

MÉTODOS ALTERNOS DE GEOFÍSICA EN LA BÚSQUEDA DE AGUA SUBTERRÁNEA.

John A. Randall Roberts¹

Resumen -Cuando el sondeo eléctrico vertical no es factible de usarse debido a factores de espacio y terreno quebrado, se recomienda el uso de tres métodos de geofísica pasiva en donde la señal proviene de área del blanco (el acuífero) y no es necesario de inyectar energía desde la superficie. Los tres métodos son: Magnética, Potencial espontáneo, y VLF (muy baja frecuencia E.M., con un transmisor lejano); los tres son rápidos, portátiles, requieren de poco personal, y su afectación por topografía, aunque variable, es menor que la de métodos eléctricos tradicionales. Los primeros dos métodos propuestos tienen capacidad de penetración mayor de un kilómetro, la tercera (VLF) está limitada a unos 200 mts. como máximo, pero su habilidad de detectar y determinar el echado de fracturas le permite usarse a mayores profundidades por proyección geológica. El uso de una combinación de los sistemas es usual y aumenta su efectividad.

Palabras claves - ACUIFEROS, GEOFISICA, ALTERNA

INTRODUCCION

Durante la realización de estudios para la localización de acuíferos, he encontrado numerosos casos en donde la utilización del clásico sondeo eléctrico vertical (SEV) en sus varias configuraciones no ha ido adecuado para obtener los resultados necesarios. Generalmente, el problema es la penetración suficiente para alcanzar la meta requerida; hoy es común tener la necesidad de explorar a más de 500 metros de profundidad, y esto implica líneas de dos kilómetros o más de terreno parejo. A menudo, la topografía no permite esto, aún haciendo lo “imposible” en configuraciones y maniobras. También, a profundidades mayores de 500 metros, los detalles de la curva SEV se hacen más burdas, capas delgadas que pueden ser importantes se confundan por “equivalencia” o

conductancia longitudinal o otros factores. A veces hay capas de arcilla muy conductiva a profundidades críticas(digamos 200-300 metros) ; ¿Qué puede uno hacer para pasar éstas ? Hay trucos con el SEV, pero no siempre dan resultados. ¿ Que pasa en situaciones de rocas masiva sin capas (metamórficos o intrusos), o en casos de rocas estratificadas de echado muy alto o vertical ? El SEV resulta algo confuso en su interpretación. Todos estos casos son muy cotidianos en la exploración geofísica del subsuelo para agua.

La experiencia ha mostrado la necesidad de otra metodología, y tiene que ser metodología geofísica, aunque obviamente ya se examinó toda la geología visible, de superficie y en cortes de pozos, y ya se analizó los pozos de la comarca.

La contestación al problema parece residir en usar otra metodología, alterna y no tradicional, una metodología en dónde el agua pueda enviar una señal desde la profundidad sin la necesidad de atizarla con la inyección de energía desde la superficie. Hay varios sistemas de geofísica de exploración de potencial usuales en la exploración para petróleo y para minerales ; los clásicos son gravimetría, y magnetometría ; los campos gravimétricos y magnéticos de la Tierra son muy estudiados , existiendo una bibliografía casi infinito. El primero de éstos no sería tema de éste trabajo como el autor carece de experiencia en ello ; no dudo de su futuro utilidad en trabajos de éste tipo. El segundo, exploración magnética será el primer sistema tratado aquí.

EXPLORACION MAGNETICA.

El primer magnetómetro, la Aguja buzante” , fue utilizado en Suecia desde los 1600 ‘en la prospección para magnetita, aunque una aguja buzante moderna usado con pericia es capaz de muchas cosas, los modernos magnetómetros Fluxgate y Protónicos son muchísimo más sensibles , con mediciones repetibles de 5-10 gammas. Son aparatos muy portátiles, el operador, quien es la persona buscando el acuífero, necesita caminar todo lo largo de sus líneas que lo permite ver rasgos geológicos sobre la marcha. La señal medida proviene desde el subsuelo por si sólo ; hay zonas más magnéticas que otras ; como en toda la exploración geofísica, uno busca contraste en lecturas, y si no la hay, obviamente no se aprende mucho. Afortunadamente, la Tierra es lo suficientemente heterogénea que casi siempre hay contrastes y aún en área sin yacimientos de magnetita el contraste puede llegar a un orden de magnitud.

¹ Dom. Mineral de Valenciana No. 2 , Marfil, Guanajuato, México, CP 36250. Teléfono ; ++52(473) 3-13-66, FAX ++52(473) 3-14-71,e-mail - randall @redes.int.com.mx

El efecto topográfico en terreno undulatorio es muy poco , efectivamente en zonas muy abruptas sí llega de ser un factor ; lo mejor es tratar de eliminar en la posición de la líneas masas significativas de roca lateral que pudiera afectar al vector del campo total medido, esto quiere decir que toma cuidado en caminar por cañadas cerradas. Sin embargo, la longitud de la línea no es un factor en la interpretación cualitativa y a menudo el contraste geológico es mayor que lo introducido por el error topográfico.

