

# Métodos de polarización inducida y TURAM en la búsqueda de mineralización sulfurosa, Pinar del Río, Cuba

Fuentes María del Carmen\*, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sede Seccional Sogamoso

## Resumen

El presente trabajo es una muestra de la amplia utilización que tiene la Geofísica como ciencia, en la prospección de yacimientos minerales en Cuba, lo cual fue demostrado mediante los resultados obtenidos de la aplicación conjunta del método geoelectrico de Polarización Inducida y del método electromagnético de TURAM en su fase experimental, sobre el yacimiento de mineralización sulfurosa Santa Lucía- Castellanos, ubicado en el Noreste de la provincia de Pinar del Río, Cuba.

Se exponen algunos aspectos fundamentales para comprender cada método, como son: fundamentos físicos, la metodología de los trabajos de campo, así como aspectos de la elaboración e interpretación de datos. Se culmina con la exposición con ejemplos representativos obtenidos en la región de estudio y unas conclusiones y recomendaciones que permitirán tomar ideas acertadas para la puesta en práctica de estos métodos resolviendo tareas geológicas y mineras.

Palabras clave: GEOFÍSICA, GEOELÉCTRICA, ELECTROMAGNÉTICOS, TURAM, POLARIZACIÓN INDUCIDA

## Abstract

The present work is a sample of the ample use that has the Geophysical one like science, in the prospection of mineral deposits in Cuba, which was demonstrated by means of the obtained results of the joint application of the geoelectric method of Induced Polarization and of the electromagnetic method of TURAM in its experimental phase in the sulfides mineralization Santa Lucía- Castellanos, suited in the NE of the province of Pinar del Río, Cuba.

Some aspects fundamental are exposed to include/understand each method, as they are: physical foundations, the methodology of the works of field, as well as aspects of the elaboration and data processing.

It is culminated with the exhibition with representative examples obtained in the study region and conclusions and recommendations that will allow to take ideas guessed right for the putting in practice from these methods being solved geologic and mining tasks.

Key words: GEOPHYSICAL, GEOELECTRIC, ELECTROMAGNETIC, TURAM, INDUCED POLARIZATION.

## Introducción

Los métodos geofísicos en la actualidad, juegan un papel importante en la búsqueda de yacimientos minerales, ya que mediante su empleo, es posible localizar depósitos en el subsuelo, aprovechándose para ello, del comportamiento variado de las propiedades físicas, densidad, resistividad, elasticidad, y radioactividad, entre otras, en contraste con el medio circundante. En este trabajo se han aplicado los métodos de TURAM y de Polarización Inducida (PI).

El yacimiento se encuentra al NE de la provincia de Pinar del Río, a unos 3 km al SO del poblado de Santa Lucía, municipio de Matahambre. Se observa en el flanco NO del anticlinorio pinareño que se hunde en el S-SO. Es una de las áreas mineralizadas en dirección SO- NE, según otros estudios efectuados en años anteriores. (ver figura 1).

Los objetivos en este trabajo están encaminados a evaluar principalmente la efectividad de ambos métodos en las condiciones geológicas del yacimiento, así como determinar por medio del TURAM, la presencia de coberturas conductoras (incluyendo zonas de intemperismo), rocas circundantes de caja conductoras, profundidad de yacencia, búsqueda de menas diseminadas, y seleccionar los parámetros óptimos de medición, red de medición, tipo de fuente de trabajo a emplear en las distintas etapas de las investigaciones, frecuencia óptima de trabajo.

El PI se aplicó para comparar sus resultados con los obtenidos con el TURAM y delimitar las zonas hidrotermalmente alteradas.

Figura 1. Mapa de ubicación de los trabajos.



## GEOLOGÍA

## Métodos de polarización inducida y ....

En la región se encuentran las formaciones terrígenas, terrígeno- carbonatadas y carbonatadas. Sedistinguen de abajo hacia arriba, desde el Jurásico al cuaternario, las siguientes formaciones:

1. La formación San Cayetano J1-2, representada por areniscas, areniscas polimícticas, areniscas cuarzosas, cuarzo- feldespatos, aleurolitas que se interestratifican con esquistos arcilloso- carbonosos. A esta formación se asocia la mineralización polimetálica cuprífera.

