles desde superficie están asociadas a la topografía o a cambios litológicos del basamento.

En la prospección uranífera su utilización es escasa.

2.2. Gravimetría

El método descubre y mide variaciones de la atracción gravimétrica del suelo debidas a los cambios de densidad de los elementos próximos a la superficie. Algunas estructuras geológicas (domos salinos, anticlinales) o concentraciones metalíferas se reflejan en diferencias de la intensidad de la gravedad. Sólo en la medida en que algunos de estos elementos puedan controlar una mineralización uranífera justificará su utilización en las tareas de prospección. No es el caso que se da en nuestro país y por ello no disponemos de experiencia sobre la aplicación del método en procura de localizar cuerpos minerales radiactivos.

2.3. Sísmica

El método sísmico no tiende a localizar concentraciones minerales en forma directa sino que aprovechando la propagación de ondas elásticas en el subsuelo permite deducir la estructura geológica del mismo facilitando así la ubicación de aquéllas.

Si bien el método es de aplicación obligada, casi, en la prospección petrolífera, su incorporación a la investigación geológica orientada a la minería es cada día más notable. Es por ello que en esta conferencia merecerá un poco más de atención y si bien no se tratará exhaustivamente ya que ello resultaría imposible, se procurará exponer las normas básicas del método y algunos ejemplos de aplicación.

La vibración del terreno se produce artificialmente por medio de explosiones ubicadas en un determinado punto o por impactos mecánicos según sea el alcance que se pretenda dar a la exploración.

Como las diferentes rocas tienen un módulo de elasticidad distinto aunque la densidad de las mismas difiera en menor grado, cuando existen estratos de distinta elasticidad la velocidad de propagación de las ondas producidas será distinta y el estudio de la reflexión o de la refracción de ellas per

mitirá calcular la profundidad y espesor de aquéllos.

De los diversos tipos de ondas elásticas nos ocuparemos de las longitudinales por tener un velocidad mayor que las transversales y por ser la llegada de la primera señal (luego, la más veloz) la que se tiene en cuenta en la prospección sísmica.

Sabido es que si el rayo de una onda alcanza la superficie de separación de dos medios de distinta naturaleza, una parte se refleja y la otra se refracta. Para la primera posibilidad el ángulo de reflexión será igual que el ángulo de incidencia y estará en el mismo plano de la normal a la superficie. Para el rayo refractado la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es constante e igual a la relación de la velocidad de propagación en los dos medios.

Los métodos sísmicos de prospección se basan en la medición de las ondas reflejadas (reflexión) o de las ondas refractadas (refracción). El sistema de reflexión es usado generalmente para la prospección petrolífera pero no es aplicable a las pequeñas profundidades (comparativamente) en las que se buscan acumulaciones minerales explotables o que se tienen en cuenta en la ingeniería civil, actividades ambas que utilizan el método por refracción. Por ello nos ocuparemos ahora de este último.

2.3.1. Sísmica de refracción

En un medio homogéneo e isótropo la velocidad de propagación es la misma en todas direcciones y si medimos el tiempo requerido para cubrir una distancia dada será simple calcularla.

Esto que podemos expresar bajo la fórmula $V = \frac{d}{t}$ está indicando la necesidad de contar con un instrumental que permita fijar exactamente el instante en que se produce la perturbación en el suelo y el tiempo que demora la onda elástica en llegar a un punto de observación ubicado a una distancia preestablecida.

En la actualidad ello se logra mediante el uso de sismógrafos que al recibir eléctricamente la señal del disparo que provocará las ondas, lo registra continuamente hasta que la llegada de la primera señal a un detector (geófono) colocado en la superficie lo interrumpe. El sismógrafo contabiliza el tiempo transcurrido entre uno y otro instante y lo hace simultáneamente con 1, 12, 24 o más detectores según el equipo en uso. En los equipos de 12 o más canales se obtiene un registro gráfico similar al de la figura 1 del que se extrae la curva "tiempo-distancia" tal como se ilustra en la Fig. 2.

Esta curva será la que permitirá calcular las velocidades de los distintos estratos y la profundidad de los mismos, teniendo tantos tramos como terrenos hayan refractado las ondas.

El ejemplo de la figura 3 obedece a dos discontinuidades horizontales y las velocidades se calculan por las pendientes de los tres tramos, ya sea por método gráfico mediante el uso de ábacos o mediante cálculos.

El primer tramo corresponderá al primer terreno y la velocidad corres

pendiente será $V_1 = \frac{d}{t}$

El segundo tramo de la curva en el que marcamos dos puntos arbitrarios X_a ; X_b nos permite calcular la velocidad correspondiente, mediante la fórmula:

$$V_2 = \frac{X_b - X_a}{t_b - t_a}$$

Con estos datos ya podemos calcular la profundidad de la discontinuidad litológica denunciada y lo haremos mediante la ecuación:

$$P = \frac{X_1}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

donde X_1 es el punto de intersección de los dos tramos de curva.

Con el tercer tramo de la curva de "tiempo-distancia" se hace lo ya visto para el segundo, a efectos de calcular V que quedará expresada entonces por:

$$V_3 = \frac{X_d - X_c}{t_d - t_c}$$

Calculada V se podrá calcular la profundidad de la segunda discontinuidad aplicando la fórmula siguiente:

$$P = \frac{5}{6} P_1 + \frac{X_2}{2} \sqrt{\frac{V_3 - V_2}{V_3 + V_2}}$$

Siendo más exacto reemplazar $5/6$ por:

$$1 - \frac{\frac{V_2}{V_1} \sqrt{\frac{(V_3)^2}{(V_1)^2} - 1} - \frac{V_3}{V_1} \sqrt{\frac{(V_2)^2}{(V_1)^2} - 1}}{\sqrt{\frac{(V_3)^2}{(V_1)^2} - \frac{(V_2)^2}{(V_1)^2}}}$$

El método de interpretación enunciado precedentemente es válido para superficies planas de discontinuidades y sin perturbaciones verticales pero se estima que es suficiente para ejemplificar una medición sísmica de refracción, limitando el ejemplo a 3 terrenos para no extendernos demasiado en el tema. Conviene agregar que existen métodos gráficos que permiten una primera estimación de los datos a medida que se elabora la carta "tiempo-distancia", como una manera de asegurar que el sondeo sísmico ha sido bien hecho, quedando para el gabinete los cálculos teóricos y correcciones necesarias.

