

APUNTES SOBRE LA APLICACION DE LA GEOFISICA A LA EXPLORACION DE MINERALES

Por el Ingeniero DARIO SUESCUN G.

A pesar de que la Geofísica inició su aplicación experimental en 1920, en los años subsiguientes solamente se le encontró aplicación en investigaciones teóricas, y apenas en la década 1930 - 1940 se organizó el entrenamiento de geofísicos en las universidades, con equipos muy primitivos.

Fue necesario un incentivo imperioso, como la segunda Guerra Mundial, para que los países comprometidos en ella intensificaran la búsqueda de materiales estratégicos, especialmente yacimientos metálicos que no afloraban. Sin embargo, el mayor desarrollo de la actividad exploratoria geofísica tuvo lugar en Europa y Norte América en la época 1946 - 1959, ya sí con investigaciones teóricas muy avanzadas y técnicas y equipos más refinados y de alta seguridad, capaces de explorar anomalías a grandes profundidades, usando principalmente métodos gravimétricos, magnéticos, eléctricos, sísmicos y aún nucleares.

El resultado fue un auge brillante en el descubrimiento de minerales de hierro, manganeso, titanio, cromo, níquel, cobre, plomo, zinc, aluminio, cobalto, tungsteno, molibdeno, mercurio, antimonio, oro, berilio, tantalio, niobio, uranio y torio.

En razón de los éxitos obtenidos con los depósitos metálicos, se perfeccionaron métodos para prospectar diamantes, mica, pegmatita, cuarzo, sal, potasio, azufre, fosfatos y hasta aguas subterráneas.

A partir de 1960 se estabilizó en los países desarrollados la actividad geofísica en la prospección de yacimientos minerales, y la refinación de métodos nuevos se orientó hacia la búsqueda de yacimientos petrolíferos. Esto permitió, en los últimos siete años, hallarle aplicación a la nueva tecnología geofísica en la prospección sistemática de amplias áreas para la búsqueda de cuerpos a grandes profundidades, con amplia seguridad y mayor velocidad, lo mismo que aplicaciones directas en

hidrología e ingeniería geológica, particularmente en zonas cubiertas por sedimentos no consolidados (donde es más difícil la investigación por las técnicas convencionales).

NUEVOS METODOS DE PROSPECCION

Hoy se combinan y complementan los métodos convencionales de exploración geológica con las avanzadas técnicas geofísicas y las investigaciones geoquímicas, haciendo posible localizar y recomendar yacimientos promisorios con identificación de su metalización primaria y, en algunos casos, hasta con predicción de reservas probables.

Los cuatro principales sistemas que ahora se emplean son:

- 1º)- Geofísica aérea para levantamientos regionales rápidos.
- 2º)- Inter-relación de investigaciones geológicas y geofísicas.
- 3º)- Utilización de métodos geofísicos y electrónicos más refinados, cuando las posibilidades son más acentuadas.
- 4º)- Definición del yacimiento con perforación, usando taladros rotatorios, economizando muchos pozos de tanteo.

Los nuevos métodos geofísicos, incluyendo las modificaciones a los ya tradicionales, pueden resumirse así:

- A. **Magnetométrico.** - Se inició con el Magnetómetro de Ferrosonda, pero hoy se emplean los magnetómetros de alta frecuencia (como el Protónico de Precisión) y los de Balanceo Óptico (como el de Pararrubidio y el de Faracesio), que alcanzan sensibilidades hasta de 0.01 gammas, en contraste con la primitiva balanza magnética de 5 gammas.
- B. **Gravimétrico.** - Se ha evolucionado desde la balanza giratoria del húngaro Eotvos, que mide el gradiente de la fuerza de gravedad, hasta el Graviómetro Perfeccionado del sueco Gustav Ising, que hoy registra la fuerza de la gravedad del campo terrestre, y no el gradiente, con precisión de 10^{-8}
- C. **Radiometría.** - A base de contadores Geiger y ahora con los Scintímetros, muy utilizados en prospección de minerales radioactivos, se estudian mejor las relaciones mutuas entre los horizontes geológicos.
- D. **De Resistencias.** - Emplea la diferencia de las resistencias eléctricas entre las rocas y minerales, utilizando campos provocados artificialmente por corriente continua o alterna de baja frecuencia. Son muy útiles en la determinación del espesor de los sedimentos.

