

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



METODO DE RESISTENCIAS ELECTRICAS PARA
EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

S E M I N A R I O

(OPCIÓN II-A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

P R E S E N T A

ALBERTO DIAZ TORRES

TL
GB1197
.6
.D5
c.1

MARIN, N.L.

FEBRERO DE 1985

TL
GB1197
.6
.D5
c.1

MARIN



1080061843

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



METODO DE RESISTENCIAS ELECTRICAS PARA
EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

S E M I N A R I O

(Opción II-A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

P R E S E N T A

ALBERTO DIAZ TORRES

MARIN, N.L.

FEBRERO DE 1985

7
981197
.6
D5



Biblioteca Central
Magna Solidaridad
F. Tesis



BU Raúl Rangel Fierro
UANL
FONDO
TESIS LICENCIATURA

INDICE

	Página
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	2
1. Antecedentes.....	2
2. Principio del Método.....	3
3. Dispositivos de Medida.....	3
4. Descripción de un sondeo.....	5
5. Descripción de Calicatas Eléctricas.....	7
6. Elección del equipo.....	7
7. Límites de utilización.....	8
III. METODO.....	10
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	21
V. BIBLIOGRAFIA.....	22

INDICE DE FIGURAS

	Página
1. Dispositivos de medida usados en la prospección eléctrica.....	4
2. Figura que describe una colocación de sondeo.....	5
3. Gráfica que muestra el resultado del sondeo vertical en dos zonas bien definidas.	6
4. Gráfica que muestra el sondeo vertical sin definición de zonas.....	6
5. Plano de una calicata eléctrica.....	8
6. Aparato Strta Scout para sondeos eléctricos.....	9
7. Descripción de un puente modificado para medir relación de caídas de potencial...	13
8. Arreglo de electrodos en sondeos verticales.....	15
9. Cuadro de datos colectados en un sondeo en el cual la caída de potencial más bajo esta a 90 m.....	19
10. Gráfica de valores obtenidos en un sondeo.....	20

I. INTRODUCCION

El hombre desde tiempo remotos ha tratado de establecer sus poblados y agricultura cerca de los sitios donde el agua sea abundante ya sea de ríos, manantiales, lagunas o lluvia abundante, etc.

Pero tal es el caso de México que la mayor parte de su territorio no reúne los requerimientos buscados por el hombre. Antiguamente ya que las regiones favorecidas por una cantidad de agua dotada en forma natural encuentran en una porción muy pequeña del territorio nacional; ya que las lluvias y ríos se localizan en vertientes tanto del Atlántico como del Pacífico en un 98%, mientras que las vertientes del centro son favorecidas en forma natural en menos de un 24% (3) (10).

En un medio como el mexicano en el que el agua es el factor más importante en el desarrollo de los pueblos, en los que el establecimiento de núcleos poblacionales alcanza los mayores porcentajes en las regiones menos favorecidos por la dotación natural del agua se hacen necesarios el uso de alternativas para obtenerla, ya sea mediante la captación de presas, bordos y la extracción del subsuelo. (2)

Las extracciones tienen necesidad de hacerse no solo para usos potables, sino para la agricultura de México, donde los componentes del uso consultivo de los cultivos hacen requerirla en más altas cantidades. (14)

Debido a estas condiciones económicas de los pueblos de México y la situación hidrológica y geográfica de sus regiones, se hace necesaria la explotación de las aguas subterráneas que es una de las alternativas para las necesidades de la agricultura y el consumo humano. El presente trabajo tiene como objetivo describir uno de los métodos más utilizados en la búsqueda del agua. Esto es el método de las resistencias eléctricas.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Antes de tocar el tema concreto de la exploración de aguas subterráneas y el método de sondeo al cual se refiere el siguiente trabajo, es conveniente que se mencione la panorámica de los problemas que en conjunto encara la humanidad en relación con la utilización de sus recursos hídricos. Es un hecho de la naturaleza que así como el agua cubre las tres cuartas partes de la superficie de la tierra es también una verdad irónica que rara vez se le localiza donde se necesita, cuando se necesita y en las condiciones en que se requiere. (5)

A pesar de la antigüedad de los conocimientos prácticos sobre alumbramientos de aguas subterráneas mediante pozos; el verdadero desarrollo de las técnicas científicas tanto de exploración como de captación, han traído como consecuencia una explotación de las aguas subterráneas. (5)

La importancia económica en la búsqueda de aguas subterráneas en los Estados Unidos es que el consumo de agua subterránea es de 450 litros por día por persona y si se considera los usos industriales, el consumo es de 5,600 litros y debido a la necesidad de incrementar el abastecimiento, se menciona al método de propensión eléctrica como uno de los más importantes para la localización de aguas subterráneas (4) y dentro de los distintos métodos existentes de propensión eléctrica el de la resistibilidad aparente es uno de los que más se usa; dentro de esos sondeos eléctricos y el de las Calicatas se describirá en forma general. (16)

El método es de origen francés, ya que fue ideado en 1914 por Conrad Schlumberger en Francia (17) (16). Además, de esto, inventó en 1927 un conjunto de técnicas adoptadas universalmente para perforación.

El costo del equipo y la captación del que los emplea es uno de los principales obstáculos por lo que el método no se emplea. (17)

Pero en un trabajo realizado en Chapingo se constató la efectividad del uso de estos aparatos (1).

La circulación del agua en el interior de los terrenos provoca modificaciones diversas en los medios en que circula y algunas de estas modificaciones que produce, pueden apreciarse de manera diversa, esto es con diferentes aparatos. Los cuales nos dan indicios de alto valor práctico, los más conocidos de todos los existentes, el Sísmico eléctrico son los más usados en la búsqueda de aguas subterráneas. (9)

La investigación realizada a través de métodos eléctricos ha brindado resultados convincentes, esto aunado a los costos y a la facilidad relativa del método, han hecho que la propensión eléctrica sea una de las ayudas más eficaces para el geólogo en la investigación, para comprobar las supuestas estructuras y espesor de los terrenos, así como las zonas empapadas de agua. (9)

Según Behr la clasificación de los métodos para hacer investigación de aguas subterráneas se clasifica en:

Empíricos: Por referencias locales, indicios de humedad, manifestaciones rábidas.