2. Formación Azúcar (J3 Galloviano), formada por sedimentos terrígenos en su parte inferior (areniscas silíceas y calcáreas) e intercalaciones, lentes y concreciones de calizas en su parte superior, su potencia varía de 0-40 m, alcanzando hasta 70 m. (1)

3. Formación Jagua (J3 oxfordiano), de composición litológica similar a la formación Azúcar, con predominio de calizas y areniscas. Su potencia alcanza 650 m y está presente en los núcleos sinclinales del sur de la región.

4. Formación Viñales (J3 Kinmerigdiano), compuesta por calizas de grano fino, en ocasiones recristalizadas, presenta lentes de pedernal, concreciones calcáreas e intercalaciones de esquistos con material organógeno.

5. Formación Artemisa (J3 Tithoniano), representada por calizas con intercalaciones de areniscas polimícticas y esquistos, contacta tectónicamente con las demás formaciones.

6. Sistema cretácico (Kr2). Se encuentra hacia el Oeste de la región y al norte del campo minero Santa Lucía-Castellanos, donde se observa una franja de 3 km.

1 Vologdin, N. F.: Informe sobre los resultados de los trabajos de exploración Geológica Regional, Pinar del Río, 1961- 1963.

7. Depósitos cuaternarios (Q), están constituidos por formaciones aluviales y aluvio- proluviales. Los depósitos aluviales están representados por sedimentos arcillosos, arenosos, cubriendo las laderas de las elevaciones. Por lo general, se encuentran limonitizados como consecuencia de la oxidación de sulfuros. Los depósitos aluvio- proluviales están constituidos por arcillas con fragmentos, guijarros, bloques, cantos rodados de la roca originaria.

Magnéticamente, la zona está representada por la falla regional que limita por el norte al sinclinal graben pinareño, desarrollándose macizos de grietas pequeñas de rocas ultrabásicas serpentinizadas, cuya composición primaria se determina con dificultad.

El yacimiento Santa Lucía está ubicado en el ala NO del anticlinorio Pinar, considerada una de las unidades tectónicas de desarrollo eugeosinclinal cubano. Las rocas se encuentran complicadas por dislocaciones disyuntivas y plicativas. Las dislocaciones disyuntivas se desarrollan en fracturas transversales y sublatitudinales, formando bloques tectónicos, siendo en ocasiones subconcordantes con la estratificación. Las fallas

transversales limitan los cuerpos minerales y provocan desplazamientos. En el área del yacimiento está presente la estructura sinclinal la cual se observa por cambios bruscos en los elementos en el plano, estando asociados los afloramientos de los depósitos minerales al ala NE de este bloque.

El yacimiento está representado en la parte NO por mineralización pirito-polimetálica y en menor grado calcopirita, y en la parte SE en lo fundamental la calcopirita y raras veces la pirito- polimetálica. Existe la presencia de otros minerales útiles como el plomo, zinc, azufre y barita en las menas del yacimiento, y se han calculado reservas de oro, plata y cadmio que elevan sustancialmente el valor del yacimiento.

Se les presta especial atención a las areniscas cuarzosas del paquete subyacente que posee altas propiedades físico-mecánicas.

Morfológicamente, el yacimiento está representado por pliegues y el área de afloramiento aparece como un sombrero de hierro (mena oxidada de potencia que varía de 15 a 30 m). Las menas minerales son de pirita- calcopirita y menas oxidadas compuestas por minerales como: pirita, marcasita, esfalerita, galena, pirrotina, magnetita, hematita, etc. La longitud del cuerpo principal es de 1050 m por el rumbo y 480 m por el buzamiento, con potencia promedio de 20 m.

El grado de estudio geológico y geofísico en la región es bastante amplio, realizados desde 1933 por el geofísico norteamericano Hudrell, hasta nuestros días. Se han aplicado los métodos geofísicos de magnetometría, campo eléctrico natural, cuerpo cargado, gravimetría, perfilaje eléctrico simétrico, radiometría, espectrometría y levantamientos aeromagnéticos, aeroelectromagnéticos, electromagnéticos. En la actualidad han cobrado auge los métodos de TURAM y Polarización Inducida que empleamos con un grado de detalle en nuestra investigación.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El método eléctrico de polarización inducida (PI), ocupa un lugar preponderante en la exploración y prospección geofísica, ya que permite estudiar no solo las variaciones de las resistividades del medio geológico, sino también, la polarizabilidad. Ambas propiedades se convierten en los campos físicos medidos por el método, y al compararse en un mismo medio, pueden dar una idea más acertada del corte geológico en cuestión.