En general la roca cerrada, sin fracturas, es más magnética que la mismo roca quebrada en dónde puede haber agua subterránea. Con esta simple interpretación cualitativa, la exploración magnética es muy útil ; igual con muchos tipos de geofísica, hay que cerrar la línea para ver la deriva.

En la práctica, la exploración cualitativa, junto con la geología, es un poderosa herramienta en la búsqueda de acuíferos en fracturas.

La determinación de profundidades requiere una interpretación cuantitativa basada en modelado y más que nada basada en el tipo de acuífero que se está buscando. Aunque la interpretación cualitativa es útil en la ubicación de zonas fracturadas, res inadecuado en una interpretación de cambios estátigráficos que pueden ser físicos con poco contraste geológico obvio. Este tipo de cambios pueden ocurrir en cualquier tipo de roca o incluso sedimento y pueden revelar un acuífero confinado ; por lo tanto, entre más pericia el buscador adquiere, más información se puede interpretar de sus líneas. Aunque hay mucha bibliografía en la interpretación de magnetometría, los trabajos precisos y cuantitativos sobres situaciones de acuíferos son escasos.

Considerando, el gran conocimiento existente sobre la interpretación del campo magnético, creo que puede haber importantes contribuciones en el futuro cercano, porque es un sistema de potencial casi sin límites de penetración a profundidad ; la prospección geofísica de agua a más de un kilómetro de profundidad muy difícil, pero probablemente necesaria, y magnetometría es un probable solución.

Se presentan, figuras 1 y 2, interpretaciones cualitativos y cuantitativos de líneas magnéticas.

Fig.1 MAGNETOMETRÍA INTERPRETACIÓN CUALITATIVA.