Como medida de seguridad es recomendable repetir cada sondeo invirtiendo el recorrido de manera que volcando los datos sobre un mismo gráfico "tiempo-distancia" (teniendo en cuenta las direcciones opuestas) las curvas se asemejarán a la que ilustra la Fig. 3. Nótese que el tiempo total para A y B debe ser el mismo. No será necesario tomar esta precaución cuando se sepa

que los planos de discontinuidad son horizontales o cuando no se requiera gran exactitud en la estimación de las profundidades.

2.4. Métodos eléctricos de prospección

Están basados en algunas de las tres propiedades de las rocas:

- 1°- Capacidad de generar corriente eléctrica por acción electroquímica de un electrolito (conductividad iónica).
- 2°- Capacidad de conducir la corriente eléctrica cuando le es aplicada una cierta diferencia de potencial (conducción electrónica).
- 3°- Capacidad de almacenar una carga eléctrica cuando se intrucen en el suelo corrientes de cierta frecuencia.

La primera da base al "método" de autopotenciales o de potencial espontáneo; la segunda al método de resistividades y la tercera al de polarización inducida.

Haremos a continuación una descripción rápida de los métodos enunciados (ya que el tiempo disponible no nos permitirá abundar en detalle), que quizás sirva para refrescar conocimientos y orientar en la aplicación de los mismos.

2.4.1. Método de autopotenciales o de potencial espontáneo

Cuando una masa mineral está en contacto con soluciones de distinta composición, origina reacciones químicas que dan por resultados diferencias de potencial que provocan un flujo de corriente en el suelo.

Una masa de pirita por ej., alargada verticalmente con su cúspide dentro de la zona de aireación y su extremo inferior por debajo de ella, sufrirá la oxidación de la porción que yace por encima del nivel freático. Se establecerá entonces una diferencia de potencial entre ambas secciones del cuerpo mineral que dará origen a una corriente eléctrica que circulará entre ambos extremos y retornará por los terrenos circundantes creando una anomalía de potencial medible desde la superficie. (Fig. 4).

La anomalía será de signo negativo en relación con el polo de igual signo de la masa mineral alojado en la zona de oxidación.

De hecho que los minerales sulfurados serán los de potencial más acentuados por ser más intensa la formación de ácido sulfúrico, pero otros minerales (magnetita, alunita, etc) pueden también dar potenciales medibles des de la superficie.

La existencia de anomalías de potenciales espontáneos está condicionada pues no sólo a la presencia de una masa mineral suceptible de engendrar una corriente iónica sino a las condiciones de yacencia de la misma que permitan la oxidación de una porción de aquélla.

2.4.1a. Técnica de medición e interpretación

Para la medición de los potenciales espontáneos se utilizan dos electrodos cerámicos porosos no polarizables conectados a un milivoltímetro de precisión. La operación puede realizarse ya sea a lo largo de perfiles moviendo ambos electrodos siempre equidistante, o de lo contrario manteniendo fijo uno de ellos y moviendo el otro desde un punto arbitrario alejado de la probable zona de interés. En el primer caso se obtendrá una representación de la variación del gradiente de potencial mientras que con el segundo se establecerá la diferencia real del potencial natural existente entre el punto fijo y los que se elija en el relevamiento.

Las observaciones convendrá hacerlas sobre perfiles para facilitar su graficado y posterior interpretación, quedando definidas las anomalías por los valores más altamente negativos tal como se adelantara. El hecho de que sólo ciertos minerales y bajo condiciones específicas de yacencia se polaricen naturalmente, restringe la aplicación de este método a la prospección de aquéllos. No obstante el registro de potenciales espontáneos permite en el perfilaje de perforaciones determinar capas permeables, establecer límites y correlacionarlas. En tales casos las diferencias se establecen entre un electrodo fijo en superficie sometido a un potencial constante y otro móvil que corre en el interior del pozo (Fig. 5).

Las variaciones de potencial dentro del pozo son causadas por las diferencias óhmicas de potencial en la columna líquida debidas a corrientes que fluyen alrededor de la intersección de las capas permeables, las arcillas o lutitas adyacentes y la inyección. Tales corrientes serían producidas por fuerzas electromotrices de origen electroquímico originadas en el contacto de la inyección con el agua de formación de las capas permeables o de las lutitas o de las arcillas adyacentes.

En un punto de la columna situado frente a lutitas por ej. el potencial será positivo con respecto a otro que enfrente a una arena, de modo que si el registro gráfico se leyera tomando como base las lutitas, las zonas permeables se manifestarían negativamente.

2.4.2. Método de polarización inducida

Si por medio de dos electrodos se envía corriente al suelo durante unos segundos y se la interrumpe bruscamente, entre ambos electrodos o entre otros cercanos aparece un potencial medible que decrece con el tiempo en función exponencial. Llamándose polarización a la separación de cargas eléctricas en un medio, de manera de obtener una distribución dipolar, el método de polarización inducida persigue ese efecto mediante la aplicación instantánea de un campo eléctrico.

Este fenómeno se observa primordialmente en rocas con contenido de sulfuros metálicos, independientemente de su concentración y aún cuando se encuentren como partículas no conectadas entre sí, siendo quizás el método geofísico más aplicado en la actualidad para la localización de yacimientos de "diseminados".

Lamentablemente también presentan polarización por inducción las arcillas, serpentinas, sericita y clorita de estructura hojosa (lo que se atri-

buye generalmente al efecto de membrana o no metálico) sin que pueda diferenciarse entre la respuesta dada por éstas y la de los sulfuros.

Como en el caso anterior (P.N.) la aplicación del método se limita a la prospección de masas minerales que exhiban características peculiares y a diferencias de aquél requiere un instrumental y dispositivo de operación más complicado.

El instrumental consiste en una fuente de energía dimensionada en atención a la profundidad de investigación que se desea alcanzar y a la resistividad de los terrenos a explorar.

Para profundidades importantes y con terrenos conductivos se utilizan fuentes transmisoras de 5.000 Volts y 20 Amperes.

Los electrodos de envío de corriente y los de medición de potencial se pueden ordenar según los agrupamientos clásicos que veremos más adelante al hablar de mediciones de resistividad, teniendo cada uno sus ventajas y desventajas sobre el restante.

Este método no ha sido utilizado entre nosotros en tareas de prospección uranífera por no darse el grado necesario de la asociación uranio-sulfuros.

2.4.3. Método de las resistividades eléctricas

Se basa fundamentalmente en medir la resistencia que oponen al paso de una corriente eléctrica los distintos componentes del subsuelo, para en base a ella procurar individualizarlos y ubicarlos desde la superficie.

Conviene recordar qué es lo que ocurre cuando se envía una corriente eléctrica al suelo; cómo ella se distribuye y qué papel desempeñan los distintos materiales.

