

UNA APLICACION DE LA "NUEVA MODALIDAD DEL METODO DE LAS RELACIONES DE CAIDAS DE POTENCIAL DE LA GEOFISICA ELECTRICA"

POR EL ING. ALFONSO DE LA O. CARREÑO

PROFESOR DE "METODOS GEOFISICOS DE EXPLORACION", EN LA E. N. DE INGENIEROS DE LA U. N. A., JEFE DE LA OFICINA DE GEOLOGIA DE LA C. N. DE IRRIGACION.

En la asamblea regional de esta Sociedad, que tuvo verificativo en la Ciudad de Cuernavaca, Mor., en noviembre del año pasado, dí a conocer una nueva modalidad del Método de las Relaciones de Caídas de Potencial, ideado por el suscrito (1), y que desde hace tiempo he aplicado con todo éxito. En aquella ocasión también describí las dos hasta entonces conocidas y terminé mi estudio haciendo una aplicación de ellas y de la nueva, al problema de las dos capas horizontales. Ahora voy a dar a conocer una aplicación muy interesante de ésta al problema de las dos capas cuando no son paralelas entre sí. Geológicamente este caso puede presentarse por ejemplo cuando un flanco o ladera rocosa está cubierto por un material sedimentario, como aluviones, cuya superficie libre sea horizontal o de pendiente uniforme.

Recordaremos aquí que si a partir de un punto electrodo (E), en la superficie

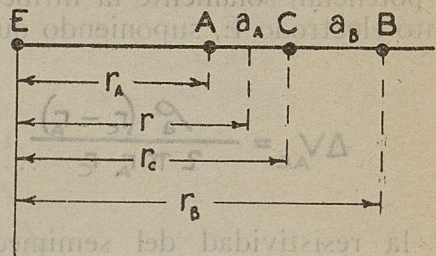


Fig. 1

del terreno se miden las relaciones de caídas de potencial entre tres electrodos A C B, de modo que en posiciones sucesivas se guarde una relación fija (R) entre la distancia media (r) entre A y C y la separación a A de ellas, las observaciones quedarán ligadas y los valores de las diferentes distancias que intervienen se calcularán para cualquier posición (m) por las siguientes ecuaciones (1), a partir de una cierta posición inicial (0):

$$a_m = a_A = \left(\frac{R+0.5}{R-0.5} \right)^m \tag{1}$$

$$a_{m+1} = a_B = a_0 \left(\frac{R+0.5}{R-0.5} \right)^{m+1} \tag{2}$$

$$r_{A_m} = a_0 \left(\frac{R+0.5}{R-0.5} \right)^m (R-0.5) \tag{3}$$

$$r_m = a_0 R \left(\frac{R+0.5}{R-0.5} \right)^m \quad (4)$$

$$r_{cm} = a_0 \left(\frac{R+0.5}{R-0.5} \right)^m (R+0.5) \quad (5)$$

$$r_{bm} = a_0 \left(\frac{R+0.5}{R-0.5} \right)^{m+1} (R+0.5) \quad (6)$$

Por otra parte, considerando en el valor del potencial, solamente la influencia del punto electrodo E, suponiendo que el

otro punto electrodo está muy lejos, tenemos las siguientes expresiones generales: Caída de potencial de A a C:

$$\Delta V_{AC} = \frac{\rho_a (r_c - r_a)}{2 \pi r_a r_c} \quad (7)$$

ρ_a es la resistividad del semimedio infinito abajo de la superficie del terreno.

Caída de potencial entre C y B:

$$\Delta V_{CB} = \frac{\rho_a I (r_b - r_c)}{2 \pi r_c r_b} \quad (8)$$

Relación de caídas de potencial para el punto central C:

$$\frac{\Delta V_{AC}}{\Delta V_{CB}} = \frac{r_b (r_c - r_a)}{r_a (r_b - r_c)} \quad (9)$$

Demostre en el estudio antes aludido que para el caso de la variante ideada por el suscrito, la relación normal es constan-

te, como se ve partiendo de la ecuación 9 y teniendo presentes las relaciones 1, 2, 3 y 6, y tiene por valor:

$$F = \frac{r_b a_A}{r_a a_B} = \frac{R+0.5}{R-0.5} \quad (10)$$

La ecuación N° 7, se puede transformar en la siguiente si en ella se sustitu-

yen los valores de r_A y r_B en función de la distancia media.