Científicas: Estudios geológicos y radiotelurismo.

Se menciona que el método del radiotelurismo es ampliamente utilizado en los diferentes países y que se han encontrado resultados óptimos y los suficientemente seguros (6).

Y Parasnis, los clasifica desde el punto de vista de: Si se mide el potencial eléctrico del punto de observación respecto a un punto fijo y el otro tipo en el cual se mide el gradiente de potencial en cada punto. Colocando entre los del primer tipo al de equipos potenciales y el de mise-a-la masse

y dentro de los segundos, el de resistividad del terreno y el de relaciones de caída de potencia. (16)

Dispositivos de Medida. Se puede utilizar el método dispositivos, además de otros como el Wenner y el trtrapolas Schlumberger. (17)

La configuración Wenner es uno de los más antiguas y su diferencia las separaciones entre los electrodos adyacentes son iguales entre sí.

La configuración Schlumberger básicamente se diferencia de los otros en que la distancia entre las sondas de potencial es pequeña frente a la doble distancia entre los electrodos de corriente.

En la configuración trielectrodica uno de los electrodos de la corriente permanece fijo a la distancia muy grande de los tres restantes.

En la configuración dipolo dipolo, las sondas de potencial estan en el segmento en la parte exterior determinado por los electrodos de potencial, teniendo cada uno una separación mutua constante (a). (16)(17)

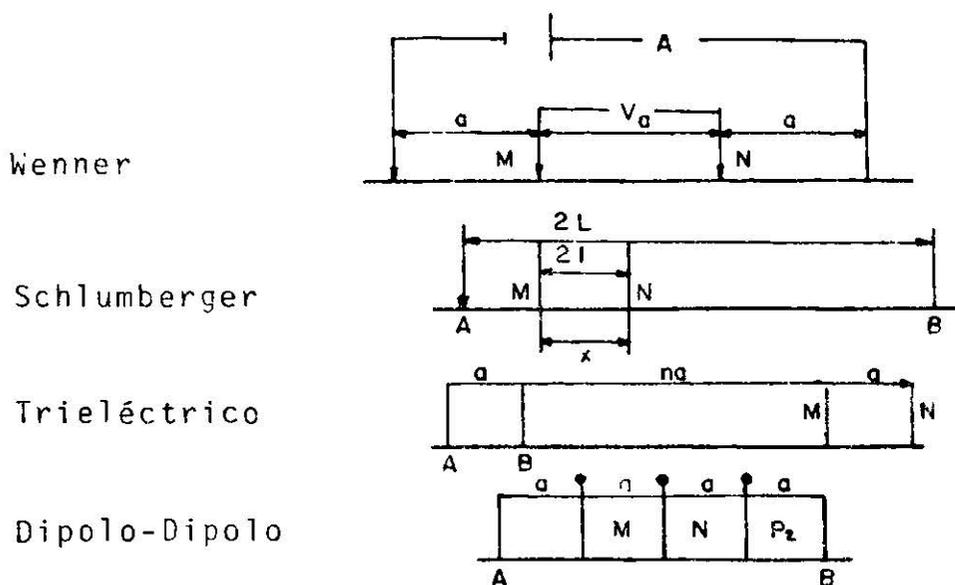


FIGURA 1. Dispositivos de medida usados en la prospección eléctrica.

Sondeos Eléctricos

La forma en que los sondeos eléctricos se realizan en lo que a la teoría de este método se refiere, es la de que si tenemos dos electrodos como se mencionó anteriormente las medidas de resistibilidad aparente se toman separando progresivamente estos electrodos y así, las líneas de corriente que se lanzan alcanzan diferentes profundidades; estas formas de sondeo eléctrico solo sirven para sondeos horizontales y se interpretan fácilmente cuando hay solamente dos capas. (17)

Darder Parasnís describen el sondeo eléctrico como el que nos sirve para deducir la resistencia eléctrica con la profundidad, y dicen que se fundamenta en el hecho anteriormente citado, de la proporción existente entre la distancia entre electrodos y las profundidades del alcance. Además, menciona que al conocer la variación de la resistividad eléctrica como los datos geológicos del terreno, podemos inferir con mayor detalle las condiciones del suelo en estudio. (16)

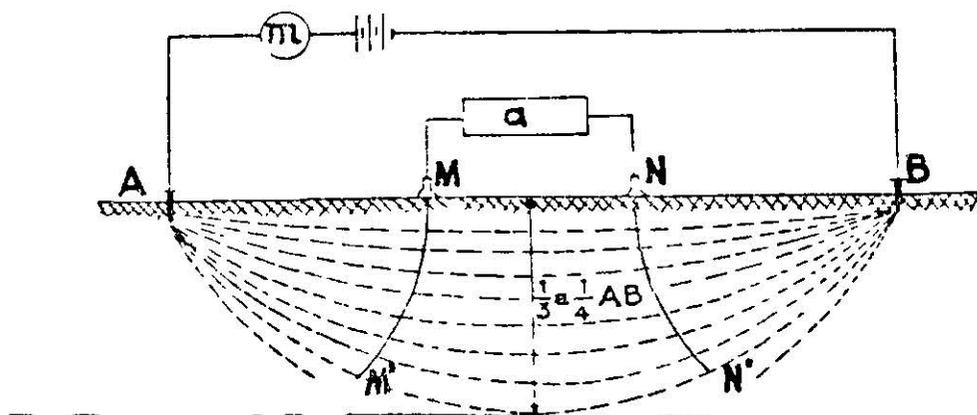


FIGURA 2. Descripción de la colocación de sondeo
FUENTE: Darder, 1981.