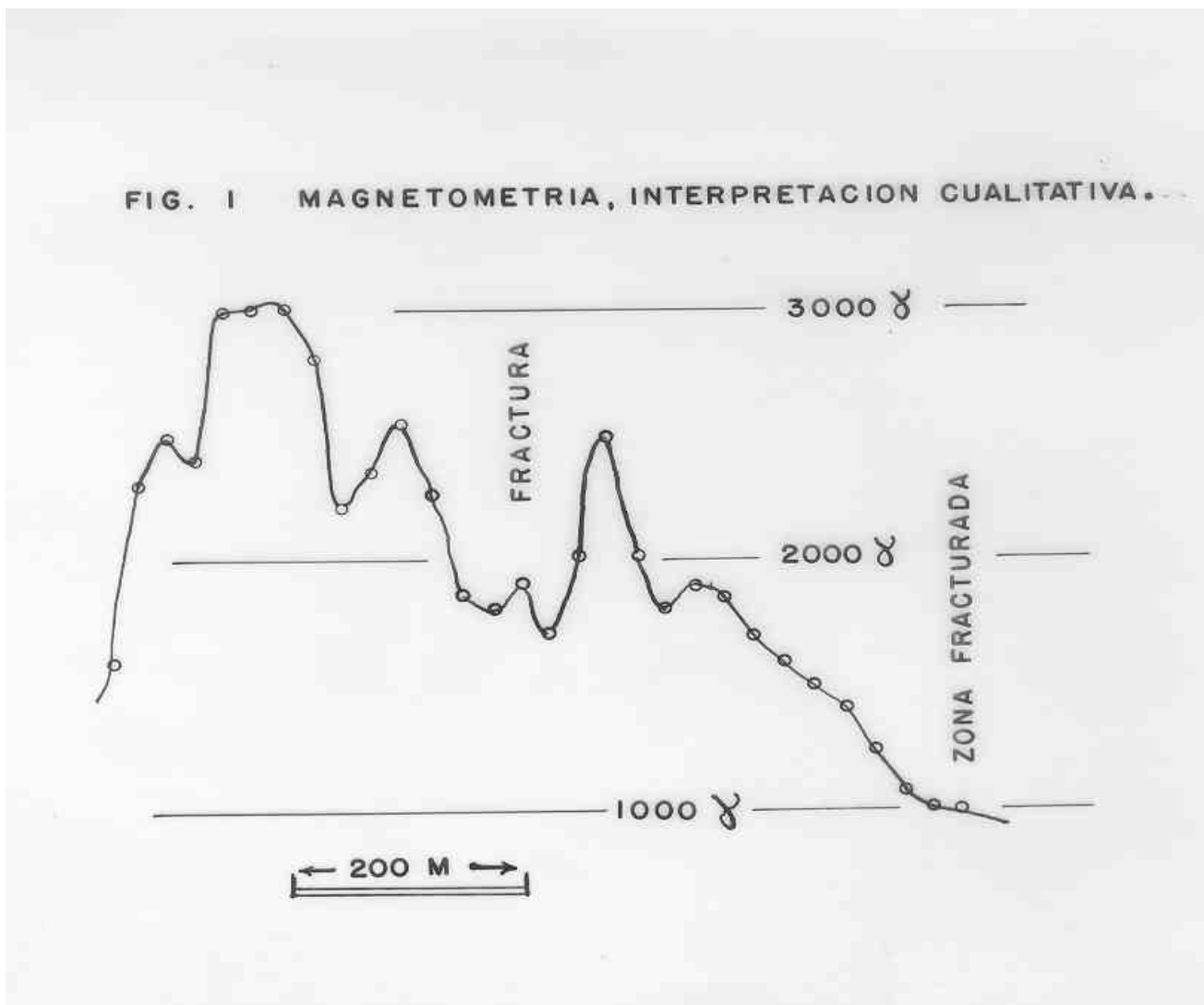
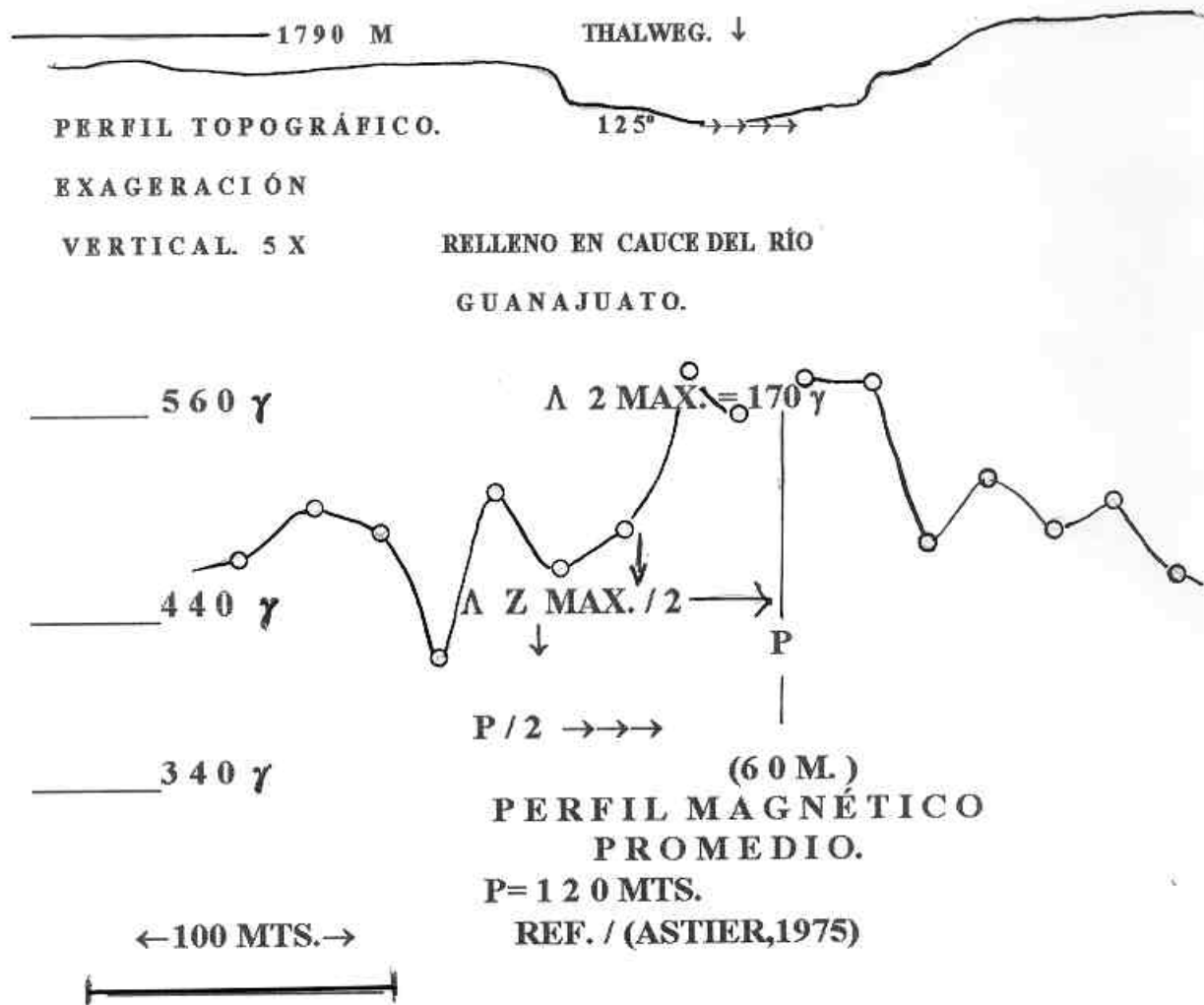


Fig.2 MAGNETOMETRÍA, INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA.