- E. **Polarización Inducida.** - Es una variante moderna del método del francés Schlumberger, quien cartografiaba la distribución de corrientes eléctricas con dos electrodos puestos a tierra, por el método de las curvas equipotenciales. El método de Polarización Inducida ha encontrado amplia aceptación en la prospección de sulfuros dispersos.
- F. **Sísmicos.** - Basados en la difusión de ondas elásticas; se utilizan principalmente en la exploración de petróleos.

MAGNETOMETRÍA

Gran cantidad de problemas geológicos se resuelven con la ayuda de la magnetometría, con la cual es posible localizar y delimitar cuerpos intrusivos y áreas constituidas de formaciones efusivas de diversa composición, cartografiar fallas, determinar zonas hidrotermales, cambios metasomáticos de rocas, cuerpos minerales magnéticos, profundidad de rocas magnéticas, etc.

La magnetometría puede ser terrestre, y en este caso el área se cubre con una red de levantamientos magnéticos en escala 1: 25.000 y mayores. Si se usan métodos aeromagnéticos los levantamientos se hacen a escala de 1: 50.000.

Las características que definen el campo magnético de la tierra son cinco:

Declinación (D).

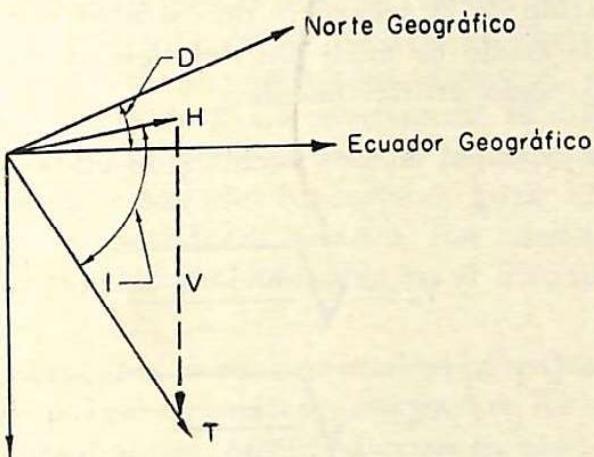
Inclinación (I).

Componente Horizontal de la Intensidad Total (H).

Componente Vertical (V).

Intensidad Total (T).

Estas cantidades pueden agruparse en un solo gráfico, y si se conocen tres (3) de estas cantidades pueden calcularse fácilmente las otras dos (2).



La intensidad total del campo magnético (T) es la fuerza unitaria del polo magnético; esta unidad es llamada **Oersted**, pero como es tan grande, se usa (γ) gamma, o sea 10^{-5} oersteds. La intensidad del campo magnético terrestre es alrededor de 60.000 gammas.

El equipo moderno empleado en magnetometría consiste en una cámara de bombaje óptico de paracesio que deja pasar la frecuencia proporcional al campo magnético circunvecino de la tierra. El coeficiente de proporcionalidad es casi igual a 3,5 herzios/gamma. El fono del detector es menor de 0,01 gamma. Esta frecuencia se mide después de que se aumenta en 30 veces por un aparato numérico que cuenta los períodos cada segundo durante 993 segundos, y así puede presentarse el resultado en centésimas de gamma.

Cada 50 segundos el aparato registrador de tiempo, regulado por el reloj de cuarzo del frecuencímetro, sincroniza todos los documentos del avión (cámara, registro fotográfico de la altura, etc.).

Utilizando estos programas complejos, con la filtración correspondiente, se diferencian las anomalías superficiales de las anomalías de origen profundo y así se pueden destacar en los mapas las anomalías poco profundas que presentan interés para la exploración metálica.