$$\Delta V_{AC} = \frac{\rho_a I (r_c - r_a)}{2 \pi r_a r_c} = \frac{a \rho_a I}{2 \pi a \left[\left(\frac{r}{a} \right)^2 - \frac{1}{4} \right]} \quad (11)$$

De donde se deducen las dos expresiones para la resistividad:

$$\rho_B = \frac{2\pi r_A r_C}{r_C - r_A} \left(\frac{\Delta V_{AC}}{I} \right) = 2\pi a \left[\left(\frac{r^2}{a} \right) - \frac{1}{4} \right] \frac{\Delta V_{AC}}{I} \quad (12)$$

Que en el caso de la nueva modalidad puede expresarse simplemente por:

$$\rho_B = 2\pi a_A \left(R^2 - \frac{1}{4} \right) \frac{\Delta V_{AC}}{I} \quad (13)$$

Veamos ahora la forma teórica que toman las ecuaciones 7, 8, 9 y 13 en la aplicación que vamos a estudiar:

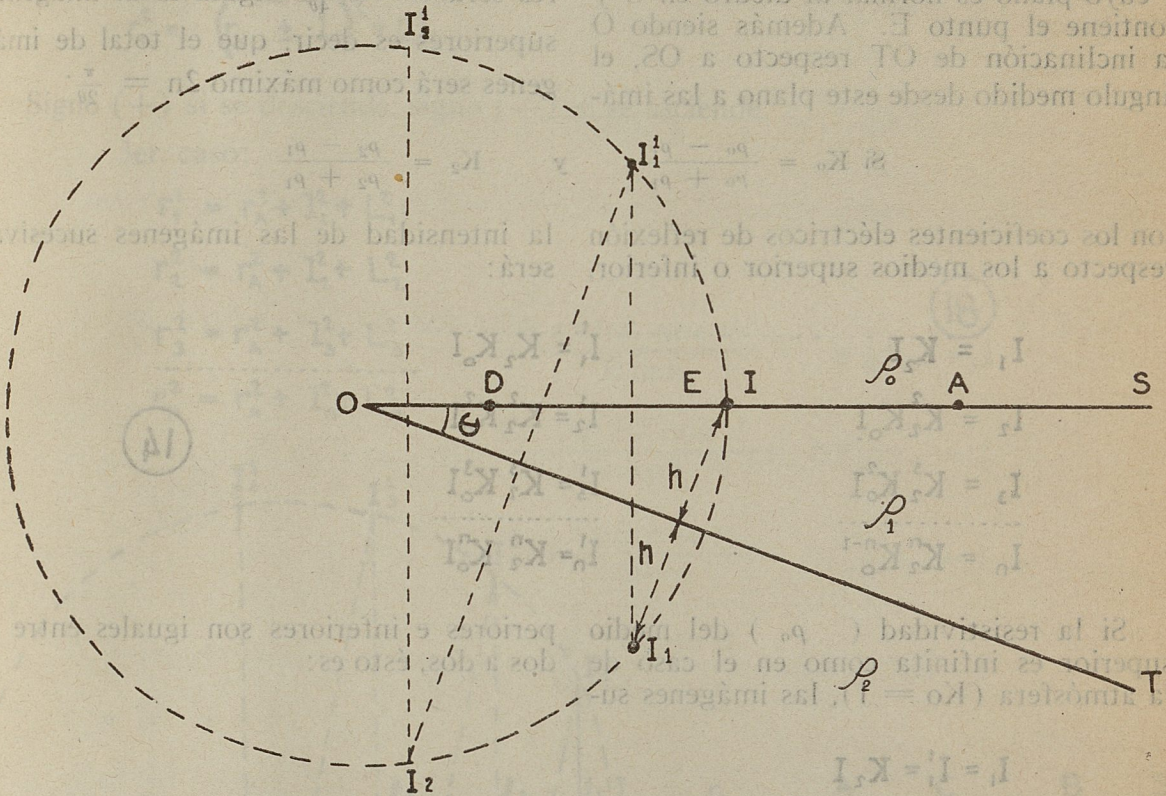


FIG. 2

Tenemos tres medios diferentes caracterizados por sus resistividades ρ_0 , ρ_1 , ρ_2 y las superficies de separación OS y OT que se interceptan en O, bajo un ángulo θ . Supondremos el punto electrodo E, en la superficie de separación OS, del cual emerge una corriente eléctrica estable o cuasi-estable de intensidad I. La primera parte del problema consiste en calcular el valor del potencial en cualquier punto sobre la superficie OS;