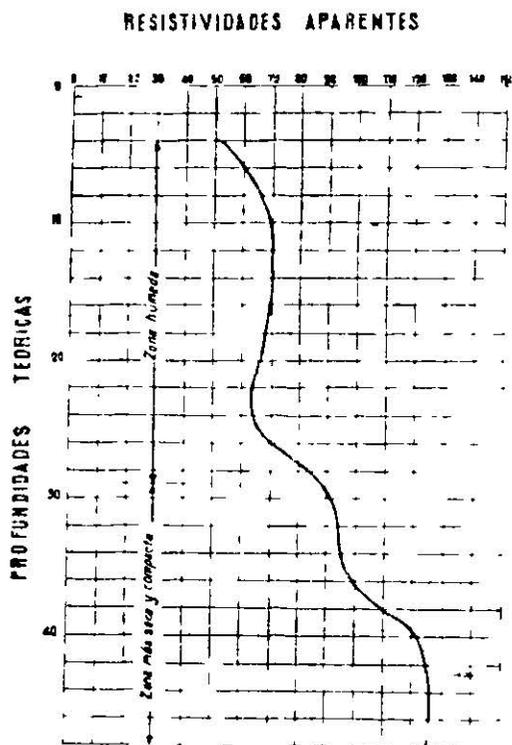
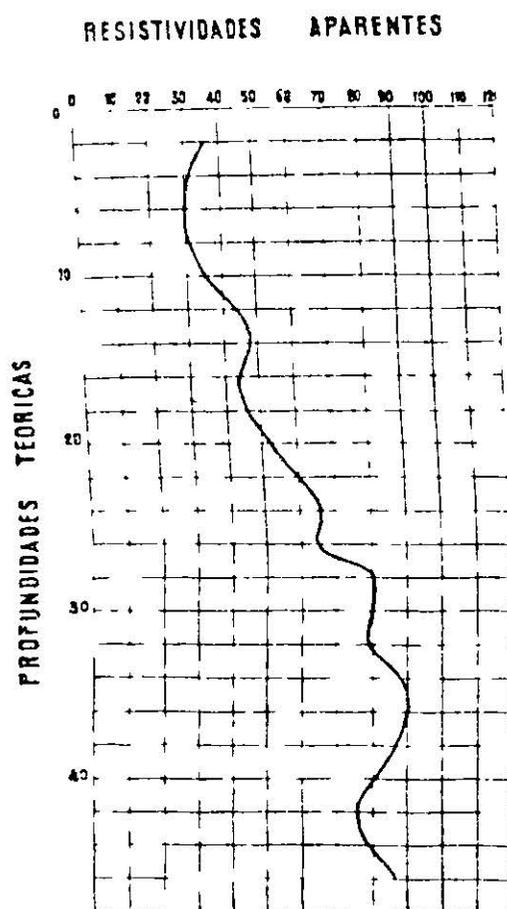


FIGURA 3. Gráfica que muestra el resultado del sondeo vertical en dos zonas bien definidas.

FIGURA 4. Gráfica que muestra el sondeo vertical sin definición de zonas.



Calicatas Eléctricas

Este es uno de los métodos también usados pero a diferencia del método de sondeos eléctricos, los electrodos no se mueven, sino que permanecen fijos y uno de los objetivos de las calicatas eléctricas, es que determina las variaciones laterales en el terreno. Se puede llevar a cabo por las configuraciones mostradas en el descrito por Parasnis, Darder y Bltr. (6)(9)(17)

Este es el más usado para encontrar zonas saturadas de humedad, debido a que se puede formar un mapa general en la zona de investigación (9). En estos mapas se trazan luego líneas de igual resistividad aparente con intervalos adecuados (16).

En el método de las calicatas eléctricas, es el escoger el punto vertical de perforación para lo cual hay que decidir la distancia entre electrodos, normalmente se utiliza la constatación en mapas geológicos y si no se toma de la fórmula $AB = 4h$, donde AB = a la distancia entre electrodos y $4h$ = a la profundidad de sondeo. (17)

Elección de equipo

Para la mayoría de los autores, el equipo que se necesita es un galvanómetro y un altímetro. (16) (6).

Dentro de la investigación de aguas subterráneas, es importante escoger dentro de los equipos, dependiendo del lugar de exploración, si es una zona urbana los de corriente alterna tienen mayores ventajas. (17)

Para realizar sondeos, no es muy necesario la sofisticación del equipo, sino más bien, una marcada organización de lo disponible. (16)

Límites de utilización

El uso de estos equipos es sencillo en realidad, pero los resultados deben ser interpretados auxiliados por un geólogo y para la investigación de aguas subterráneas un hidrogeólogo. (17)

Muchas de las veces, la elección del equipo es una de las más fuertes limitantes, ya que se pueden encontrar zonas de alta conductividad. (16) (17)

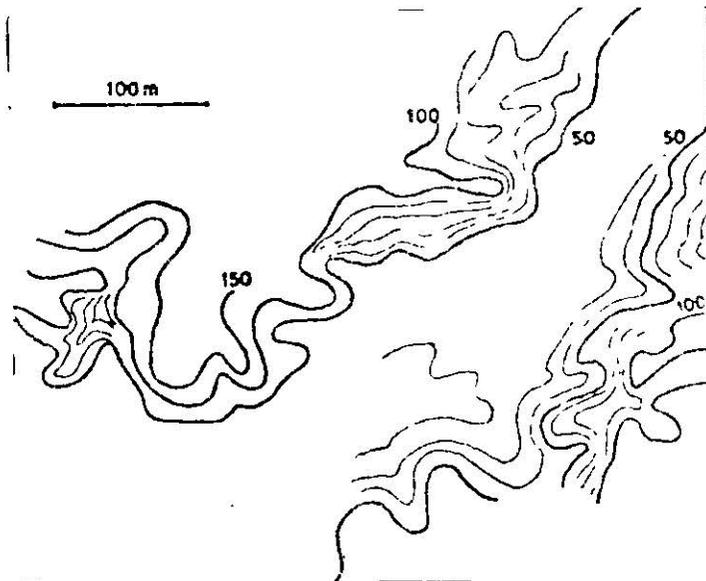


FIGURA 5. Plano de una Calicáta Eléctrica.