POTENCIAL ESPONTANEO

La historia del método del campo eléctrico natural data desde el principio del s. XIX, igual que en magnetometría, su uso primordial fue en la búsqueda de minerales, exploración que ha tenido notable aunque poco publicado éxito, tanto en interpretación cualitativa y en cuantitativa. Sin embargo, desde los principios del Siglo XX, su utilidad

en exploración para agua fue bien reconocida utilizada por Conrado Schlumberger y otros. Los esfuerzos de usarlo como exploración desde la superficie fueron opacados por su gran éxito como la curva de potencial” de registros eléctricos en pozos de petróleo y posteriormente de agua ; en esta aplicación la teoría electroquímica de su señal ha sido muy bien estudiada estando un estándar en todo registro eléctrico de pozos para agua. Su aplicación como exploración en superficie para la búsqueda de acuíferos ha tenido un historial de éxito y fracaso ; creo que gran parte de esto proviene de una falta de comunicación entre tres grupos de estudiosos ; en los años 1960, en la exploración para pórfidos cupríferos, hubo magníficos estudios probando la medición de la señal desde más de un kilómetro, en los 1960-1970, potencial espontáneo tuvo un éxito muy importante en el estudio de agua geotérmica, aunque después se dejó de usarse. A pesar de sus éxitos, P.E. he tenido mala fama con los geofísicos y geólogos buscando acuíferos. Hoy día, hay pocas personas publicando sobre el tema.

La medición consiste en tomar la tensión entre dos o más electrodos colocados en la tierra y conectados con un multímetro de muy alta impedancia (hasta 10,000 mega ohmios). La resistencia de contacto de la tierra en una función de la tensión (voltaje en milivoltios), requiriendo el uso de un multímetro. Las unidades de recepción de equipo de resistividad ni de potencial inducida no tienen ésta modalidad y por lo tanto carecen de éste control necesario. Hoy día, comienza haber multímetros con memoria en disquete facilitando la toma de lecturas múltiples en cada estación sobre lo cual es posible observar el crecimiento o decaimiento de campo natural que ha añadido otra dimensión al estudio de P.E. porque con estudiosos clásicos ha habido la duda sobre la mediciones de lecturas inestables y su significado. Los contrastes en lecturas en la búsqueda de agua no muy caliente muy raramente llega a un orden de magnitud ; sin embargo, cambios de decenas de mV son comunes y a menudo desarrollan curvas bien definidas.

La longitud de las líneas no es un factor definitivo en la profundidad obtenida, pero la interpretación cuantitativa si requiere el desarrollo de armónicas para calcular la relación de la longitud de onda y la amplitud. La interpretación cualitativa es posible en casi toda línea. La topografía abrupta llega a causar dificultades, aunque se trabaja bien en terreno ondulante con gradientes hasta unos 20% (que sería problemática con un SEV). La gran ventaja sobre el SEV es la habilidad de P.E. de ocupar menos longitud en su línea, poder recibir la señal a través de arcillas conductivas y de ser más rápido y móvil (con menos gente) en el campo.

P.E. está midiendo una señal causada por el agua ; el agua en sí por su movimiento ioniza entre cationes y aniones disueltos (agua mineralizada da mejor señal que agua pura) y por su fricción cinética contra su medio. No está uno interpretando formaciones saturadas contra formaciones secas o cerradas como en el SEV. La interpretación sencilla y cualitativa es a menudo obvia, y bien documentada en la literatura (Ogilvy, y otros, 1969) mientras la interpretación cuantitativa se deriva de trabajos de modelado de cuerpos metálicos, en lo cual curiosamente hay mención del efecto de roca saturada y no saturada.

Los estudios cuantitativos sobre el estudio de acuíferos (Fournier, 1985) tienden a basarse sobre la teoría del movimiento cinético en lugar de electroquímico ; una omisión sería en mi opinión .

Parte de la falta del progreso sobre mayores consensos de estudios de P.E. reside en una falta de estudio del campo eléctrico de la Tierra y sobre todo de la corteza de la Tierra.

El efecto telúrico es sin duda un factor con mediciones de P.E. como lo son cambios meteóricos (todo esto también afecta las mediciones de magnetometría) ; por lo tanto, lo mejor es efectuar P.E. en condiciones parejas de meteorología y rápidas para minimizar efectos telúricos. Como estos métodos son sensibles a efectos externos no geológicos, no son aptos cerca de las líneas eléctricas.

Se presentan dos curvas, (Figuras 3 y 4) representando líneas con interpretación cualitativa y cuantitativa.