Si con la ayuda de un generador se envía al suelo por medio de dos electrodos separados entre sí, una corriente eléctrica, ella circulará entre ambos electrodos con mayor o menor facilidad según sea la naturaleza físico-química, la porosidad, permeabilidad, agua de composición y de imbibición de las rocas por las que debe circular.

Suponiendo un terreno homogéneo se puede admitir que toda la corriente que vá de A a B siguiendo caminos que llamaremos filetes de corriente circulará en un volumen semiesférico cuyo diámetro será la separación entre electrodos (Fig. 6). Cada punto dentro de esa semiesfera adquirirá un cierto potencial de manera que todos los que posean igual valor conformarán una superficie equipotencial. Las curvas resultantes de la intersección de las superficies equipotenciales con el plano que pasa por A B se denominan líneas equipotenciales y si conectamos un instrumento de medición a dos puntos de una de esas líneas, comprobaremos que entre ellos no pasa corriente.

Por ley de Ohms tenemos que:

$$\text{Resistencia (R)} = \frac{\text{Diferencia de potencial } (\Delta V)}{\text{Intensidad (I)}} \quad (1)$$

y por definición sabemos que resistividad es la resistencia eléctrica específica de un volumen determinado de una sustancia cualquiera, es decir que la medición de ella en el terreno debe estar referida a una porción determinada de él.

El resultado de (1) se expresa en el sistema mks en voltio por amperio. La unidad voltio por amperio se denomina ohmio (Ω) diciéndose que la resistencia de un conductor es de un ohmio cuando la diferencia de potencial entre los extremos del mismo es de un voltio ante una intensidad de corriente de un amperio.

Si sobre los dos extremos de un cuerpo geométrico simple de un material homogéneo se envía una corriente eléctrica cuya intensidad (I) medimos con un amperímetro, se podrá medir con la ayuda de un voltímetro el potencial eléctrico (V) entre dos puntos intermedios de dicho cuerpo.

La ley de Ohm dice que $V = R.I.$ de donde se desprende que la resistencia R entre dos puntos intermedios será:

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

y como la resistencia de un volumen está dada por la fórmula:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s} \quad (2)$$

en la que ρ = resistividad

l = longitud

s = sección

tendremos por (1) y (2) que $\rho \cdot \frac{l}{s} = \frac{V}{I}$ de donde surge que

$$\rho = \frac{V}{I} \cdot \frac{s}{l}$$

A los fines prácticos haremos $\frac{s}{l} = K$

Si reemplazamos el cuerpo anterior por el terreno y mediante los electrodos A y B le enviamos una corriente eléctrica, ella circulará aproximadamente, como se dijo, en una semiesfera de diámetro A B. Si mediante otros dos electrodos M y N medimos el potencial entre dos puntos intermedios, el volumen interesado por esa medición podría equivaler al de un semicilindro de altura MN y de sección $\frac{AB}{2}$ (Fig. 7), es decir que quedarían definidos \underline{s} y \underline{l} para el cálculo de ρ .

Pero la distribución en la semiesfera de la totalidad de la corriente enviada no se cumple exactamente ya que un porcentaje sale de ella y además la densidad de filetes es mayor en superficie y menor en profundidad de modo que el volumen realmente interesado en la medición requiere ser calculado para cada posición de M y N.

No detallaremos el cálculo y sólo consignaremos el resultado final que nos dará el valor del factor geométrico:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}$$

De lo expresado hasta ahora surge que, teóricamente, existe una relación directa entre la separación de los electrodos de envío A y B y los de penetración de la corriente, pero eso que es rescatable en un medio homogéneo carece de valor en la práctica cuando se presenta una sucesión de terrenos de distinta conductividad.

En efecto, supongamos que el subsuelo está formado por dos capas, de las cuales la superior tiene una resistividad mayor que la correspondiente a la capa inferior. En tal caso la corriente eléctrica que se aplique se distribuirá aproximadamente como ilustra la Fig. 8, es decir que las líneas de corriente se deformarán hacia abajo en virtud de la mayor conductividad del segundo nivel.

Esto hace que la resistividad que se calcula, en todos los casos se denomine resistividad aparente (ρ_a).

Siendo como ya se vió, que la resistividad (ρ) está ligada a la sección y longitud del conductor, utilizando las unidades del sistema mks deberá expresársela en m^2/m por lo que al resolver la igualdad $\rho = R \frac{S}{l}$ se la valorizará en $\Omega m^2/m$.

El método de eléctrico de resistividades permite, como se deduce de lo ya expresado, hacer exploraciones a profundidad creciente mediante la progresiva separación de los electrodos de envío de corriente A B, o a profundidad constante, desplazando todo el dispositivo electródico sin variar la separación entre sus componentes o moviendo sólo algunos.

La primera alternativa nos dará el sondeo eléctrico vertical y la segunda el perfil de resistividades. Seguidamente nos ocuparemos de ellos, pero antes será conveniente detenernos un poco sobre los distintos arreglos de electrodos que normalmente se emplean.

2.4.3 a Dispositivos electródicos

Se aceptan varias disposiciones electródicas, pero por razones de tiempo nos ocuparemos de las más empleadas. En todos los casos los electrodos se desplazan sobre una misma línea y casi siempre los de envío ocupan los extremos del dispositivo. Para los S.E.V. los dispositivos comúnmente usados son: el de Wenner y el de Schlumberger (Fig. 9).

En el primero, los cuatro electrodos son equidistantes de manera que entre uno cualquiera y el próximo hay una distancia igual a la tercera parte de A B.

Para tal dispositivo el valor geométrico K es igual a $\frac{AB}{3}$ siendo

$\frac{AB}{3} = a$ (Fig. 9-a). Por consecuencia, la resistividad $\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I}$.

En el segundo caso (Fig. 9-b) si bien se conserva la simetría, no existe equidistancia entre los electrodos. Los electrodos de corriente se se paran progresivamente manteniendo fijos los de medición mientras las diferencias de potencial originadas pueden ser medibles.

Para este dispositivo el valor de K es:

$$K = \pi \left(\frac{a^2}{MN} - \frac{MN}{4} \right) \text{ siendo } a = \frac{AB}{2}$$

En estos dispositivos simétricos los valores de ρ son referidos al punto medio entre los electrodos M y N.

2.4.3 b Práctica del S.E.V.

La operación consiste en clavar en el suelo los cuatro electrodos (A M N B) dispuestos según la geometría elegida y enviar una corriente eléctrica cuya intensidad se mide con un miliamperímetro, sobre los dos extremos (A B). Mediante un milivoltímetro conectado a los electrodos centrales (M N) se mide la diferencia de potencial creada. Con esos datos se calcula como ya se explicó el valor de ρ para esa distancia de A B. Luego se agranda esa separación en la medida que se desee y se repite la medición y así sucesivamente.