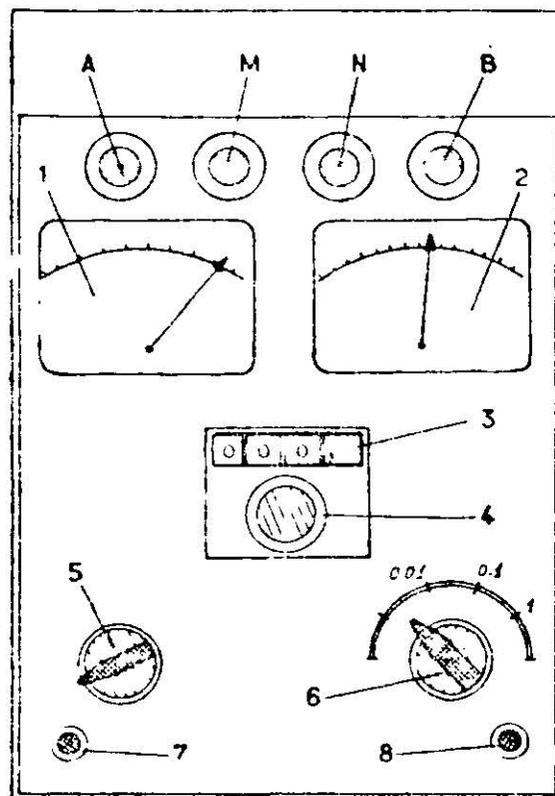


FIGURA 6. Aparato Strta Scour para sondeos eléctricos

III. METODOS

Las estructuras geológicas pueden ser delineadas mediante la interpretación de sus reacciones con los campos eléctricos; sin embargo, lo limitado de poder de penetración del método restringe su aplicación a aquellos accidentes estructurales comprendidos dentro de profundidades aproximadas a 500 m actualmente, ya existen equipos con penetraciones hasta de 1,500 m que trabajan a frecuencia muy reducida.

Relaciones de caída de potencial

Esta es una de las aplicaciones del método eléctrico se funda en la propagación de una corriente eléctrica de muy baja frecuencia y de las características físicas del subsuelo.

Consiste en crear un campo de potencial en el subsuelo al introducir al terreno una corriente de intensidad generada y recuperar los efectos que se producen mediante la utilización de instrumentos y dispositivos de medida permitiendo obtener información sobre las características generales del subsuelo y definir la posición de las anomalías de acuerdo con las propiedades eléctricas que presenten. De esta forma, es posible definir estructuras que tienen no solo disposiciones horizontales, sino hasta verticales como fallas, filones, o diques.

En la mayoría de los casos, los materiales del subsuelo permiten el mayor o menor grado de flujo de la corriente eléctrica, ya sea a través de las rocas o minerales debido a la ionización de los mismos o de los electrolitos que se forman por la presencia del agua (conductividad eléctrica).

De acuerdo con lo anterior, las rocas compactas presentan una elevada resistencia al paso del flujo de la corriente; si son permeables o pondrán baja resistencia, la que disminuirá aún más si contienen agua.

El procedimiento consiste en formar un campo eléctrico artificial del subsuelo generandolo desde la superficie del terreno mediante el contacto de planchas metálicas llamadas electrodos de corriente y obtener potenciales inducidos a través del contacto de los electrodos de potencial; es decir, valores numéricos que al ser relacionados con la profundidad teórica de la exploración con los puntos de contacto de la fuente corriente y la distancia a los de captación del campo eléctrico (electrodos de potencial), permiten el cálculo y trazo de gráficas que sirven para determinar las zonas de saturación y la profundidad a la que estas se registran, más no datos precisos sobre la potencialidad de los acuíferos.

Equipo empleado:

- Fuente de energía eléctrica
- Electrodos primarios o de corriente
- Electrodos secundarios o de potencial
- Un medidor de Relaciones de Caídas de Potencial
(Gradiómetro de Resistencia)

El objeto de los dos primeros es proporcionar la energía eléctrica, en tanto que los dos últimos, es medir los gradientes de potencial que se relacionen con la deformación de este campo producido por las variaciones de la conductividad o resistividad en las rocas que constituyen el subsuelo.

Fuente de energía. La fuente de energía consta generalmente de un moto-generador de corriente alterna de más o menos 110 Volts, 300 Watts. auto-excitada a 25 ciclos por segundo e impulsada por un motor de gasolina de un cilindro de medio caballo de fuerza y de cuatro tiempos.

Electrodos primarios. Los electrodos primarios son dos, consisten en placas metálicas a las que están conectados unos pies cortos verticales dotados de agarradera; estas placas se colocan en pequeñas excavaciones hechas exprofeso sobre la superficie del terreno previamente humedecidas con un electrolito

to formado con agua más una sal (generalmente cloruro de sodio comercial) para disminuir la resistencia de contacto. La distancia que separa los electrodos de corriente es aproximadamente cinco veces la profundidad teórica que se desea alcanzar y formará un ángulo recto con la línea de estudio.

Electrodos secundarios. Los tres electrodos secundarios o de potencial, son varillas de cobre de sección circular que deben enterrarse en el suelo lo más firmemente posible a fin de disminuir las variaciones en la resistencia de contacto, y en la misma forma que los electrodos primarios también se humedecen con agua, agregándole cloruro de sodio. La separación de estos electros está en proporción de la distancia de la estaca central al electrodo de corriente. Los intervalos demasiado pequeños entre los electrodos, por ejemplo: de 0.50 m a 1.00 m, normalmente producen lecturas semejantes reportando curvas de gran continuidad y si estos son muy grandes, de 10.0 m en adelante, pueden proporcionar lecturas con valores cuyas diferencias entre sí sean tales que generen gráficas de poca claridad y de interpretación sujeta a errores, por lo tanto, es conveniente utilizar intervalos con distancias de más o menos 3 m.

Gradiómetro de resistencia. El gradiómetro de resistencia permite obtener desde la superficie por medio de mediciones de potencial, datos de las distintas resistividades aparentes de las rocas que constituyen el subsuelo.