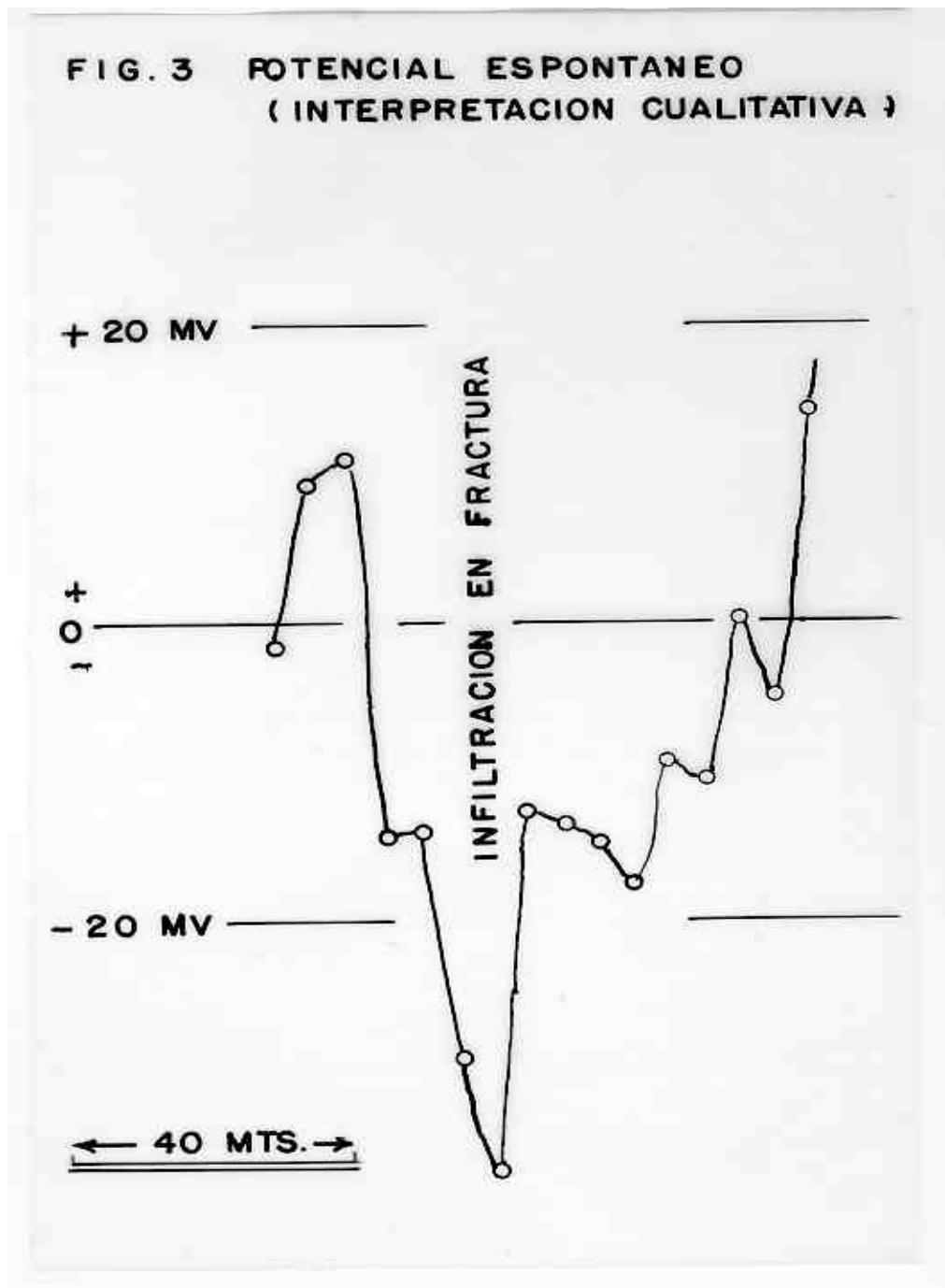
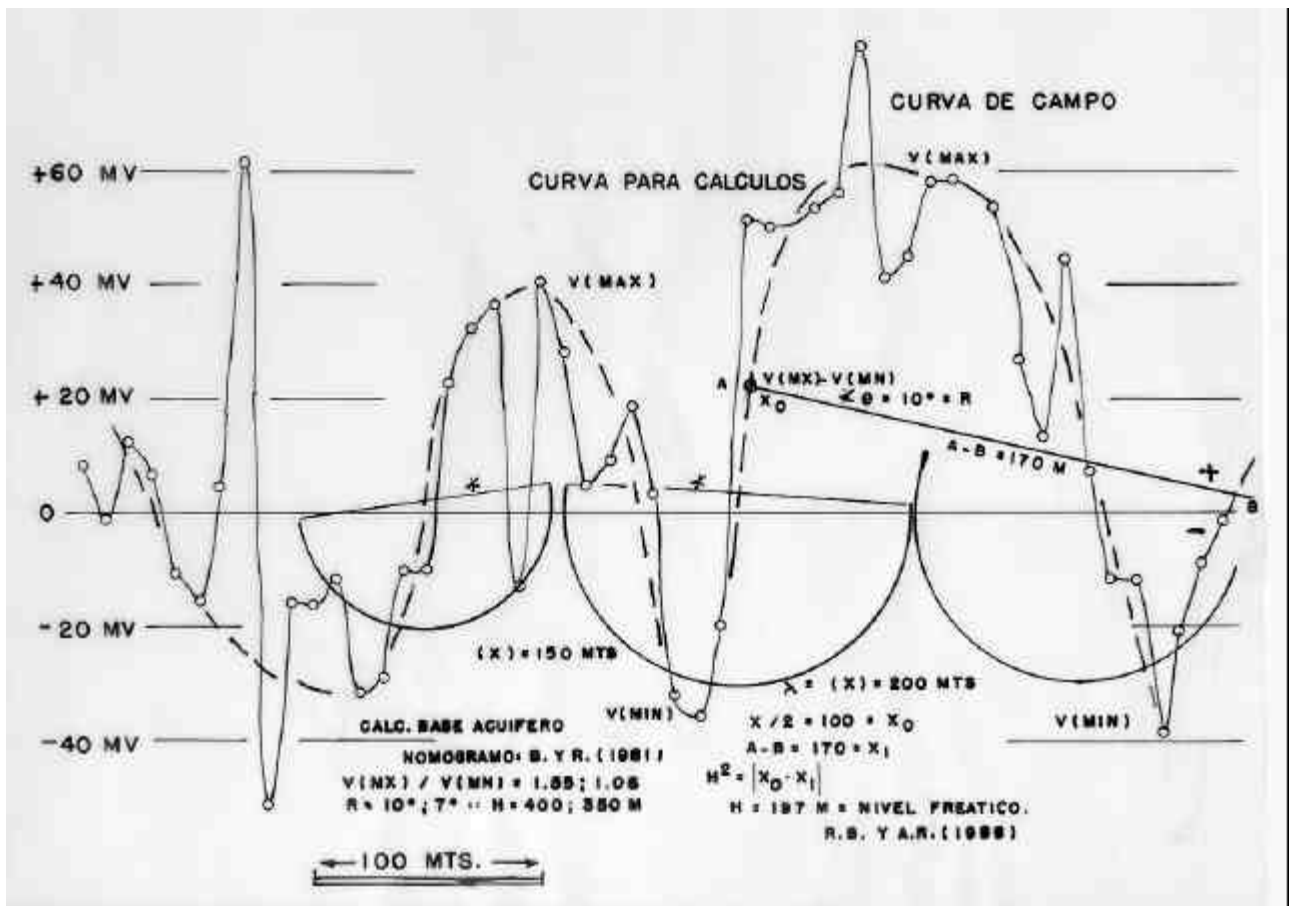