SISMOGRAFIA

Después de que apareció el primer modelo MD de sismógrafo portátil en EE. UU. en 1957, la Hantec Ltda. Toronto, Canadá, ha hecho hoy una segunda modificación monocanal de sismógrafo portátil con registro directo en papel electro-sensible, que proporciona la grabación directa en forma de hodógrafo (gráfico tiempo-distancia) y posee dispositivos especiales para suprimir las interferencias.

Este equipo es muy ventajoso para problemas de ingeniería geológica y determinación de la secuencia de estratos con diversas cualidades acústicas, por medio de medición del tiempo en que pasa un impulso acústico excitado artificialmente.

La ecuación principal de la velocidad de onda se expresa así:

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Donde: V_p = velocidad de la onda longitudinal
 V_s = velocidad de la onda transversal
 K = módulo del vector de presión
 μ = módulo de cizallamiento
 ρ = densidad volumétrica.

Con el nuevo equipo FS-3, portátil, se soluciona una amplia serie de problemas del subsuelo a profundidades hasta de 50 mts., pues las ecuaciones anteriores son muy precisas para determinar las fronteras entre materiales con distintas cualidades elásticas o con distintas densidades. Estas generalmente están relacionadas con la diferencia en la ductilidad longitudinal y transversal de las rocas, las cuales a su vez están relacionadas con la densidad, cementación, porosidad, humedad, composición, granulometría, etc.

La profundidad hasta la superficie del basamento se puede determinar por la ecuación:

$$d = \frac{X_{cr}}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

Donde: X_{cr} = distancia crítica
 V_1 = velocidad en los sedimentos
 V_2 = velocidad en el basamento.

Cálculos análogos, pero más complicados, se realizan para el corte multilaminar, estratos inclinados, discordancias horizontales, fallas, etc.

El costo de los equipos monocanales es aproximadamente de US \$ 4.000.00 en Estados Unidos y el de los multicanales es de US\$ 5.000.00 y más. El papel electro-sensible se vende a US\$ 10.00 por cada 100 metros, en EE. UU.

Los equipos monocanales pueden trabajar satisfactoriamente hasta 300 metros de profundidad, ya que el registro admisible es 340 m/seg, pero el límite práctico es de 50 metros, debiéndose usar equipos multicanales para mayores profundidades. Como el equipo tiene un amortiguamiento constante de 2 a 3 mts/seg. no es útil usarlo en profundidades de más de 2 metros, y cuando se requiera determinar redes de canalización, construcción de fundaciones para edificios, etc., es mejor usar equipos de contadores binarios. Así mismo, las posibilidades del equipo multicanal están limitadas en el diapasón de pequeñas profundidades.

Esos equipos portátiles tienen apreciables ventajas para la explotación de aluviones porque permiten cartografiar los cauces fluviales y los yacimientos donde se acumulan oro, estaño, diamantes, etc.; además, económicos donde se acumulan oro, estaño, diamantes, etc.; además, económicos

mizan tiempo y dinero en las perforaciones con taladros de diamante, ya que permiten prospectar la red de perforación tanto en área como en profundidad, con previo conocimiento del volumen del cuerpo mineralizado que se va a investigar. En excavaciones debajo de lagos y embalses se puede determinar la profundidad exacta de las rocas duras. También son muy útiles en la prospectación hidrogeológica, porque se puede cartografiar con exactitud el espejo de las aguas freáticas y los canales en las rocas del basamento situadas hasta 60 metros de profundidad. Y para la prospección de yacimientos minerales no metálicos, como yeso, sal, calizas, dolomitas, etc., la cartografía del subsuelo es muy precisa con este sistema sismográfico, pues se pueden apreciar las variaciones horizontales de la composición de las rocas y la variación de la calidad del material útil.