Este aparato al que van conectados los tres electrodos de potencial entre los electrodos A-B-C, mide el gradiente de potencial entre los electrodos de potencial C-A y C-B; es decir, el gradiente o diferencia de potencial entre ambos. Estas dos caídas de voltaje, se aplican a los brazos de un puente de corriente alterna provisto de un circuito de balanceo formado por resistencias y condensadores, que en sí es un puente de Wheatstone con las innovaciones requeridas para estos fines.

La determinación de la relación de caídas de potencial se lleva a cabo mediante la interconexión de un puente modificado, como se aprecia en la Figura 7.

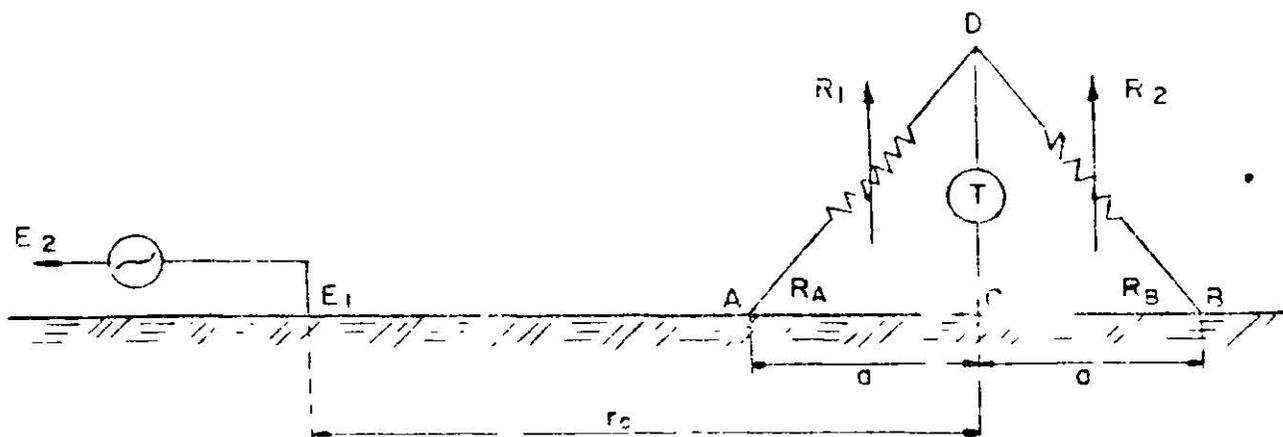


FIGURA 7. Puente modificado con el cual se determinan las caídas de potencial

La fuente de energía eléctrica se conecta a los electrodos de corriente E_1 y E_2 teniendo cuidado de que el E_2 quede situado a una distancia tal, que únicamente la distribución del potencial debida a E_1 sea la considerada. El puente hace contacto con el terreno en tres puntos A-C-B; los brazos del circuito AD-DB tienen dos resistencias variables conocidas, R_1 y R_2 y dos resistencias fijas de contacto, R_A y R_B de los electrodos A y B. Cuando el puente esté balanceado o en equilibrio, el galvanómetro "T" permanecerá fijo.

Procedimiento de Campo. Existen varios procedimientos conocidos como primera, segunda y tercera variante, cuya diferencia está basada en la colocación de los electrodos sobre la línea de estudio, ya que la penetración se incrementa aumentando por etapas sucesivas la distancia que media entre el conjunto de electrodos primarios y secundarios.

Primera variante: Una vez escogida la equidistancia "a" de acuerdo con la profundidad teórica que se desea alcanzar, los electrodos secundarios A-C-B, cuya separación es igual para ambos, permanecerán fijos y el electrodo de corriente irá recorriendo la línea de estudio que es un múltiplo "n" de la distancia "a" ocupando las posiciones sucesivas $E_0, E_1, E_2 \dots E_n$, después de cada observación, de tal manera que estas queden ligadas entre sí. La medida de las relaciones de los potenciales A y B logradas por el aparato en cada posición, proporcionan los datos para calcular las relaciones de caídas de potencial por relación normal.