Fig.4 POTENCIAL ESPONTÁNEO INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA



E.M.-VLF(electromagnética de muy baja frecuencia)

Aunque el sistema VLF no es un método pasivo de potencial como los dos sistemas arriba mencionados, su metodología de campo es semejante en que no es necesario de poner una fuente de energía en la superficie para medir la alteración del campo como dicho campo ya existe siendo generado por estaciones de transmisión lejanas. El campo generado por estas estaciones es electromagnético; el receptor generalmente utiliza el componente magnético. Ahora bien, si no hay heterogeneidad en el subsuelo, el campo no se altera y la señal no registra más que una línea pareja o sea una similitud en lecturas. Diferencias en el subsuelo, se registran como ángulos de distorsión del campo magnético; la medición pueda ser "en fase" con la señal o "fuera de fase", y generalmente su toma ambas mediciones. Efectos no geológicos como líneas de luz, varillas con tierra en construcciones, cercas, etc. producen anomalías con un gran componente fuera de fase, como también cuerpos de mineral conductivo. Afortunadamente, la señal producida por fracturas con agua muestra un componente fuera de fase pequeña en comparación con su respuesta en fase. Una excepción son los cuerpos de agua termal, muy mineralizada, que actúan en forma similar a cuerpos de mineral. Sin embargo, con práctica, aún estas distinciones son posibles.

En Norteamérica (más que Sudamérica) hay una abundancia de transmisores en casi todo rumbo ; ésto es importante en que el mejor respuesta ocurre cuando se alinea a la fractura con el transmisor y ser efectúa la línea perpendicular a ambos., esto es cierto en ambas mediciones en y fuera de fase. Hoy día, aún en el hemisférico sur, hay varios transmisores muy potentes en varios rumbos por escoger.

El método es muy rápido, siendo por inducción , es posible de tomar lecturas al ritmo de 15-20/ hora ; así es un excelente sistema de reconocimiento geofísico en dónde se cubren varios kilómetros de perfil por día con considerable sensibilidad. En , Wright, 1988, se describen problemas topográficos (que no son muchas) y las posibilidades de penetración dentro del subsuelo. Esta penetración varía según la resistividad del corte litológico ; con resistividades menores de 30-40 ohm mts., solamente se explora unos 10-15 mts., mientras con una resistividad de más de mil ohm mts. , se está explorando profundidades mayores de 50 mts. ; se ha comprobado penetraciones hasta 200 mts. en mármoles con una resistividad de 10,000 ohm mts. Por lo tanto, el método funciona mejor en roca dura sin mucha cobertura de sedimento. Un factor a veces olvidada con VLF, es la posibilidad de proyectar fracturas reveladas cerca a la superficie hacía las profundidades deseadas sobre su echado , que puede ser estimado por la forma de la curva en fase y el desplazamiento de esta a la curva fuera de fase que muestra menos penetración. Entre estas dos métodos es posible de hacer una aproximación bastante buena del echado. Si no se conoce la resistividad del corte litológico, un SEV corto es útil en determinarlo. VLF es un sistema rápida , portátil y extremadamente versátil en terreno quebrado. En Wright(1988) hay procedimientos para corregir lecturas por topografía ; sin embargo, pendientes menos de 30 % no causan problemas significativos ; el problema topográficamente más aguda es el trabajo al fondo de barrancas muy cerradas.