dicho punto puede estar en cualquiera dirección teniendo como centro E. De todas estas posiciones hay tres más interesantes que todas las demás, y son las siguientes:—Que el punto (A) se encuentre a la derecha de E (Fig. 2) en una línea normal a la arista del diedro en O y que pase por E, es decir, en el sentido del descenso de OT.

2o. caso.—Que el punto (D) se encuentre en las mismas condiciones que anteriormente; pero a la izquierda de E, es decir, en el sentido del ascenso de OT.

3er. caso.—Que el punto se encuentre en una línea paralela a la arista del diedro y que pase por E. En la figura se proyectaría en ese mismo punto.

Es fácil ver como lo demostró Aldredge (2), (3): que las imágenes de I, originadas por los planos OS y OT, quedan en puntos de una circunferencia cuyo centro esté en O, cuyo radio es la distancia OE y cuyo plano es normal al diedro en O y contiene el punto E. Además siendo O la inclinación de OT respecto a OS, el ángulo medido desde este plano a las imá-

genes $I_1 I'_1$, será 2θ , a las siguientes $I_2 I'_2$, 4θ y así sucesivamente, de modo que el límite de estos ángulos sucesivos será: $\frac{\pi}{2}$ dado que suponemos que la superficie OT termina en O. Esto quiere decir que el número de imágenes no es infinito como en el caso de dos capas horizontales, sino limitado como lo es el valor del ángulo múltiple $2n \theta$.

$$2n\theta \leq \frac{\pi}{2}$$

El valor máximo de imágenes inferiores será $n = \frac{\pi}{4\theta}$ igual al de imágenes superiores es decir, que el total de imágenes será como máximo $2n = \frac{\pi}{2\theta}$.

$$\text{Si } K_0 = \frac{\rho_0 - \rho_1}{\rho_0 + \rho_1} \quad \text{y} \quad K_2 = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

son los coeficientes eléctricos de reflexión respecto a los medios superior o inferior,

la intensidad de las imágenes sucesivas será:

$$\begin{array}{l} I_1 = K_2 I \\ I_2 = K_2^2 K_0 I \\ I_3 = K_2^3 K_0^2 I \\ \dots \\ I_n = K_2^n K_0^{n-1} I \end{array} \quad \begin{array}{l} I'_1 = K_2 K_0 I \\ I'_2 = K_2^2 K_0^2 I \\ I'_3 = K_2^3 K_0^3 I \\ \dots \\ I'_n = K_2^n K_0^n I \end{array}$$

(14)

Si la resistividad (ρ_0) del medio superior es infinita como en el caso de la atmósfera ($K_0 = 1$), las imágenes su-

periores e inferiores son iguales entre sí dos a dos, ésto es:

$$\begin{array}{l} I_1 = I'_1 = K_2 I \\ I_2 = I'_2 = K_2^2 I \\ \dots \\ I_n = I'_n = K_2^n I \end{array}$$

(15)

Llamando entonces las distancias sucesivas del punto A a cada par de imágenes r_1, r_2, \dots, r_n , siendo r_0 la que co-

rresponde al punto electrodo E, el potencial en A tendrá por expresión general:

$$V_A = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \left[\frac{1}{r_A} + 2 \left(\frac{K_2}{r_1} + \frac{K_2^2}{r_2} + \frac{K_2^3}{r_3} + \dots + \frac{K_2^n}{r_n} \right) \right]$$

$$V_A = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_A} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{r_n} \right) \dots \quad (16)$$

Las distancias sucesivas de A a las imágenes podemos expresarlas como sigue (Fig. 3), para los tres casos mencionados:

1º y 2º casos:

$$\begin{aligned} r_1^2 &= (r_A \pm l_1)^2 + L_1^2 \\ r_2^2 &= (r_A \pm l_2)^2 + L_2^2 \\ r_3^2 &= (r_A \pm l_3)^2 + L_3^2 \\ \dots \\ r_n^2 &= (r_A \pm l_n)^2 + L_n^2 \end{aligned} \quad (17)$$

Signo (+) si se desciende, signo (−) si se asciende.