Esta característica del método es lo que lo hace ser uno de los más empleados en la búsqueda de yacimientos minerales metálicos, sobre todo, de mineralización diseminada, meta que es difícil de alcanzar por medio de otros procedimientos geofísicos.

## Métodos de polarización inducida y ....

El principio de la polarización consiste en el estudio de la respuesta del medio geológico a un campo eléctrico primario introducido en el terreno, que polariza o separa las cargas eléctricas de las rocas, por medio de la creación de una F.E.M. secundaria que hace posible la variación de los procesos electroquímicos que ocurren en las rocas y minerales.

Para observar el efecto de la polarización inducida, a un volumen de roca se le introduce corriente eléctrica mediante los electrodos de alimentación AB, durante el paso de la corriente primaria polarizante, entre los electrodos de medición MN, se crea una diferencia de potencial cuyo valor depende de la intensidad de corriente IAB, de la posición mutua de los electrodos AB y MN, y del carácter del corte geoelectrónico.

Esta diferencia de potencial es  $\Delta U_{pa}$ , cuando se interrumpe la corriente primaria IAB, la diferencia de potencial no desaparece por completo, sino que queda una diferencia de potencial residual de potenciales transitoria, que disminuye con el tiempo hasta desaparecer totalmente, esta se llama  $\Delta U_{PI}$ .

$$\Delta U_{PI} / \Delta U_{pa} \times 100 = \eta_a \quad (1)$$

$\eta_a$ : Polarizabilidad aparente cuando el medio es heterogéneo, ya que depende de la distribución de las rocas de diferente polaridad, y de la posición del dispositivo de electrodos.

En el método de PI, a diferencia de los demás métodos eléctricos, el tiempo de carga al terreno, es del orden de 3-5 minutos de duración, aunque también está en dependencia del corte geológico en cuestión.

El tiempo de descarga puede durar algunos minutos y a veces, hasta horas, aunque la mayor parte de la polarización desaparece en segundos. En la teoría este debe medirse instantáneamente después de interrumpir la corriente, pero en la práctica, se mide unos 0.5 segundos después, porque depende de las capacidades y sensibilidades de los equipos empleados.

Asimismo, en dependencia de la longitud de los pulsos utilizados para la introducción de la corriente, el método se clasifica en pulsos cortos o largos. Los dispositivos que más se emplean son los de gradiente medio y los de potencial de pulsos largos. En los trabajos de detalle, se emplean los dispositivos gradiente de perfilaje combinado y SEV con sus combinaciones (SEV-PI), siendo éste último, uno de los más empleados en Cuba recientemente.

Antes de la ejecución de todo el levantamiento geofísico de Polarización Inducida, deben realizarse trabajos experimentales para proyectar sus características finales de tiempos de carga y descarga, paso de medición, etc., que

dependen principalmente, de la geología del lugar, pues algunos sedimentos mullidos de buena conductividad poseen una saturación mayor que las rocas cristalinas y las macizas, lo cual indica que el tiempo de carga a emplear será menor, lo que hace más rápido y productivo el trabajo.

En este trabajo fue empleada la variante gradientes medios, realizándose las mediciones con el equipo receptor VP- 67 y un generador de corriente directa PN- 100. El chequeo y calibración de los equipos se realizó diariamente, antes de comenzar los trabajos, consistiendo en verificar el estado de las baterías, la linealidad de las escalas de medición del potencial tanto para el canal de polarizabilidad como para el de resistividad.

Las mediciones en campo se efectuaron en una red de 100 x 40 m, con el dispositivo de alimentación AB = 1500 m y MN = 40 m. Con esta línea fue posible medir los 2/3 centrales de la misma en 9 perfiles.