Los valores calculados de ρ se vuelcan sobre un papel logarítmico con feccionándose con ellos la curva de resistividades o curvas de campo que servirá de base para la interpretación del sondeo.

No existe manera de interpretar esa curva de campo por simple configuración, debiéndose recurrir a las "curvas patrón" calculadas. Explicar el proceso de utilización de estas curvas exactas calculadas, si bien es simple, demandaría un tiempo mayor que el disponible. Para los interesados en conocer lo se recomienda la obra de Orellana y Mooney, la de Tagg y la de la Compañía General de Geofísica (ver bibliografía).

Sin embargo conviene aclarar que todas las "curvas patrón" han sido calculadas para capas horizontales, para empleo de corriente continua y para módulos de 6,25 cm y de 8,46 cm.

2.4.3 c El perfil de resistividades

Ya se dijo que si todo el dispositivo A M N B se desplaza en un mismo sentido conservando la separación entre electrodos, se obtiene el perfil de resistividades que no es más que la medición de la resistividad de fajas verticales de terreno paralelas entre sí. Es obvio pues que el perfil de resistividades denunciará las discontinuidades verticales (fallas, diques, filones, etc) como lo hace con las horizontales el S E V.

Como en el caso de los sondeos eléctricos, hay numerosas disposiciones electrónicas utilizable en el perfil de resistividades que originan otros tantos métodos. Quizás el más divulgado sea el método del rectángulo un poco en desuso por las razones que se verán más adelante.

El método consiste en mantener fijos en ambos extremos de una línea de base a los electrodos de corriente A B, moviendo los de medición M N a lo largo de líneas paralelas a la primera. El conjunto de perfiles configura un rectángulo (Fig. 10) cuyos lados paralelos a A B no deben superar la relación 1:3 con respecto a la longitud de A B y las perpendiculares la de $\frac{A B}{2}$.

De acuerdo a esto, una línea A B de 360 m permitirá revisar un rectángulo de 180 m x 120 m de superficie.

El detalle de la prospección estará dado por la separación M N y la de los perfiles paralelos a la línea de base A B.

El factor geométrico para este método se calcula mediante la fórmula:

$$K = 2\pi \frac{1}{\left(\frac{1}{r1} + \frac{1}{r4}\right) - \left(\frac{1}{r2} + \frac{1}{r3}\right)}$$

Las dificultades de este método estriban en la reducida superficie estudiada con una misma posición de A B; problemático empalme de los rectángulos vecinos y numerosos cálculos de K.

Otro de los métodos es el tripolar que utiliza tres electrodos sobre la línea del perfil, uno de envío y los dos de medidas, lográndose el retorno de la corriente mediante otro electrodo fijo ubicado normal a la línea y a una distancia que se considera infinita (mínima 400 m). (Fig. 11).

La separación entre los electrodos móviles debe estar condicionada por el detalle que se pretenda y por la magnitud del elemento de discontinuidad que se busca, siendo recomendable mantener la relación $\frac{AM}{AN} = 3$ por ser la que brinda mejor contraste.

En este dispositivo se considera despreciable la influencia del electrodo B por lo que:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN}}$$

La profundidad de investigación a alcanzar con este método es:

$$P.i. = \frac{AO}{\frac{AM}{AN}}$$

y como AM/AN conviene que sea 3 se tendrá que a menor separación de M N se obtendrá mayor detalle pero menor penetración y viceversa.

La mayor ventaja de este método radica en que puede cubrirse una importante superficie sin tener que empalmar secciones, además K se calcula una única vez. El dispositivo tripolar es más corto que el cuatripolo, da menos anomalías parásitas que aquél y su poder de resolución es mayor. Su empleo es aceptable para investigaciones de hasta 20 m de profundidad.

Un tercer dispositivo es el denominado Bipolar. Utiliza dos electrodos móviles: A de corriente y M de medición (Fig. 12). Los otros dos quedan fijos y muy alejados del par móvil. El B asegura el retorno de la corriente y el N da el potencial de referencia que se considera igual a cero.

El potencial en M proveniente de A se expresa por:

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{AM} \text{ (donde } \frac{1}{AM} \text{ resulta ser el valor de K)}$$

El potencial en N proveniente de B es despreciable en función de la distancia BM luego:

$$\rho = \frac{V_M}{I} \cdot 2\pi \cdot AM$$

La profundidad de investigación con este dispositivo es un tanto teórica pero puede aceptarse en líneas generales que:

$$P_i = \frac{5 AM}{2}$$

Cabría hablar todavía de otros dispositivos pero será preferible detenernos un poco sobre los resultados del perfil de resistividades o del conjunto de ellos: la carta de resistividades.

Ya se dijo que con ellos se procura localizar y definir las dimensiones horizontales de discontinuidades verticales.

Si el objeto de la búsqueda es una falla que afecta a un terreno de resistividad ρ_1 cabe esperar que el accidente tectónico se manifestará por valores de resistividad menores que ρ_1 pues es obvio que el cuerpo de la falla con su aumento de porosidad, relleno y humedad se comportará como un elemento conductor (Fig. 13 a).

Si la falla pone en contacto dos unidades litológicas de resistividades distintas, el perfil que se obtendrá será semejante al ilustrado en la Fig. 13 c.

La carta de resistividades puede considerarse como un conjunto de perfiles sin ser graficados independientemente, sino que volcados en un plano de valores calculados de ρ para cada punto medido, de manera de permitir el trazado de curvas de isorresistividad que relejarán en definitiva las zonas anómalas.

2.4.4. Mediciones de resistividades en perforaciones

Los dispositivos electródicos enunciados precedentemente, armados en el interior de sondas pueden utilizarse en el perfilaje eléctrico de perforaciones.

El empleo de estos dispositivos en los que se incluyen en la sonda de perfilaje, electrodos de envío de corriente y de medición de potenciales, requieren que la perforación contenga líquidos conductivos. A veces se usan elec

trodos "rascadores" que hacen contacto con las paredes del pozo pero como aquél no siempre es correcto, los resultados no son cuantitativamente seguros.

En la práctica del perfilaje eléctrico, el dispositivo más empleado es el trielectrónico cuyo montaje se esquematiza en la Fig. 14 y que se denomina "normal".

La resistencia que se mide a través del líquido de inyección que actúa como electrolito homogéneo será:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \cdot K$$

donde ΔV es la diferencia de potencial entre M y N, y K como ya se ha visto depende de la separación de los electrodos.