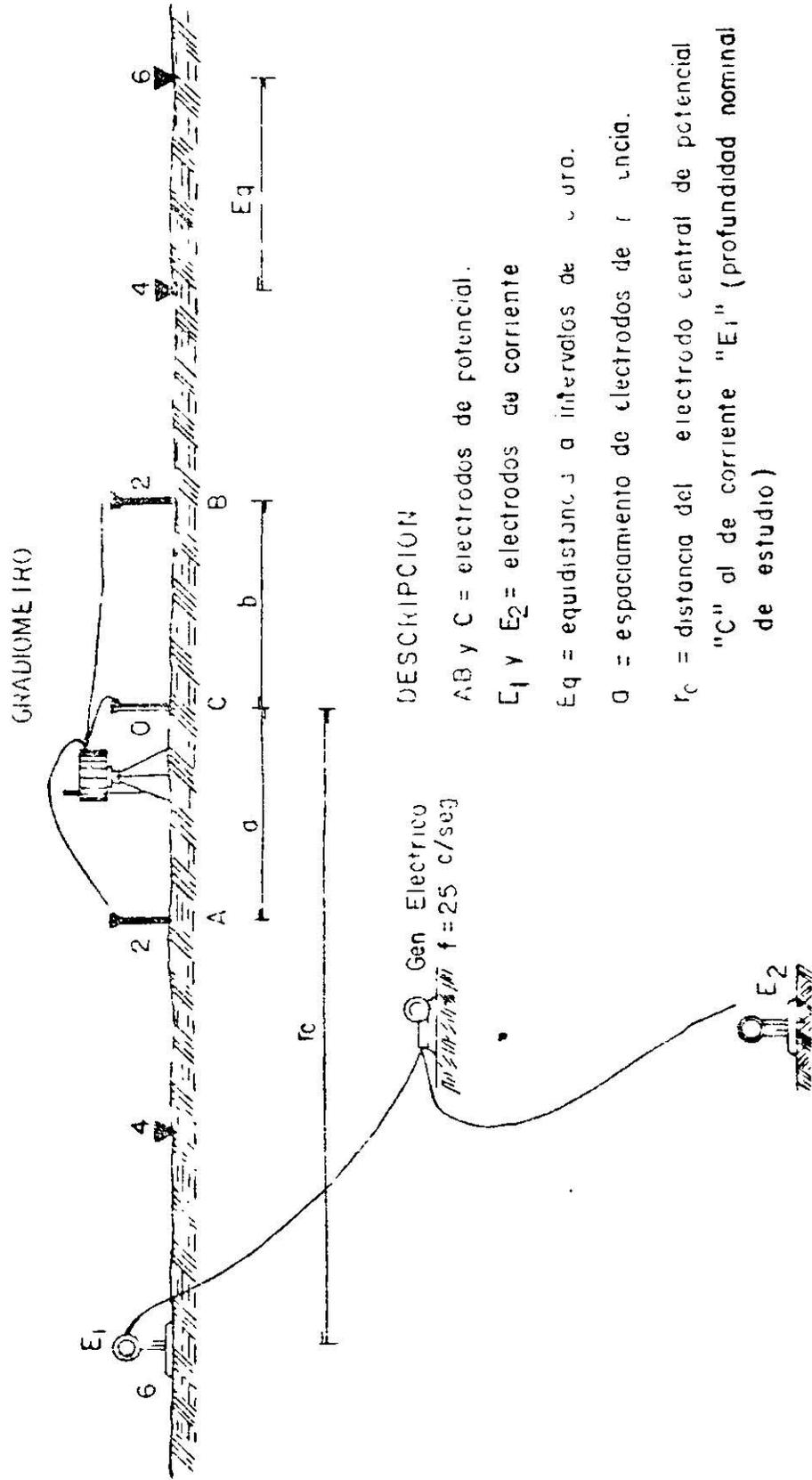
Segunda variante: De la misma manera que la primera, la distancia que separa los electrodos A-C y C-B es igual, pero en este caso, el electrodo "C" queda fijo y la equidistancia "a" va incrementándose al mismo tiempo que crece la distancia r_c hacia el electrodo de corriente E_1 , conservando una relación fija $M = \frac{r_c}{a}$. Generalmente, a M se le da un valor igual a 3 para facilitar el cálculo; sin embargo, los incrementos de "a" pueden ser cualesquiera, pero es conveniente que aumenten una misma cantidad.

Tercera variante: (Del Ing. A. de la O.) En esta variante la distancia entre A y C es diferente de la que existe entre C y B las que van incrementándose durante el proceso de trabajo al aumentarse la distancia a E_1 , permaneciendo fijo el electrodo central C.

ARREGLO DE ELECTRODOS EN SONDEOS VERTICALES

(SEGUN WENNER NEUMANN LEE)

METODO DE R. C. P. APLICADO EN EXPLORACIONES GEO-ELECTRICAS



DESCRIPCION

AB y C = electrodos de potencial.

E_1 y E_2 = electrodos de corriente

E_q = equidistancia a intervalos de a uros.

a = espaciamiento de electrodos de a uncia.

r_c = distancia del electrodo central de potencial

"C" al de corriente " E_1 " (profundidad nominal de estudio)

FIGURA 8. Arreglo de electrodos en sondeos verticales

Aplicación de la segunda variante: El método de relaciones de Caídas de Potencial aplicando la segunda variante, puede utilizarse tanto a secciones transversales como en sondeos geoelectricos; tiene como finalidad la localización de zonas mineralizadas, fallas, fracturas, diques, etc. En nuestro caso, la de las aguas subterráneas esencialmente. Con estudios de este tipo se puede investigar la existencia y/o continuidad de dichos accidentes.

Secciones geoelectricas. Las secciones geoelectricas aplicando el método de Relaciones de Caída de Potencial en la localización de las aguas subterráneas (cuando no se trate de acuíferos confinados, ya que estos casos bastará con sondeos), deberán correrse transversalmente al posible flujo de las aguas del subsuelo para determinar los lugares de máxima saturación, su profundidad deberá fijarse mediante sondeos en los sitios que las propias secciones indiquen.

La técnica de operación de este método, consiste en efectuar observaciones a lo largo de la línea previamente seleccionada, después que los intervalos de lectura, espaciamiento de electrodos de potencial y profundidad teórica por alcanzar (r_c), se hayan sido fijados. La sección se corre a profundidad constante, moviendo el conjunto de electrodos de instrumentos a lo largo de la línea, haciendo lecturas en los puntos de equidistancia establecida, la que permanece constante durante la exploración. Este proceso de observación se lleva a cabo de uno a otro extremo de la línea de estudio en doble sentido con objeto de eliminar posibles influencias de caracter superficial, debido a pequeños accidentes tanto topográficos como geológicos. De las lecturas obtenidas con el aparato, y hecha su corrección por cálculo, se obtiene la gráfica promedio de los valores ($B A F$) de Relaciones de Caídas de Potencial, en la que finalmente se observan las anomalías electricas que por sus fuertes variaciones llaman la atención, mostrando los lugares críticos para considerarlos como zonas o puntos de accidentes geológicos a los que deben ponerse especial cuidado.

Es de comprenderse que esta característica eléctrica de las rocas juega un papel muy importante en las curvas de potencial que registra el aparato, ya que las variaciones de resistividad están íntimamente ligadas con los cambios litológicos de las formaciones, las cuales son perceptibles, como puede notarse en las Gráficas 1 y 1A de las secciones geoelectricas corridas.

Resultados de interpretación. Terminando el trabajo de campo, se efectuaron los cálculos requeridos para lograr los valores de graficación para las curvas parciales $\frac{B}{A}$ F de Relaciones de Caída de Potencial y obtener la gráfica promedio de dichos valores. Con esos datos y dibujadas las gráficas se puede observar que en la gráfica promedio $r_c = 45$ m, se tiene valores mínimos entre las estaciones 18 y 20, presentándose como curva plana entre las estaciones 2 y 14 con un máximo sobresaliente en las estaciones 15 y 16; también se puede observar que es relativamente plana entre las estaciones 20 y 29.