El error medio cuadrático del levantamiento fue de + 5 %. Las corrientes de alimentación al terreno, fueron de 10 amp. en todos los puntos, suministradas por un pulso unipolar de un minuto de duración, lo cual garantizó que la diferencia de potencial para el canal de polarizabilidad ( $\Delta U_{PI}$ ), fueran superiores a  $\Delta U = 0.5$  mv, que es el establecido según normas y que se logró mediante el proceso de compensación

Las tomas a Tierra (AB), consistieron en 50 electrodos de acero ubicados en forma de espiral, en cada extremo, tratando de que la distancia entre ellos fueran de 1- 5 veces mayor que su longitud, y que el lugar donde estuvieran ubicados, fuera lo más húmedo posible, según normas. Los electrodos no polarizables (MN) tipo EN- 1, soviéticos, consistieron en vasijas de barro rellenas de sulfato de cobre saturado, colocados en terreno húmedo y mullido.

En la libreta de campo se anotaron los datos correspondientes a cada punto de observación y finalmente, se calcularon los valores de polarizabilidad aparente según la fórmula (1), y la resistividad aparente ( $\rho_a$ ), por la fórmula convencional:

$$\rho_a = k \times \Delta U / I \quad (2)$$

donde:

K: Constante geométrica del dispositivo

$\Delta U$ : Diferencia de potencial del campo eléctrico primario

I: intensidad de corriente

Con los datos de ambos parámetros, se confeccionaron gráficos e isolíneas a escala 1:5000, eligiéndose para sus representaciones, escalas verticales que presentaron estructuras del campo bien definidas y enmascararon los errores de medición.

## Métodos de polarización inducida y ....

Sobre la base de la información brindada por estos mapas, se procedió a la interpretación cualitativa y cuantitativa, de las anomalías de ambos parámetros, delimitándose las zonas anómalas de mayor interés, con anomalías que sobrepasaron 2 o 3 veces el valor del fondo normal para la polarizabilidad aparente y anomalías menores de  $100 \Omega \times m$ , para la resistividad aparente. (Fuentes F., María del C, 1996).

El método TURAM es un método de perfilaje electromagnético de fuente fija que consiste en energizar el medio geológico aplicando diferentes frecuencias. Las magnitudes físicas obtenidas con el método están asociadas al gradiente horizontal de alguna componente del campo magnético, generalmente la componente vertical a lo largo de perfiles.

Las magnitudes en el campo están asociadas al gradiente horizontal de alguna componente del campo magnético total, generalmente la componente vertical a lo largo de perfiles. Los parámetros obtenidos son; la Relación de amplitudes R y diferencia de fase ( $\Delta\phi$ ), los cuales fueron obtenidos para las diferentes frecuencias empleadas y permitieron la confección de gráficos representativos de perfiles.

La metodología para la obtención de los parámetros fue la de Booschart R., 1964, donde:

$$R = H_z(k) / H_z(k+1) \quad (3)$$

$$\Delta\phi = \Delta\phi(k+1) - \Delta\phi(k) \quad (4)$$

Donde:

$H_z(k)$  es la intensidad del campo en el punto k

$H_z(k+1)$  es la intensidad en el punto (k+1)

$\Delta\phi(k)$  es la fase en el punto k

$\Delta\phi(k+1)$  es la fase en el punto (k+1)

Las mediciones se efectuaron en una red de  $100 \times 25$  m, en un área de  $1 \text{ km}^2$ , con un total de 13 perfiles. El equipamiento empleado para el método de TURAM estuvo compuesto por un receptor SE-77 y un generador TSQ-2M, ambos canadienses, empleando frecuencias 35, 105, 315, 945 y 2835 Hz, permitiendo enfocar adecuadamente el sistema transmisor- conductor- receptor (T-C-R) con el fin de discriminar las respuestas producidas por los objetos buscados y además apoyar el mapeo geológico.

Las frecuencias transmitidas contienen a todos los armónicos impares múltiples de tres, lo que permite medirlos sin tener que cambiar la frecuencia fundamental en el transmisor, la intensidad del campo de estos armónicos decrece con el incremento de la frecuencia. A partir de los resultados con diferentes trabajos se determinó que en el yacimiento Santa Lucía, las frecuencias óptimas serían de 105 Hz.

El campo energizante normal se generó desde fuentes fijas sobre el terreno, energizando a este de forma inductiva (espiras) y semiespiras y galvanoinductivas (semiespiras y fuentes lineales) con dimensiones del dispositivo de  $2 \times 1 \text{ km}$  y  $1 \times 0,5 \text{ km}$  para las espiras y semiespiras y de  $2 \times 1 \text{ km}$  para las fuentes lineales.