3er. caso:

$$\begin{aligned} r_1^2 &= r_A^2 + l_1^2 + L_1^2 \\ r_2^2 &= r_A^2 + l_2^2 + L_2^2 \\ r_3^2 &= r_A^2 + l_3^2 + L_3^2 \\ \dots \\ r_n^2 &= r_A^2 + l_n^2 + L_n^2 \end{aligned} \quad (18)$$

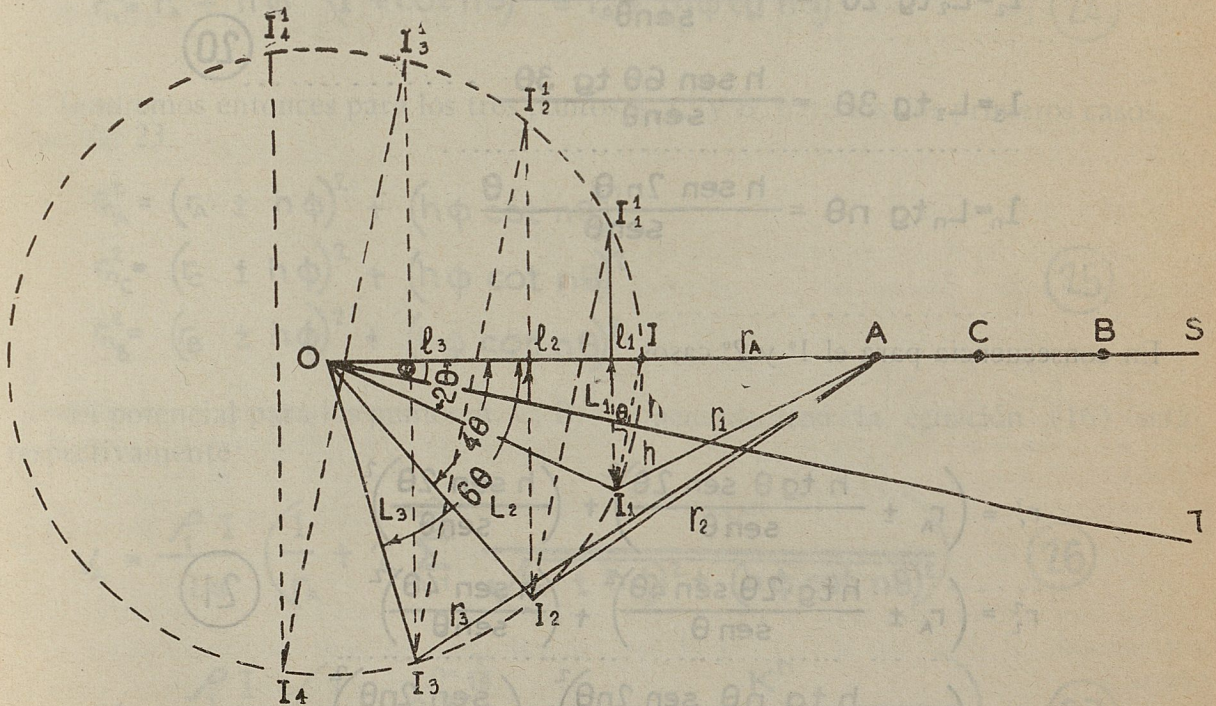


Fig: 3 h, profundidad a la segunda capa en el punto I.

Las distancias $l_1, l_2, \dots, L_1, L_2$, pueden expresarse en función del radio de la circunferencia que puede valuarse en función de h y θ .