Lo anterior resulta aún más claro en la curva promedio para la profundidad teórica de 90 m, ya que se presenta plana desde su origen hasta la estación 17, donde cae a valores mínimos en las estaciones 19 y 20 volviendo a presentar una parte relativamente plana entre las estaciones 22 y 26, y un máximo sin importancia en la estación 27.

Con el examen hecho queda claro que los valores mínimos se corresponden a las dos profundidades, siendo más expresivas la de 90 m. También puede verse por las dos gráficas promedio que la zona favorable (pues así, se considera la parte de valores mínimos) no es un punto sino una zona por lo tanto, se corrió un sondeo aproximadamente en su parte central correspondiendo en este caso a la estación 19. El sondeo confirma lo encontrado en las dos secciones, presentándose favorable a la profundidad de 90 m.

Graficación.

Secciones. Los valores $\frac{B}{A} F$ de RCP logrados con las secciones se grafican en ejes coordenados (Primer Cuadrante) correspondiendo al eje de las abcisas las estaciones siempre equidistantes; y en el de las ordenadas los valores $\frac{B}{A} F$ de RCP.

Sondeos. Logrados los valores $\frac{B}{A} F$ de RCP y los incrementos para " r_c " ambos se grafican en ejes coordenados utilizando el tercero y cuarto cuadrante (trigonométricos), considerando los valores $\frac{B}{A} F$ de RCP en el eje de las abcisas y en el de las ordenadas los incrementos para " r_c ".

Escalas. La escala para distancias es común escogerla 1:2000 y para los valores de RCP, $Imm = 0.01 \frac{B}{A} F$.

CUADRO 1. Registros de observaciones en secciones transversales geoelectricas aplicando la segunda variante

		E ₁ al S 13° E				E ₁ al N 13° W			
A	C B	RELAC. OBS. ($\frac{B}{A}$)	RELAC. OBS. ($\frac{B}{A}$ F)	RELAC. OBS. ($\frac{B}{A}$)	RELAC. OBS. ($\frac{B}{A}$ F)	RELAC. OBS. ($\frac{B}{A}$)	RELAC. OBS. ($\frac{B}{A}$ F)	RELAC. OBS. ($\frac{B}{A}$ F)	PROM. RELAC. ($\frac{B}{A}$ F)
0	3	0.770	1.540	0.590	1.130	1.130	1.360	1.360	
1	4	0.810	1.620	0.570	1.140	1.140	1.380	1.380	
2	5	0.760	1.520	0.490	0.980	0.980	1.250	1.250	
3	6	0.680	1.360	0.570	1.140	1.140	1.250	1.250	
4	7	0.650	1.300	0.570	1.140	1.140	1.220	1.220	
5	8	0.775	1.550	0.425	0.850	0.850	1.200	1.200	
6	9	0.710	1.420	0.410	0.820	0.820	1.120	1.120	
7	10	0.685	1.370	0.475	0.950	0.950	1.160	1.160	
8	11	0.598	1.396	0.442	0.884	0.884	1.140	1.140	
9	12	0.681	1.362	0.479	0.958	0.958	1.160	1.160	
10	13	0.730	1.460	0.400	0.800	0.800	1.130	1.130	
11	14	0.720	1.440	0.430	0.860	0.860	1.150	1.150	
12	15	0.830	1.660	0.360	0.720	0.720	1.190	1.190	
13	16	0.842	1.684	0.368	0.736	0.736	1.210	1.210	
14	17	0.780	1.560	0.450	0.900	0.900	1.230	1.230	
15	18	0.715	1.430	0.835	1.670	1.670	1.550	1.550	
16	19	0.700	1.400	0.820	1.640	1.640	1.520	1.520	
17	20	0.698	1.396	0.422	0.844	0.844	1.120	1.120	
18	21	0.663	1.326	0.387	0.774	0.774	1.050	1.050	
19	22	0.640	1.280	0.220	0.440	0.440	0.860*	0.860*	
20	23	0.655	1.310	0.585	1.170	1.170	1.240	1.240	
21	24	0.710	1.420	0.510	1.020	1.020	1.220	1.220	
22	25	0.600	1.380	0.570	1.040	1.040	1.260	1.260	
23	26	0.693	1.386	0.617	1.234	1.234	1.310	1.310	
24	27	0.760	1.520	0.610	1.220	1.220	1.370	1.370	
25	28	0.830	1.660	0.525	1.050	1.050	1.355	1.355	
26	29	0.855	1.710	0.435	0.870	0.870	1.290	1.290	
27	30	0.760	1.520	0.535	1.070	1.070	1.295	1.295	
28	31	0.750	1.500	0.510	1.020	1.020	1.260	1.260	
29	32	0.714	1.428	0.501	1.002	1.002	1.215	1.215	

Equidistancia entre estaciones = 15 m Profundidad teórica = 45 m E₂ N 77° E.