Cuando fueron empleadas las semiespiras y fuentes lineales se colocaron de 15 a 20 electrodos de bronce con tomas a Tierra, separadas entre sí a una distancia no menor de 1 m y en zonas del terreno donde la resistencia de contacto fuera la menor posible (zonas húmedas, arcillosas, etc.)

Este campo energizante normal al energizar el medio geológico producto de las heterogeneidades de éste, crea un campo secundario que sumado a él forman un campo resultante que es investigado usando el receptor SE-77 F, haciendo mediciones del gradiente a lo largo de perfiles orientados perpendiculares al lado principal de las fuentes y a las estructuras geológicas.

La fuente de alimentación de corriente alterna (generador) fue colocada en lugares de fácil acceso y lo más cercana posible a la parte central del área de estudio. Se emplearon corrientes mayores e iguales a 1 amp., para que la intensidad del campo fuera suficiente como para ser medida. Cuando esto no sucedía, se cambiaba el número de electrodos a Tierra, o se cambiaba la posición de éstos, con la finalidad de disminuir la resistencia de contacto teniendo en cuenta no cambiar la configuración de la fuente.

La calibración de los equipos se realizó en uno de los perfiles centrales del área, colocando las bobinas receptoras perpendicularmente al perfil, separadas entre sí a 2 km aproximadamente, se ajustaron los potenciómetros para todas las frecuencias de trabajo, de forma que en los galvanómetros R y  $\Delta\phi$ , se observaran valores no mayores de 1 % para R y de  $\pm 0.5$  % para  $\Delta\phi$ .

Las observaciones se realizaron colocando la bobina de medición en la estaca más cercana a la fuente siempre, a la auxiliar en la próxima estaca, realizando a lo largo del perfil, un control de la ganancia para garantizar la calidad de las mediciones. Concluido un perfil, se pasó al próximo manteniéndose la posición relativa de las bobinas.

En ocasiones, por gradientes horizontales bruscos de la componente horizontal del campo magnético, fue necesario realizar mediciones de detalle, cuando éstas no se iban fuera de la escala del equipo, acortando el paso de medición a 25 m, pero cuando las mediciones se iban fuera de escala, se realizaron particiones, éstas consisten en reducir a la mitad o a un cuarto la distancia de medición L, si el caso lo requería.

## Métodos de polarización inducida y ....

Posteriormente, se realizó el procedimiento de cálculo del valor de la distancia L, a partir de:

$$R(k, k+1) = R(k, k+0,5) \times R(k+0,5, k+1) \quad (5)$$

$$\Delta\phi(k, k+1) = \Delta\phi(k, k+0,5) \times \Delta\phi(k+0,5, k+1) \quad (6)$$

Donde:

R(k, k+0,5) y  $\Delta\phi(k+0,5, k+1)$ , son la relación de amplitudes y diferencia de fase para la primera mitad de L.

R(k+0,5, k+1) y  $\Delta\phi(k+0,5, k+1)$ , son la relación de amplitudes y diferencia de fase para la segunda mitad de L.

Se realizó un 10 % de mediciones de control que equivale a un 5 % más de lo proyectado, con el objetivo de evaluar la calidad de las mediciones mediante el cálculo del error medio cuadrático del levantamiento y comparación con el error permisible para este tipo de trabajos que es +10 %.

Las mediciones de campo hechas automáticamente con el SE-77 F, son afectadas por la fase del campo. Por ello, cuando el coseno de  $\Delta\phi$  es mayor que 100, es necesario corregir a R y  $\Delta\phi$ , de la forma siguiente:

$$R_{med} = R_0 / R_a \cos \Delta\phi = R' \quad (7)$$

$$\Delta\phi_{med} = \Delta\phi_a - \Delta\phi_0 \quad (8)$$

$R_a$  y  $\Delta\phi_a$  son la intensidad del campo y la fase en la bobina del asistente (punto k+1)

$R_0$  y  $\Delta\phi_0$ , son la intensidad del campo y fase en la bobina de medición (punto k).

Por lo que para  $\Delta\phi > 100$   $R_{verd} = R' \cos \Delta\phi$

Con estos valores del campo corregidos, se construyeron los mapas de gráficos de R y  $\Delta\phi$  a escala 1: 5000 para las diferentes frecuencias empleadas, utilizando como escala vertical 1cm = 10% para  $R_r$  con un fondo de 100 % y 1cm = 50 para  $\Delta\phi$ , por ser escalas representativas de los valores medidos, obteniéndose con ellos, una estructura del campo bien definidas.