$$h = R \operatorname{sen} \theta, R = \frac{h}{\operatorname{sen} \theta}$$

$$L_1 = R \operatorname{sen} 2\theta = \frac{h \operatorname{sen} 2\theta}{\operatorname{sen} \theta}$$

$$L_2 = R \operatorname{sen} 4\theta = \frac{h \operatorname{sen} 4\theta}{\operatorname{sen} \theta}$$

$$L_3 = R \operatorname{sen} 6\theta = \frac{h \operatorname{sen} 6\theta}{\operatorname{sen} \theta}$$

$$L_n = R \operatorname{sen} 2n\theta = \frac{h \operatorname{sen} 2n\theta}{\operatorname{sen} \theta}$$

$$l_1 = L_1 \operatorname{tg} \theta = \frac{h \operatorname{sen} 2\theta \operatorname{tg} \theta}{\operatorname{sen} \theta}$$

$$l_2 = L_2 \operatorname{tg} 2\theta = \frac{h \operatorname{sen} 4\theta \operatorname{tg} 2\theta}{\operatorname{sen} \theta}$$

$$l_3 = L_3 \operatorname{tg} 3\theta = \frac{h \operatorname{sen} 6\theta \operatorname{tg} 3\theta}{\operatorname{sen} \theta}$$

$$l_n = L_n \operatorname{tg} n\theta = \frac{h \operatorname{sen} 2n\theta \operatorname{tg} n\theta}{\operatorname{sen} \theta}$$

En consecuencia para el 1º y 2º casos:

$$r_1^2 = \left(r_A \pm \frac{h \operatorname{tg} \theta \operatorname{sen} 2\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2 + \left(\frac{h \operatorname{sen} 2\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2$$

$$r_2^2 = \left(r_A \pm \frac{h \operatorname{tg} 2\theta \operatorname{sen} 4\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2 + \left(\frac{h \operatorname{sen} 4\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2$$

$$r_n^2 = \left(r_A \pm \frac{h \operatorname{tg} n\theta \operatorname{sen} 2n\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2 + \left(\frac{\operatorname{sen} 2n\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2$$

y para el 3er. caso:

$$r_1^2 = r_A^2 + \left(\frac{h \operatorname{tg} \theta \operatorname{sen} 2\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2 + \left(\frac{h \operatorname{sen} 2\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2$$

$$r_2^2 = r_A^2 + \left(\frac{h \operatorname{tg} 2\theta \operatorname{sen} 4\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2 + \left(\frac{h \operatorname{sen} 4\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2 \quad (22)$$

$$r_n^2 = r_A^2 + \left(\frac{h \operatorname{tg} n\theta \operatorname{sen} 2n\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2 + \left(\frac{h \operatorname{sen} 2n\theta}{\operatorname{sen} \theta} \right)^2$$

Si llamamos convencionalmente

$$\phi = \frac{\operatorname{tg} n\theta \operatorname{sen} 2n\theta}{\operatorname{sen} \theta}, \quad \frac{\operatorname{sen} 2n\theta}{\operatorname{sen} \theta} = \frac{\phi}{\operatorname{tg} n\theta} = \phi \cot n\theta$$

Entonces las ecuaciones generales para los tres casos podemos escribirlas como sigue:

$$r_n^2 = (r_A \pm h\phi)^2 + (h\phi \cot n\theta)^2 \quad (23)$$

$$r_n^2 = r_A^2 + h^2\phi^2 (1 + \cot^2 n\theta) = r_A^2 + (h\phi \operatorname{tg} n\theta)^2 \quad (24)$$

Tendremos entonces para los tres puntos A, C, y B, para los dos primeros casos, ecuación 23.

$$r_{nA}^2 = (r_A \pm h\phi)^2 + (h\phi \cot n\theta)^2$$

$$r_{nC}^2 = (r_C \pm h\phi)^2 + (h\phi \cot n\theta)^2 \quad (25)$$

$$r_{nB}^2 = (r_B \pm h\phi)^2 + (h\phi \cot n\theta)^2$$

El potencial para los puntos A, C, B, de acuerdo con la ecuación (16), será respectivamente:

$$V_A = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_A} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{(r_A \pm h\phi)^2 + (h\phi \cot n\theta)^2}} \right) \dots \quad (26)$$

$$V_C = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_C} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{(r_C \pm h\phi)^2 + (h\phi \cot n\theta)^2}} \right) \quad (27)$$

$$V_B = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_B} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{(r_B \pm h\phi)^2 + (h\phi \cot n\theta)^2}} \right) \quad (28)$$