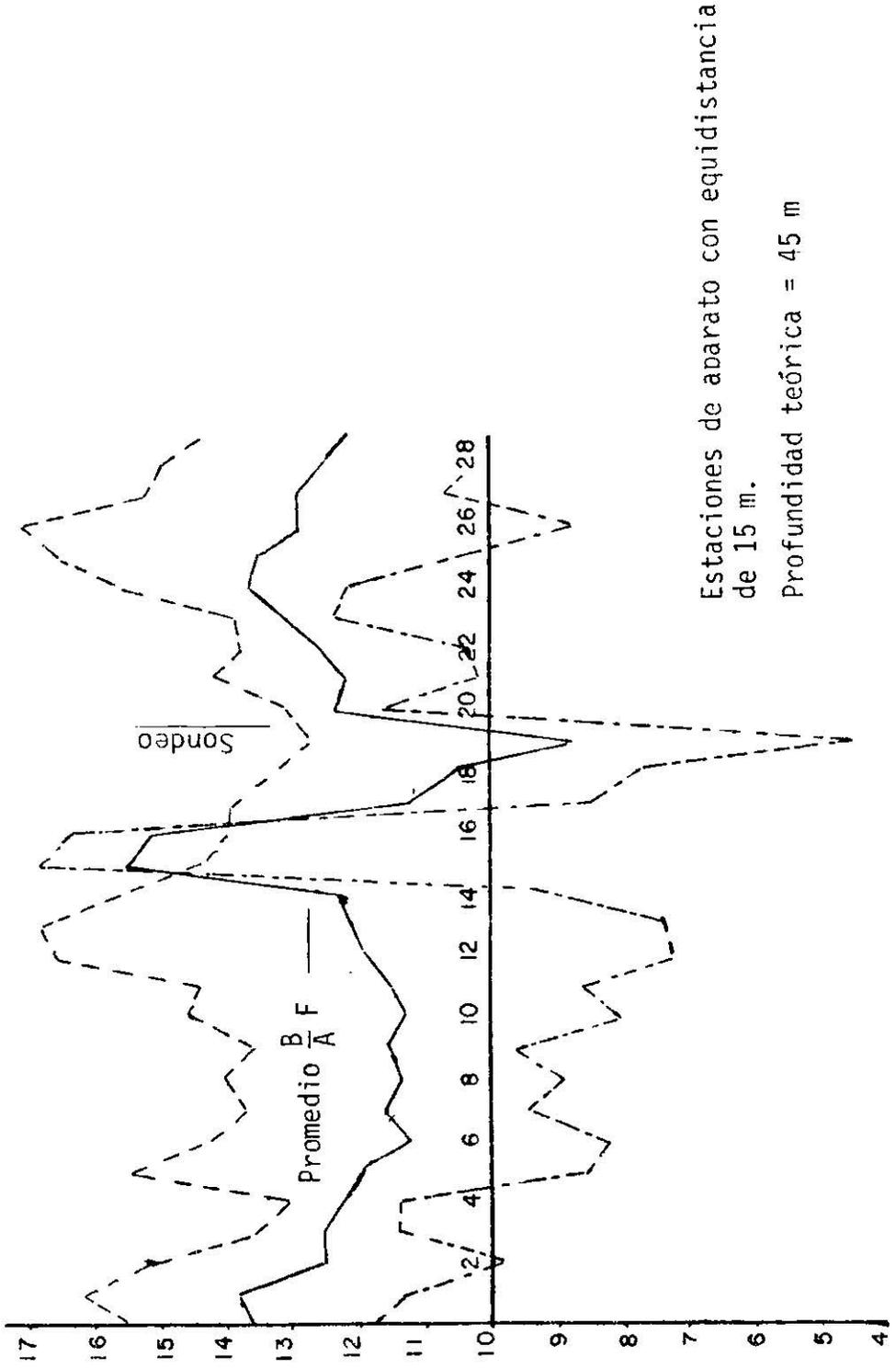


FIGURA 10. Gráfica de valores obtenidos en un sondeo

IV. CONCLUSIONES

Se concluye que dentro de los métodos usados por su sencillez de realizar, el de prospección eléctrica, es uno de los más utilizados, además de su constante mención por lo bajo de sus costos de operación y del bajo costo del equipo, dentro de los métodos científicos es el más utilizado.

Dentro de los métodos eléctricos, el de resistividad del terreno y el de Caída de potencial son los más usados.

13. Laqueille, M. Perforaciones y sondeos. Ed. Omega. Barcelona, 1975. pp. 293-305.
14. Miller, C.E. et al. Fundamentos de la ciencia del suelo. Quinta Ed. Cecsa, México, 1981.
15. Murcia, V.A. Aguas subterráneas prospección y alumbramiento para riegos. Tercera Edición. Ministerio de Agricultura. Madrid, 1967. pp. 257-262.
16. Parasnis, D.S. Geofísica Minera. Ed. Paraninfo. Madrid, 1971. pp. 165-205.
17. Pimienta, J. La Captación de aguas subterráneas. Ed. ETA Barcelona, 1973. pp. 81-84.
18. SEP. Manuales para educación agropecuaria "Riego-Drenaje" Segunda Edición. Trillas, 1983. pp. 16, 18'
19. Ulric, P.C. Manual de los pozos pequeños. Ed. Limusa. México, 1974. pp. 33-38.
20. Vázquez. Rev. Apuntes de la materia relación suelo-agua planta. FAUANL. México, 1983. pp. 1,4.

V. BIBLIOGRAFIA

1. Amurrio R.F. Comparación entre el método analógico eléctrico y el matemático analítico en el estudio del movimiento del agua subterránea. Tesis de Maestría. Chapingo, México, 1977 pp. 65-66
2. Barking, D. Desarrollo económico regional "Enfoque por cuencas hidrológicas de México" Cuarta edición. Siglo XXI México, 1979. pp. 238-247.
3. Bassols, B.A. Geografía económica de México. 3a. Edición México, 1975. pp. 108-103
4. Benavides, G. Geología Física. Ed. Limusa México, 1965. pp. 213-219.
5. Benites, A. Captación de Agua subterránea. Segunda Ed. Eyser Madrid, 1972. pp. 7, 8, 11.
6. Behr R. Hidráulica Agrícola. Edit. Salvat. Editores Barcelona, 1954. pp. 17-18.
7. Castany, G. Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Barcelona, 1975.
8. Camberfort, H. Perforaciones y sondeos. Segunda Ed. Omega Barcelona, 1968.
9. Darder, P. y Darder, S.J. Investigación de aguas subterráneas. Ed. Salvat. Barcelona, 1961. pp. 316-320.
10. Hernández, X.E. Arid Land in transition "mexican experience" Publication 90 ed. AAAS. Washington, D.C. 1970. pp. 317-324.
11. Israelsen, O.W. y Hansen, V.E. Principios de aplicaciones de agua. Segunda Ed Teverte, S.A. México, 1965.
12. Jiménez, G.R.A. Perforación de pozos profundos. México, 1975. pp. 28-53.