Como tendrán oportunidad de verlo aquellos que no conocen el método, el instrumental que se usa para el perfilaje eléctrico de pozos suministra un registro gráfico continuo de la resistividad medida en toda la corrida inundada, el que en definitiva permitirá hacer la correlación geológica de las perforaciones en base a los valores de ρ y de los otros parámetros (P.N. γ , etc) que los equipos multicanales brindan.

3. BIBLIOGRAFIA

- BHATTACHARYA, P.K. et all. "Direct current geoelectric sounding. Principles and interpretation". Elsevier Publishing Co. London, 1968.
- BLEIL, D.F. "Induced polarization: a method of geophysical prospecting" Geophysics - 1952.
- CARPENTER, E.W. "Some notes concerning the Wenner configuration". Geophysical Prospecting. Vol. 3, 1955.
- COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE. "Abaques de sondage électrique". Geophysical Prospecting. Vol. 3, 1955.
- DOBRIN, M.B. "Introducción a la prospección geofísica". Ed. Omega. Barcelona, 1961.
- EUROPEAN ASSOCIATION OF EXPLORATION GEOPHYSICISTS. "Standard graphs for resistivity prospecting". Netherlands, 1969.
- HALES, F.W. "An accurate graphical method for interpreting seismic refraction lines". Geophysical prospecting. Vol. 6, 1958.
- HALLOF, P.G. "Uses of induced polarization in mining exploration". A.I.M.E. Transactions. Vol. 217, 1960.
- MUSKAT, M. "The theory of refraction shooting". Physics Vol. 4, 1933.
- NETTLETON, L.L. "Gravity and magnetic calculation". Geophysics. Vol. 7, 1942.
- ORELLANA, E. y MOONEY, H. "Tablas y curvas patrón para sondeos eléctricos verticales sobre terrenos estratificados". Ed. Interciencia. Barcelona, 1966.
- _____ "Curvas patrón de dos y tres capas y diagramas de punto auxiliar para S.E.V. mediante el dispositivo de Wenner". Ed. Interciencia. Madrid, 1972.
- RICKER, N. "The form and laws of propagation of seismic wavelets". Geophysics. Vol. 18, 1953.
- POLDINI, E. "La prospección eléctrica du sous-sol à faible profondeur". Publication de la C.G.G. France, 1938.
- _____ "La prospección eléctrica du soud-sol". F. Rouge et Cie. S.A. Lausanne, 1947.
- _____ "Les phénomènes de polarization spontanée électrique du sous-sol et leur application à la recherche des gites métallifères". Memoire de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles. N° 40. Vol. 6. Lausanne, 1938.
- ROTHE, E. "Prospección geofísica", Gauthier-Villards Ed. Paris, 1952.

SCLUMBERGER, C. "Etude sur la prospection électrique du sous-sol". Gauthier Villards Ed. Paris, 1930.

_____ "La méthode de la carte des résistivités du sol et ses applications pratiques". Annales des Mines. Paris, 1930.

SEIGEL, H.O. "Induced polarisation methods". Mining in Canada, 1970.

SLOTNICK, A. "A graphical method for the interpretation of refraction profile data". Geophysics. Vol. 15, 1950.

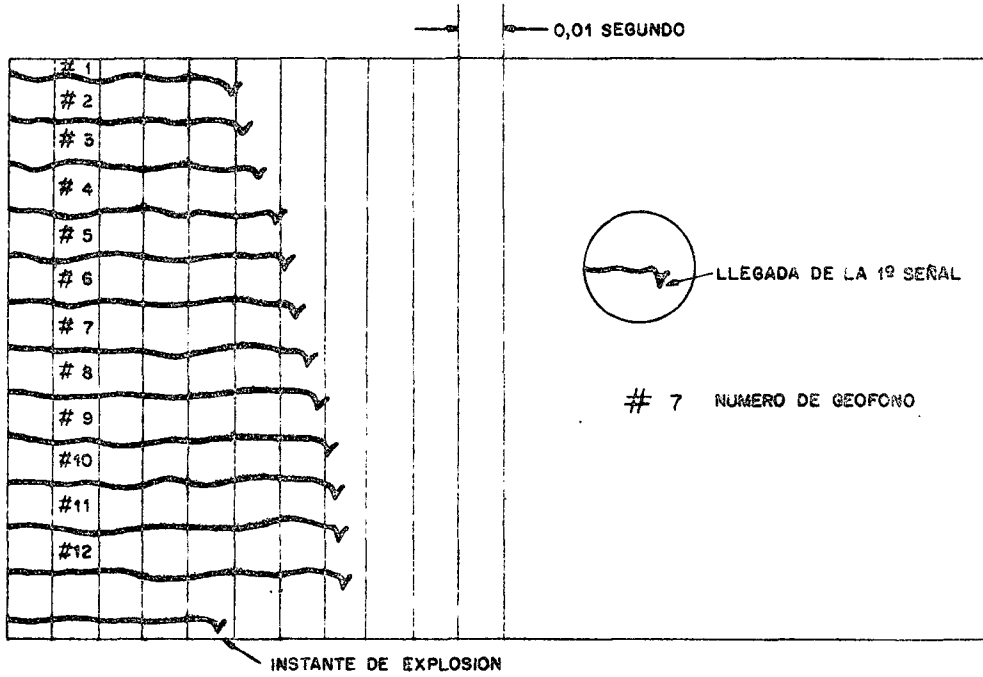
STEFANESCO, C. "Etudes théoriques sur la prospection électrique du sous-sol". Imprimerie National. Bucarest, 1932.

TAGG, G. F. "Interpretation of resistivity measurements". Geophysical Prospecting. A.I.M.E., 1934.