Las diferencias de potencial de A a C y de C a B son:

$$A = \Delta V_{AC} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{r_C - r_A}{r_A r_C} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{(r_A \pm h\phi)^2 + (h\phi \cot n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{(r_C \pm h\phi)^2 + (h\phi \cot n\theta)^2}} \right] \quad (29)$$

$$B = V_{CB} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{r_B - r_C}{r_B r_C} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{(r_C \pm h\phi)^2 + (h\phi \cot n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{(r_B \pm h\phi)^2 + (h\phi \cot n\theta)^2}} \right] \quad (30)$$

Combinando la ecuación (12), por ejemplo con la N° 29, y poniendo las distancias r_A y r_C en función de la distancia media (r) tendremos la expresión teórica para la resistividad aparente, supuesto que:

$$r_A = r - \frac{a}{2} \quad r_C = r + \frac{a}{2} \quad \frac{r_C - r_A}{r_A r_C} = \frac{1}{a \left[\left(\frac{r}{a} \right)^2 - \frac{1}{4} \right]}$$

$$\rho_s = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \left[\left(\frac{r}{a} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r}{a} - \frac{1}{2} \pm \frac{h}{a} \phi \right)^2 + \left(\frac{h}{a} \phi \cot n\theta \right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r}{a} + \frac{1}{2} \pm \frac{h}{a} \phi \right)^2 + \left(\frac{h}{a} \phi \cot n\theta \right)^2}} \right\} \quad (31)$$

Como la relación $R = \frac{r}{a}$ puede fijarse, podremos expresar en función de ella, la relación $\frac{h}{a}$, $\frac{h}{a} = R \frac{h}{r}$, de modo que la ecuación 31 puede escribirse como sigue:

$$\rho_s = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \left[\left(\frac{r}{a} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{R \left(1 \pm \frac{h}{r} \phi \right) - \frac{1}{2} + \left(\frac{Rh}{r} \phi \cot n\theta \right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{R \left(1 \pm \frac{h}{r} \phi \right) + \frac{1}{2} + \left(\frac{Rh}{r} \phi \cot n\theta \right)^2}} \right\} \quad (32)$$

No hay que olvidar que el signo (+) corresponde al descenso y el (-) al ascenso.

En la ecuación (32) una vez fijo el valor de R, como el coeficiente de refle-

xión varía de (+1) a (-1), podrán darse valores a la penetración relativa $\frac{h}{r}$ para calcular familias de gráficas para la interpretación, haciendo variar θ , de 10° en 10° por ejemplo:

Seguimos el mismo procedimiento en- cial de A a C y de C a B para el tercer- caso son:

$$A = \Delta V_{AC} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{r_c - r_a}{r_a r_c} + 2 \sum_{n=1}^{n=\frac{\pi}{2\theta}} \left(\frac{K^n}{\sqrt{r_c^2 + (h\phi \operatorname{tg} n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{r_a^2 + (h\phi \operatorname{tg} n\theta)^2}} \right) \right] \quad (33)$$

$$B = \Delta V_{CB} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{r_b - r_c}{r_b r_c} + 2 \sum_{n=1}^{n=\frac{\pi}{2\theta}} \left(\frac{K^n}{\sqrt{r_c^2 + (h\phi \operatorname{tg} n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{r_b^2 + (h\phi \operatorname{tg} n\theta)^2}} \right) \right] \quad (34)$$

Y combinando la 12 con la 33, tendremos la ecuación para la resistividad aparente:

$$\rho_a = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \left[\left(\frac{r}{a} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \sum_{n=1}^{n=\frac{\pi}{2\theta}} \left[\frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r}{a} - \frac{1}{2} \right)^2 + \left(\frac{h}{a} \phi \operatorname{tg} n\theta \right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r}{a} + \frac{1}{2} \right)^2 + \left(\frac{h}{a} \phi \operatorname{tg} n\theta \right)^2}} \right] \right\} \quad (35)$$

O bien:

$$\rho_a = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \left(R^2 - \frac{1}{4} \right) \sum_{n=1}^{n=\frac{\pi}{2\theta}} \left[\frac{K^n}{\sqrt{\left(R - \frac{1}{2} \right)^2 + \left(\frac{Rh}{r} \phi \operatorname{tg} n\theta \right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{\left(R + \frac{1}{2} \right)^2 + \left(\frac{Rh}{a} \phi \operatorname{tg} n\theta \right)^2}} \right] \right\} \quad (36)$$

Determinadas las ecuaciones de la resistividad aparente para los tres casos considerados, pasaremos a calcular los valores de las relaciones de caídas de potencial también para los tres casos analizados.