FIG. 5 VLF, INTERPRETACION CUALITATIVA
CURVA DE CAMPO, SIN FILTRO

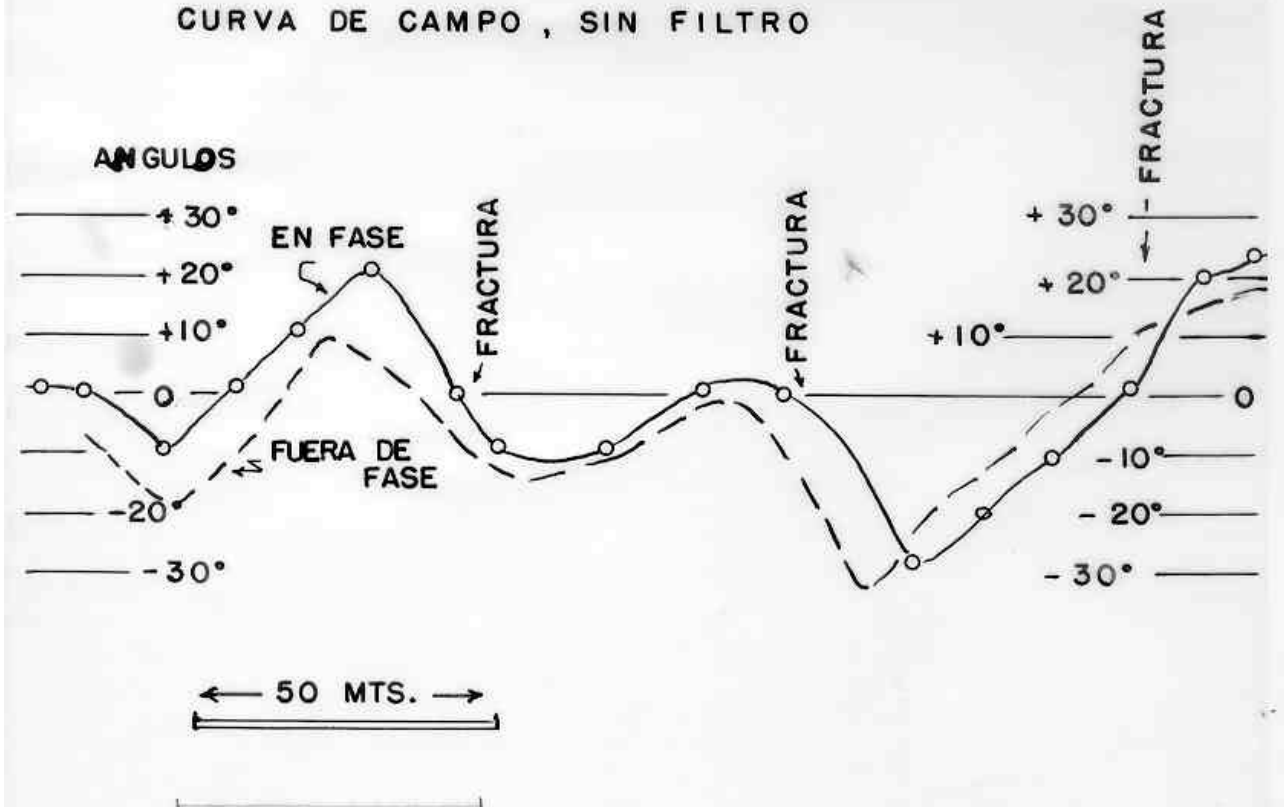
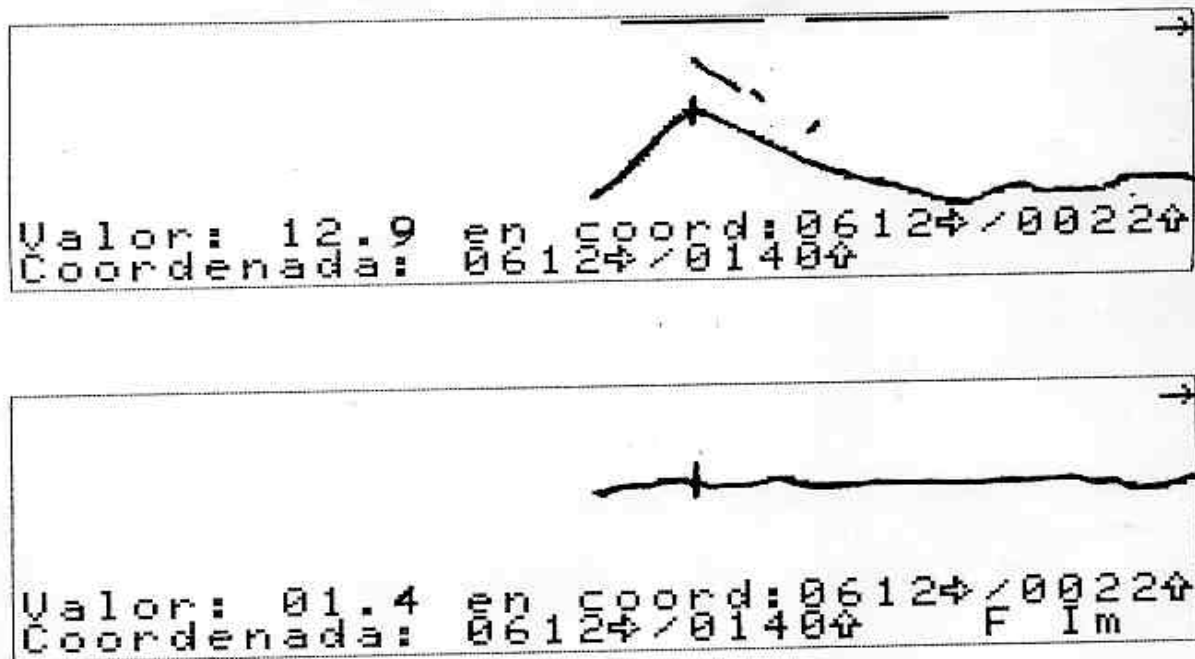