Posteriormente, se procedió a la estimación gráfica del campo normal, según metodología de Alfonso Roche, 1978, y a partir de las tablas de corrección de  $R_r$  editadas por SCINTREX. La estimación de la  $\Delta\phi$  normal, se realizó de forma gráfica tomando nivel único para todo el perfil, en función del comportamiento de  $\Delta\phi$  para cada frecuencia en específico.

Posteriormente, con los valores normalizados medidos, se obtuvieron los valores de R y  $\Delta\phi$  reducidos mediante las expresiones:

$$R_r = R / R_n \quad (9)$$

$$\Delta\phi_r = \Delta\phi - \Delta\phi_n \quad (10)$$

donde:

$R_r$  y  $\Delta\phi_r$ , son la relación de amplitudes y diferencias de fase reducidos

R y  $\Delta\phi$  son la relación de amplitudes y diferencia de fase medidos

$R_n$  y  $\Delta\phi_n$  son la relación de amplitudes y diferencia de fase normales

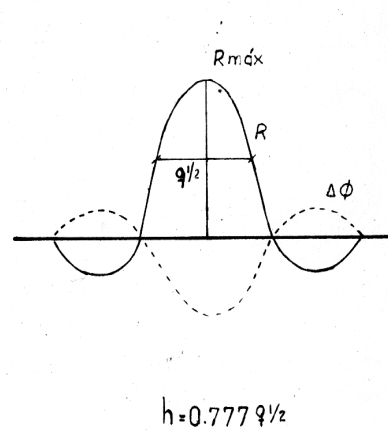
Con los valores de R y  $\Delta\phi$  reducidos fueron construidos dos mapas de gráficos a escala 1: 5 000 de estos parámetros sobre la base topográfica.

A partir de los mapas de gráficos descritos se procedió a interpretar cualitativa y cuantitativamente, correlacionando las anomalías por perfiles, definiendo así los ejes de las mismas. A partir de los parámetros reducidos se procedió a estimar la profundidad de los cuerpos mediante la expresión:

$$h = 0.777 q^{1/2} \quad (11)$$

donde:

h es la profundidad hasta el tope superior del conductor  
 $q^{1/2}$  es el ancho de la anomalía a la mitad de la amplitud



**Figura 2. Estimación de la profundidad a partir de valores de R y  $\Delta\phi$  por el método de TURAM**

La estimación de la calidad de los conductores se realizó utilizando el nomograma del manual del equipo electromagnético TURAM (figura 2), necesiándose como dato para la estimación de éstos los valores máximos de  $R_r$  y  $\Delta\phi_r$ , la longitud de la corriente y la frecuencia utilizada. Los valores de profundidad y calidad obtenidos por los métodos descritos, se relacionan en las tablas 1 y 2.

Para la interpretación cuantitativa de los parámetros de yacencia de los cuerpos, se procedió al cálculo de pseudocortes a partir de la siguiente metodología:

Se recalculó el comportamiento del campo en profundidad a partir de los valores de  $R_r$  y  $\Delta\phi_r$ , pues con los valores obtenidos para una distancia entre bobinas de medición igual a L, es posible obtener los valores de  $R_r$  y  $\Delta\phi_r$  que obtendríamos si utilizáramos una distancia entre bobinas de

## Métodos de polarización inducida y ....

medición NL donde  $N = 1, 2, 3, \dots, n$ , mediante las expresiones:

$$R(i+L) \quad (12)$$

$$\Delta\phi(i+L) \quad (13)$$

$$R(i, 2+L) \quad (14)$$

$$\Delta\phi(i, 2+L) \quad (15)$$

$R_i$  y  $\Delta\phi_i$ : son la relación de amplitudes y diferencia de fase en el primer punto del perfil

$R(i+L)$  y  $\Delta\phi(i+L)$ : son la relación de amplitudes y diferencia de fase en el segundo punto del perfil

$R(i, 2+L)$  y  $\Delta\phi(i, 2+L)$ : son la relación de amplitudes y diferencia de fase entre los dos puntos anteriores.

Este proceso es válido para cada NL tomado.