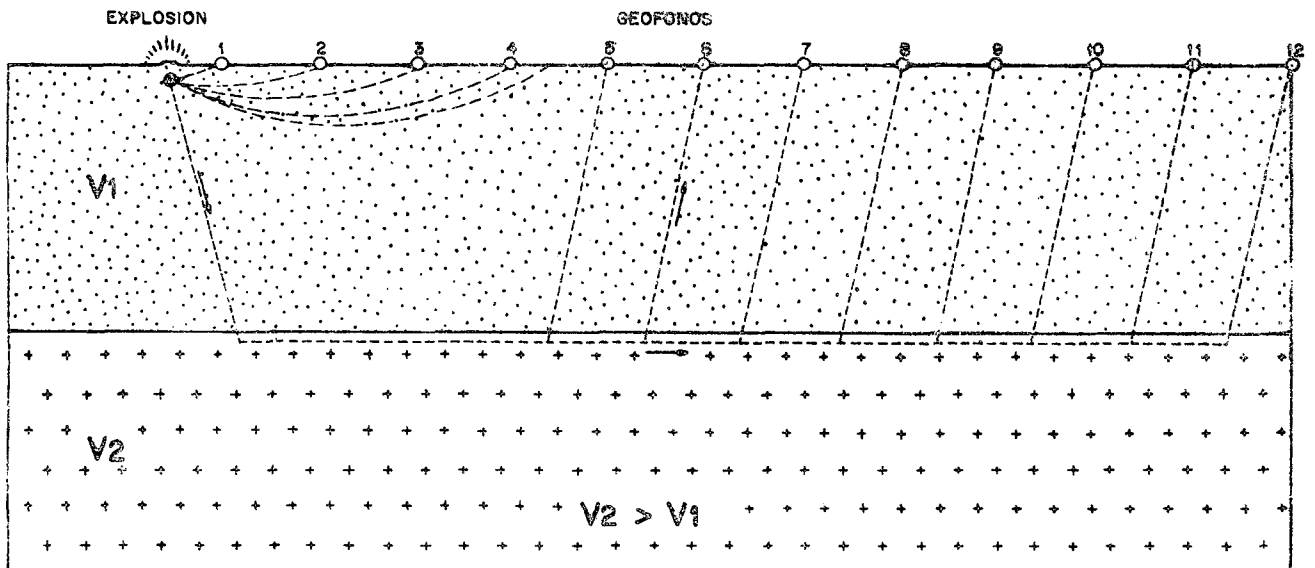
I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>METODOS GEOFISICOS</u>	2
2.1. <u>Magnetometría</u>	2
2.2. <u>Gravimetría</u>	2
2.3. <u>Sísmica</u>	2
2.3.1. <u>Sísmica de refracción</u>	3
2.4. <u>Métodos eléctricos de prospección</u>	5
2.4.1. <u>Método de autopotencial o de potencial espontáneo</u>	5
2.4.1. a. <u>Técnica de medición e interpretación</u>	6
2.4.2. <u>Método de polarización inducida</u>	6
2.4.3. <u>Método de las resistividades eléctricas</u>	7
2.4.3. a. <u>Dispositivos electródicos</u>	9
2.4.3. b. <u>Práctica del S.E.V.</u>	10
2.4.3. c. <u>El perfil de resistividades</u>	10
2.4.4. <u>Mediciones de resistividad en perforaciones</u>	12
3. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	14

EJEMPLO DE SISMOGRAMA PARA DOS TERRENOS Y 12 GEOFONOS



A)-SISMOGRAMA



B)- DISTRIBUCION DE GEOFONOS QUE LO ORIGINA

EJEMPLO DE CURVA "TIEMPO - DISTANCIA" PARA TRES TERRENOS

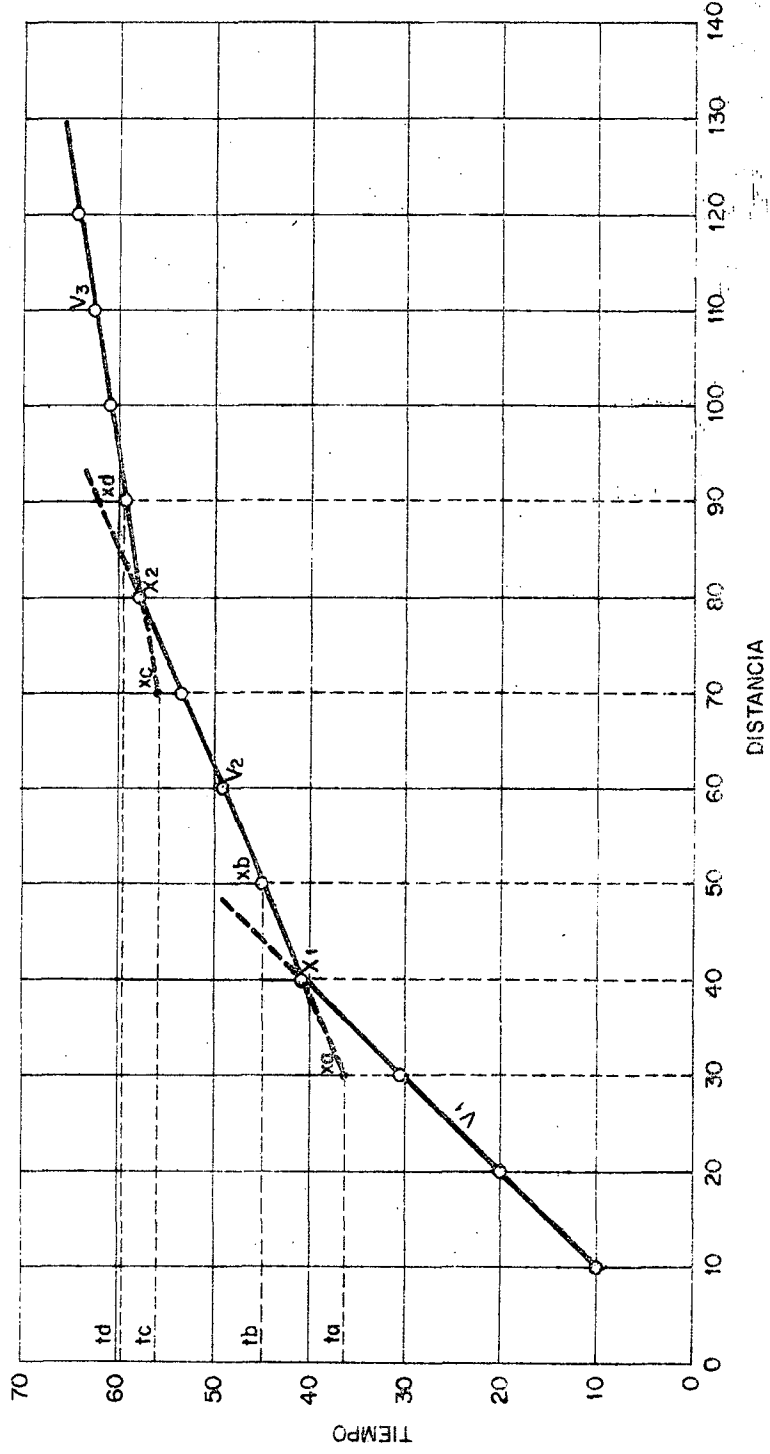
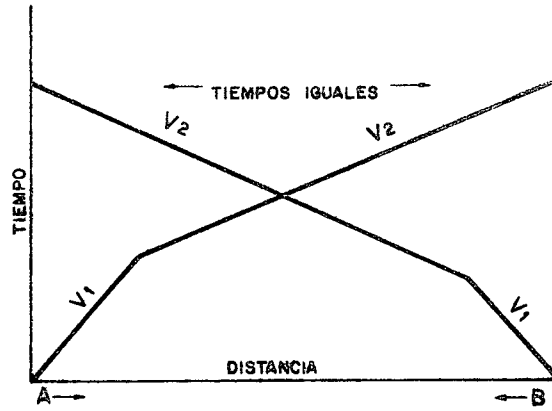
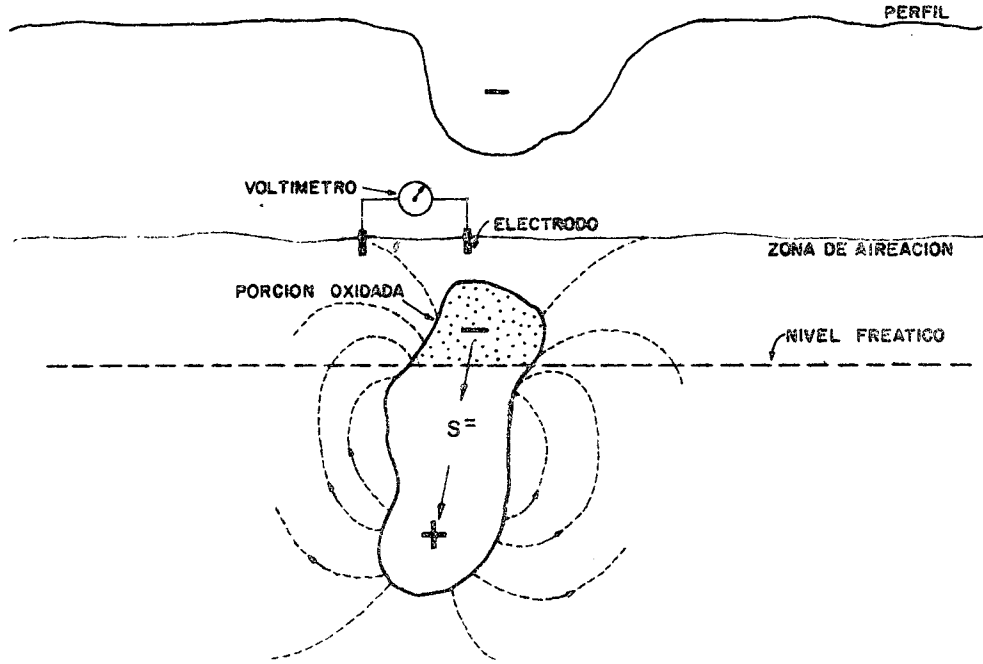