Fig. 6 INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA.
(Curvas Filtradas)

Curva en fase máxima de corriente 12.9 % a 22 mts. Sobre la línea de 140 mts.
Fractura de echado aparente de 45° a la derecha y con una profundidad de 10-50 mts.
(la barra horizontal representa 30 mts.)Ref. Abem Wadi,1988.

Fig.6



Curva fuera de fase máxima distorsión en cuadratura de 1.4 % se observa que la curva es relativamente plana, indicando un conductor fuerte.

CONCLUSIONES

Se han presentado tres métodos geofísicos en la prospección de agua para uso alternativo a los métodos eléctricos clásicos; todos los métodos descritos requieren de menos espacio para la misma penetración del SEV y son, con la parcial excepción de potencial espontáneo, menos afectados por cambios topográficos. Los tres sistemas son muy rápidos, portátiles y requieren de poco personal; pero hago hincapié en su mayor ventaja que es la posibilidad de explorar para agua en terreno quebrado donde frecuentemente no existen extensiones de 1-3 kms. de rectas de terreno plano. La bibliografía sobre interpretación magnética es de lo más extensa y éste método tendrá mucho éxito en el futuro con mayor estudio sobre las propiedades magnéticas de rocas secas y saturadas, aquí se ha aplicado mayormente para la interpretación de estructuras. El potencial espontáneo es un sistema muy cuantificable en respecto a flujo de agua y estratigrafía; también es el más tedioso y lento de los tres métodos aquí descritos; pero su habilidad de detectar el flujo del agua en sí lo hace muy valioso. VLF es el más eficaz en la detección de fracturas; el contenido de agua en dichas fracturas requiere de interpretación cuidadosa; sin embargo, existe instrumentación computorizada que permite la rápida examinación de las curvas con y sin filtros matemáticos. También hay

sistemas integrando electrodos para una examinación somera del campo eléctrico, suprimiendo la necesidad de un SEV para calibrar penetración con resistividad. Dos puntos deben de hacerse obvios ; uno que a menudo se deben de usarse los métodos en combinación ; la exploración para agua en acuíferos a mayores profundidades y con menor contenido, requiere de mayor estudio, y dos, que el exploracionista necesita mayor conocimientos de la geología e hidrogeología del subsuelo.

BIBLIOGRAFIA

- Astier, J.L. (1975) Geofísica aplicada a la hidrogeología, Paraninfo, Madrid, 344 pp. (ref. a estudio magnético,pp. 50-51).
- Bhattacharya, B.B. y N. Roy (1981) A note on the use of a nomogram for self-potential anomalies, Geophysical Prospecting, Vol.29,pp. 102-107.
- Fournier, C.(1989), Spontaneous potentials and resistivity surveys applied to hydrogeology in a volcanic area : Case history of the Chaine des Puys (Puy de Dôme), France. Geophysical Prospecting v. 37, pp.647-668.
- Ogilvy, A.A., M.A. Ayed, y V.A. Bogoslovsky (1969), Geophysical Studies of water leakages from reservoirs , Geophysics, Vol.17,pp. 36-62.
- Ram Babu, H.V. y D. Atchuta Rao (1988), A rapida graphical method for the interpretation of the self-potential anomaly over a two-dimensional inclined sheet of finite depth extent, Geophysics, Vol. 53, pp.1126-1128.
- Randall-Roberts, J.A.(1989) Calculo de profundidad de acuíferos por análisis de curvas de potencial espontáneo, GEOS, Unión Geofísica Mexicana, Vol.9 No.4,pp.283-291.
- Randall-Roberts, J.A.(1996) Potencial espontáneo (P.E.) en exploración para agua subterránea, ALHSUD,3er Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea,S.L.P. México, nov. de 1996, 5 pp.
- Wright, J.L.(1988) , VLF interpretation manual, publicación particular, 85 pp.