Dividiendo 29 entre 30 (1º y 2º casos):

$$\frac{A}{B} = \frac{\frac{(r_c - r_a) h}{r_a r_c} + 2 \sum_{n=1}^{n=\frac{\pi}{2\theta}} \left[\frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r_a}{h} \pm \phi \right)^2 + (\phi \cot n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r_c}{h} \pm \phi \right)^2 + (\phi \cot n\theta)^2}} \right]}{\frac{(r_b - r_c) h}{r_b r_c} + 2 \sum_{n=1}^{n=\frac{\pi}{2\theta}} \left[\frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r_c}{h} + \phi \right)^2 + (\phi \cot n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r_b}{h} \pm \phi \right)^2 + (\phi \cot n\theta)^2}} \right]} \quad (37)$$

Del mismo modo dividiendo 33 entre 34 se obtiene la ecuación para el tercer caso.

$$\frac{A}{B} = \frac{\frac{(r_c - r_a) h}{r_a r_c} + 2 \sum_{n=1}^{\frac{\pi}{2\theta}} \left[\frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r_a}{h}\right)^2 + (\phi \operatorname{tg} n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r_c}{h}\right)^2 + (\phi \operatorname{tg} n\theta)^2}} \right]}{\frac{(r_b - r_c) h}{r_b r_c} + 2 \sum_{n=1}^{\frac{\pi}{2\theta}} \left[\frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r_c}{h}\right)^2 + (\phi \operatorname{tg} n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{r_b}{h}\right)^2 + (\phi \operatorname{tg} n\theta)^2}} \right]} \quad (38)$$

Las ecuaciones 36 y 37 son generales y de ellas se partirá al aplicar cualesquiera de las tres modalidades del método. Por ahora sólo nos interesa la del autor, para lo cual eliminaremos las distancias r_a y

r_b expresándolas en función de r_c , para que las relaciones queden referidas a la distancia central, teniendo presente que de acuerdo con las ecuaciones 3, 5 y 6.

$$r_a = r_c \frac{R - 0.5}{R + 0.5} = \frac{r_c}{F}$$

$$r_b = r_c \frac{R + 0.5}{R - 0.5} = F r_c$$

siendo F la relación normal, ecuación número 10. Las ecuaciones 37 y 38 queda-

rán definitivamente como sigue, llamando x a la relación $\frac{r_c}{h}$

$$\frac{A}{B} = \frac{\frac{F-1}{x} + 2 \sum_{n=1}^{\frac{\pi}{2\theta}} \left[\frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{x}{F} \pm \phi\right)^2 + (\phi \operatorname{cot} n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{(x \pm \phi)^2 + (\phi \operatorname{cot} n\theta)^2}} \right]}{\frac{F-1}{x F} + 2 \sum_{n=1}^{\frac{\pi}{2\theta}} \left[\frac{K^n}{\sqrt{(x \pm \phi)^2 + (\phi \operatorname{cot} n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{(F x \pm \phi)^2 + (\phi \operatorname{cot} n\theta)^2}} \right]} \quad (39)$$

$$\frac{A}{B} = \frac{\frac{F-1}{x} + 2 \sum_{n=1}^{\frac{\pi}{2\theta}} \left[\frac{K^n}{\sqrt{\left(\frac{x}{F}\right)^2 + (\phi \operatorname{tg} n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{(x^2 + (\phi \operatorname{tg} n\theta)^2)}} \right]}{\frac{F-1}{x F} + 2 \sum_{n=1}^{\frac{\pi}{2\theta}} \left[\frac{K^n}{\sqrt{x^2 + (\phi \operatorname{tg} n\theta)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{(F x)^2 + (\phi \operatorname{tg} n\theta)^2}} \right]} \quad (40)$$

Una vez fija la relación $R = \frac{r}{a}$, quedará fijo el valor de F, entonces se construirán varias familias de curvas de interpretación que corresponderán a ángulos θ que se escojan, por ejemplo, haciéndolos variar de 10 en 10 grados, al mismo tiempo que se hace también variar la penetración relativa $x = \frac{r_c}{h}$, acordándonos de que los coeficientes de reflexión K varían de +1 a -1.