FIG. 3



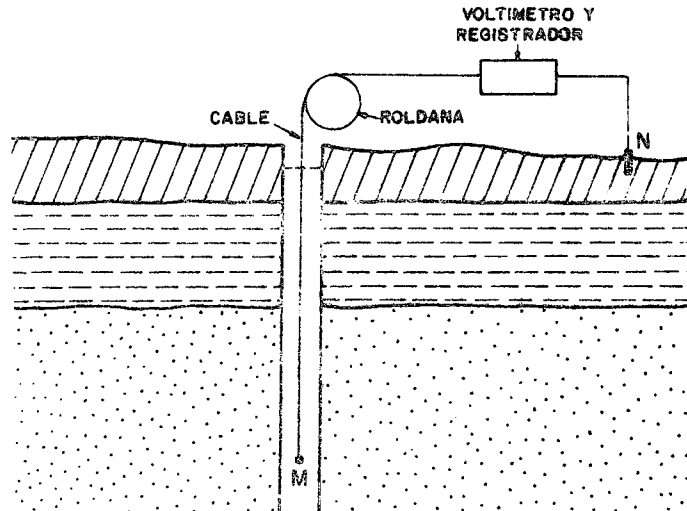
CURVA "TIEMPO-DISTANCIA" PARA RECORRIDOS INVERSOS

FIG. 4



POLARIZACION ESPONTANEA

FIG. 5



MEDICION DE POTENCIALES NATURALES EN UNA PERFORACION

FIG. 6

DISTRIBUCION DE LA CORRIENTE EN UN MEDIO HOMOGENEO

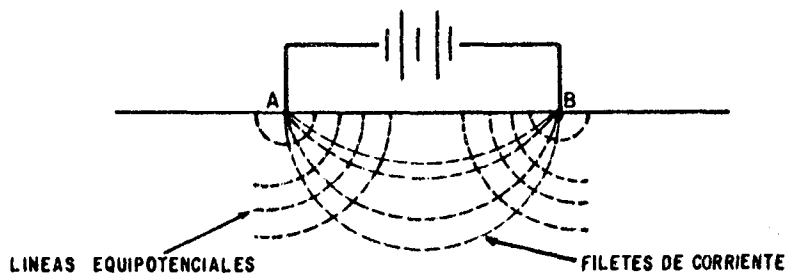


FIG. 7

ALCANCE DE LA MEDICION DE DIFERENCIA DE POTENCIALES

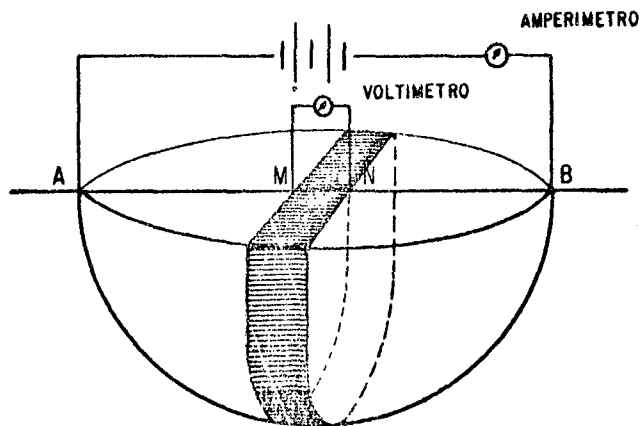
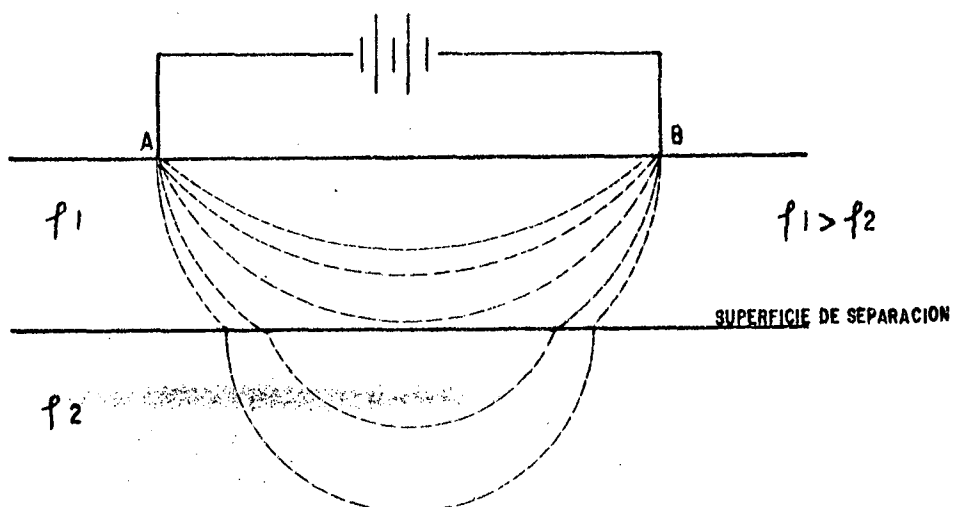