POLARIZACION INDUCIDA

El método de la polarización inducida es un método de mediciones eléctricas de efectos volumétricos en la tierra que surgen en las frecuencias bajas o ante un prolongado período de descenso (procesos transitorios). Estos procesos en su mayoría están provocados por la presencia de minerales de conductibilidad electrónica y, en menor grado, pueden ser explicados también por la presencia de minerales superficialmente activos tales como las arcillas. Para resolver muchos problemas de la prospección metalífera, el método de la Polarización Inducida es un valioso medio en el descubrimiento de la mineralización sulfúrea.

La denominación "polarización inducida" (Pi) surgió por analogía con la polarización de los electrodos que se manifiesta al pasar la corriente eléctrica entre el electrodo y el líquido de conductibilidad iónica que lo rodea. La reacción electroquímica provocada por esta corriente eléctrica obstaculiza el paso posterior de la corriente, y la fuerza electromotriz que surge ante ésto caracteriza la dimensión de la polarización del electrodo, que a veces se llama "sobretensión". La determinación de dicha polarización o del efecto de sobretensión, durante el paso de la corriente a través de la tierra, es la base del método de la polarización inducida.

Este método se diferencia de la mayoría de los métodos de la prospección eléctrica en que no solamente está relacionado con la conductancia eléctrica, sino también con sus cualidades electroquímicas.

La mayoría de los minerales que provocan el efecto de polarización tiene importancia comercial, y el predominante en la formación de un considerable efecto de la polarización inducida es la pirita por

su amplia distribución. En algunas rocas metamórficas se provoca un fuerte efecto de polarización debido al grafito. Los minerales más conocidos, que poseen buenas cualidades para la polarización inducida, son:

Oxidos

Casiterita, Magnetita, Pirolusita.

Sulfuros

Argentita, Bornita, Calcocita, Calcopirita, Cobaltita, Galena, Marcasita, Molibdenita, Pentlandita, Piritita, Pirrotita.

Otros

Grafito, Cobre nativo.

A pesar de que el método Pi tiene éxito en rocas con mineralización de sulfuros, en rocas grafitizadas o arcillosas y en algunas silíceas, los mejores resultados se obtienen con los sulfuros y por ello la principal utilización del método es para este tipo de minerales.

Al valorar la significación de las mediciones Pi es más útil valerse de los parámetros que corresponden a la medida absoluta del efecto, tales como el factor de la conductancia metálica y la capacitancia específica, y no de la medida de las relaciones o polaridad aparente.

Ya se ha podido relacionar el contenido de sulfuros con el factor de la conductancia metálica.

El siguiente cuadro muestra algunas significaciones típicas del factor de Conductancia Metálica en rocas efusivas y metamórficas, utilizando 30: 1 en la instalación de frecuencia:

R o c a s

Factor de C. M.

Graníticas no mineralizadas	1
Básicas no mineralizadas	1 — 10
Incrustaciones menudas de sulfuros	10 — 100
Incrustaciones grandes de sulfuros	100 — 1.000
Sulfuros llenando grietas	1.000 — 10.000
Sulfuros masivos	10.000

Así, las significaciones van desde 100 para el 1% del contenido del metal, 1.000 para el 3,5% y hasta 10.000 para el 10%.

Como estos apuntes sólo buscan informar al lector sobre los avances logrados en estos últimos años en una rama de la geología cuya tecnología es complicada y su avance muy acelerado y, además, el espacio disponible en la ya tradicional Revista DYNA es de suyo limitado

do, me permite dar excusas por la ausencia de mayores detalles técnicos que pueden ser consultados en los tratados, textos e informes de los profesores: T. Madden y D. Strangway, del M. I. T. de EE. UU.; E. Dalstrom de Suecia; A. Barringer de Barringer Research Ltd., Canadá; R. Giret del C. G. G. de Francia; H. Jensen, de Air Survey Corp. USA; N. Peterson, de Hantec Ltd. Canadá; M. Gallagher del Geoscience Institute de Inglaterra; y V. Fedynsky, A. Popov, V. Komarov y J. Glebovsky del VITR de la URSS.