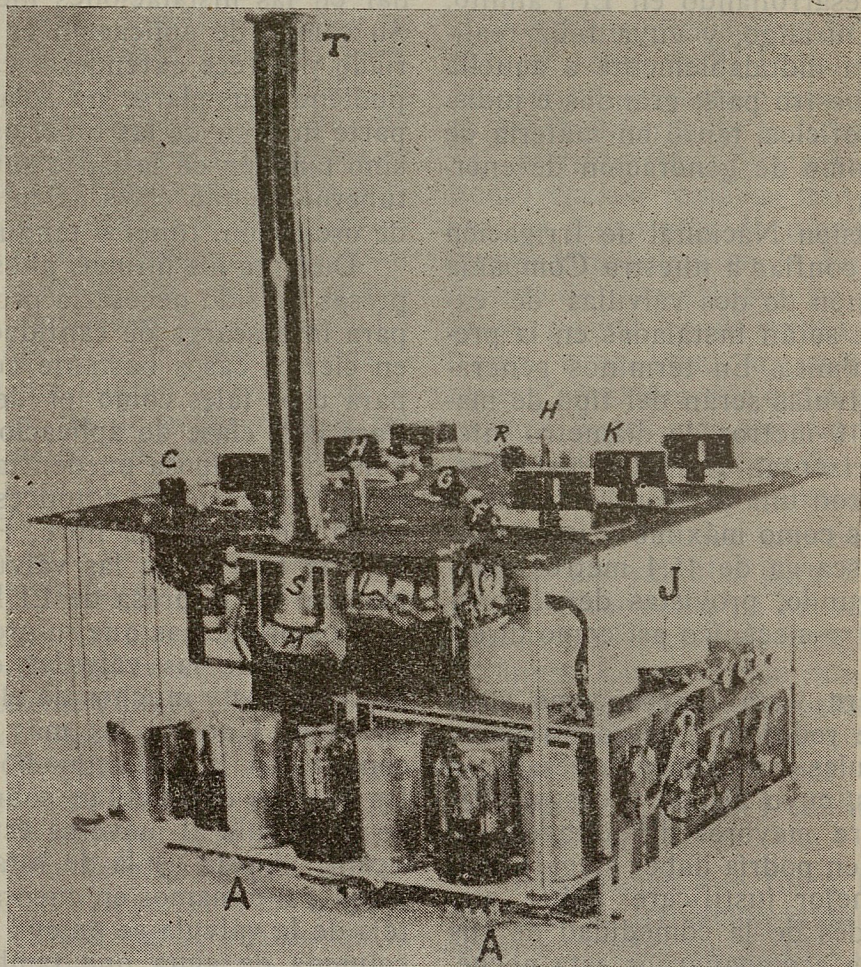
Estudios que se citan en el texto.

1.—Alfonso de la O. Carreño.—Nueva Modalidad en la Teoría y Aplicación

del Método de las Relaciones de Caídas de Potencial. Primera Asamblea Regional de la Sociedad Matemática Mexicana. Cuernavaca, Mor. Nov. de 1943.

2.—R. F. Aldredge.—The Effect of Dipping Strata on Earth-Resistivity Determinations. Quarterly of the Colorado School of Mines. Vol XXXII No. 1 (1932-1936).

3.—Maynard H. Jameson.—Effect of Dipping Strata on Determinations of Potential.—Drop. Ratio. Technical Publication N° 1294. A. I. M. E. (1941).



Vista interior del Gradiómetro de Resistencia Tipo R-3 (unidad fundamental), construido por la "Heiland Research Co." de Denver, Colo., E. U. A., que se utiliza en observaciones de relaciones de caídas de potencial.

- AA.—Circuito de amplificación.
- C.— Switch reversible.
- F.— Switch general.
- G.— Control de la sensibilidad.
- H,H.—Asas.
- K.— Ajuste del galvanómetro.

- L.— Receptáculo de la lámpara del galvanómetro.
- M.— Espejo a 45°.
- R.— Switch reversible de las resistencias.
- S.— Soporte del vidrio despulido.
- T.— Tubo de observación.
- J.— Banco de resistencias variables.