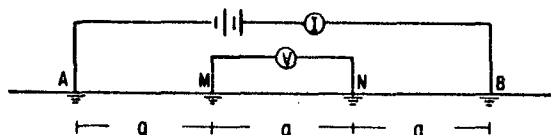
FIG. 8

ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE LA CORRIENTE EN DOS MEDIOS DISTINTOS



DISTRIBUCION ELECTRODICA

(a)
WENNER



(b)
SCHLUMBERGER

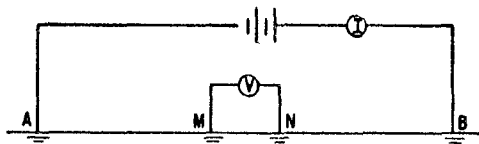


FIG. 10

METODO DEL RECTANGULO

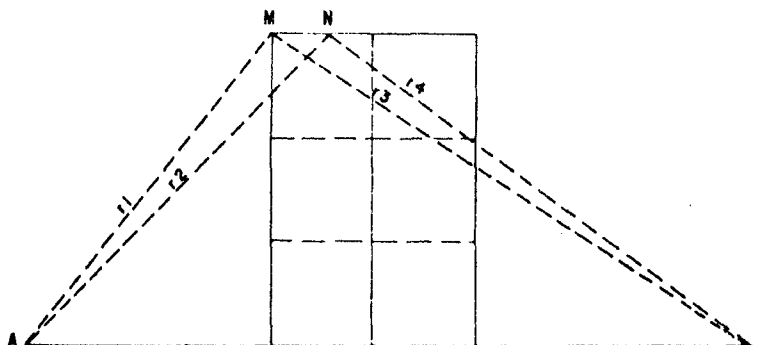


FIG. 11

DISPOSITIVO. TRIPOLAR

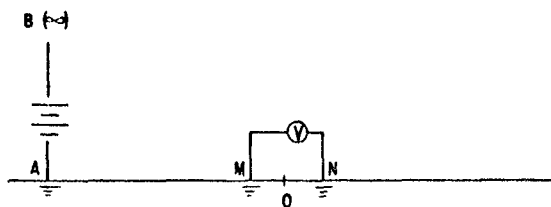
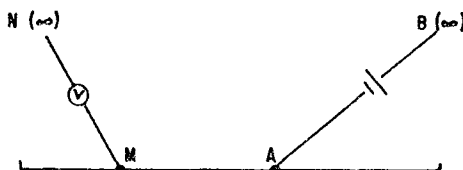


FIG. 12

DISPOSITIVO BIPOLAR



PERFILES DE RESISTIVIDAD

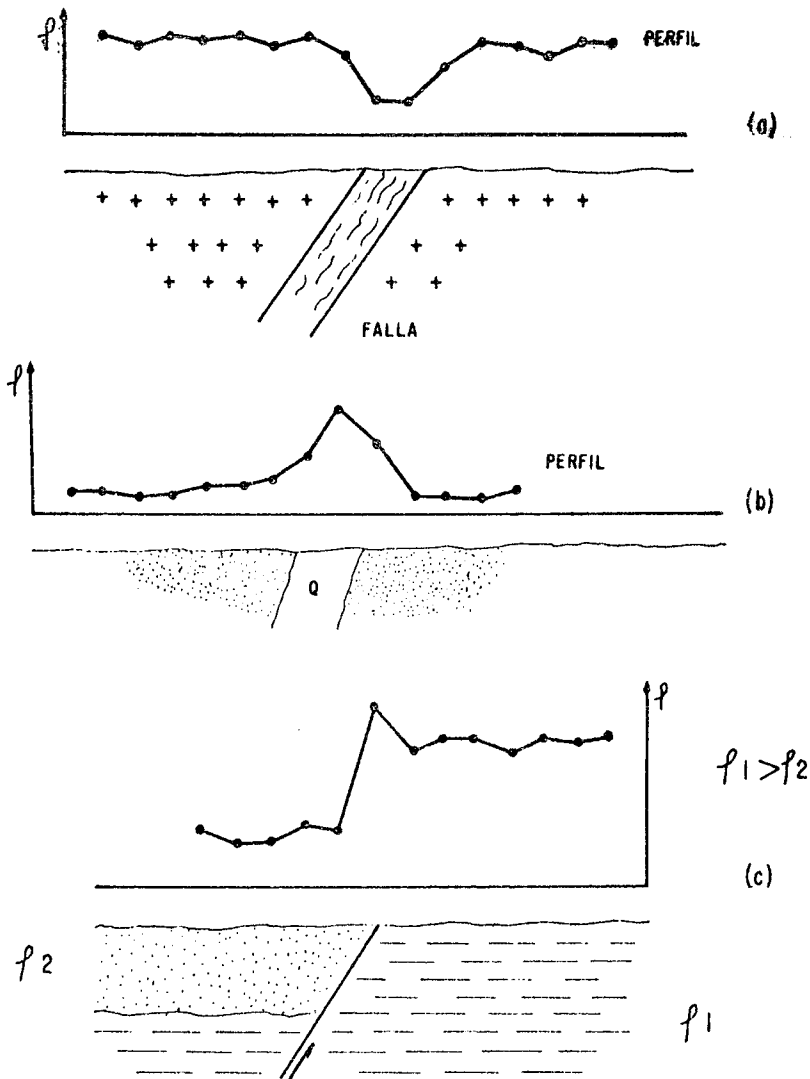


FIG. 14

DISPOSITIVO TRIELECTRODICO EN PERFORACIONES