Con los datos obtenidos se construyeron los pseudocortes, escogiendo un perfil como representativo (perfil 18 (VII), para las fuentes y frecuencias trabajadas.

### RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos con el método de P.I., permitieron elaborar la siguiente tabla, adaptando los valores de las resistividades aparentes promedio, a las litologías de las formaciones presentes.

Se observan los valores bajos para la zona mineral masiva y diseminada, y no ofrecen un marcado contraste con las resistividades de las rocas de caja.

Con el método TURAM, se destacan las zonas con diferentes comportamientos del campo electromagnético.

**Tabla 1. Resistividades promedio de los paquetes de rocas del yacimiento, obtenidas por el método de Polarización Inducida en pozos.**

No.	Litología	Resistividad Aparente Promedio ( $\Omega \times m$ )
1.	Paquete superior: Areniscas con intercalaciones de aleurolitas, areniscas agrietadas con arcillas cuarcíferas y con intercalaciones de esquistos, arcillas y eluvios	270
2.	Zona mineral masiva	20
3.	Zona mineral diseminada	69
4.	Paquetes inferiores de areniscas	361
5.	Rocas de caja	107

### Conclusiones

1. El método TURAM es muy efectivo en la búsqueda de sulfuros que están representados en la superficie por sombreros de hierro o por cortezas de intemperismo, por cuanto, sobre ellas se obtienen anomalías de los parámetros  $R_r$  y  $\Delta\phi_r$ , intensas que manifiestan la presencia de mineralización. También se destaca su efectividad en la detección de los pequeños cuerpos ciegos que conforman el yacimiento, a pesar de estar cubiertos por rocas de poco contraste de resistividad con respecto a la mineralización.

2. Las rocas de caja del yacimiento en sentido general, presentan un bajo contraste con respecto a la mineralización masiva y diseminada, a pesar de ello, se definió la presencia de mineralización diseminada con anomalías típicas de cada una de las condiciones físicas y geológicas dentro del propio yacimiento, lo cual permite definir la efectividad del método TURAM en presencia de rocas de caja similares a las del yacimiento.

3. Las profundidades estimadas en sentido general, se corresponden con la mineralización detectada por las perforaciones de búsqueda, aunque es de señalar, que en ocasiones, así como profundidades estimadas son mayores producto de la canalización de la corriente.

4. De acuerdo a la forma de yacencia y morfología de los cuerpos minerales existentes en el yacimiento, es posible caracterizarlos con anomalías diferentes a cada cuerpo, según las tablas 1 y 2.

5. La red óptima de medición para detectar la mineralización en estas condiciones geológicas, es de  $100 \times 25$  y de  $100 \times 20$  m.

6. El tipo de fuente a emplear durante el avance de los trabajos deben ser las espiras de dimensión  $2 \times 1$  km, definiéndose ésta dimensión de acuerdo a las características del área investigada y de los objetivos geológicos buscados. Para los trabajos de detalle en perfiles, deben utilizarse fuentes puramente inductivas (espiras) de dimensiones  $400 \times 400$  m ó de  $200 \times 200$  m.

7. Las frecuencias utilizadas todas dieron buenos resultados, y se recomiendan emplearse todas en los trabajos de detalle, aunque las de 105 y 315 Hz fueron las que mejor información brindaron, presentando un menor grado de atenuación, representaron mejor al cuerpo mineral, y permiten estudiar mayor profundidad.

8. El método de P.I. es fundamental en cuanto a la delimitación de zonas perspectivas para la búsqueda de sulfuros, ya que responde muy bien a las zonas hidrotermalmente alteradas, lo cual permitió definir la presencia de mineralización con carácter industrial.

9. Con el método de P.I. se delimitó la zona hidrotermalmente alterada, y con el TURAM, se delimitó el área en que dicha mineralización es más masiva.

### BIBLIOGRAFÍA

## Métodos de polarización inducida y ....

1. Anísonov I., Nakarev K., Shullghenoov: Proyecto Técnico- económico para la exploración de minerales sólidos, 1971.
2. Castañeda J., Cervantes P., Ubiña J., Roche A.: Proyecto de los trabajos metodológicos para la puesta en marcha del nuevo equipamiento en técnicas electromagnéticas de Prospección en Pinar del Río, Cuba, 1981.
3. Fuentes F., María del C. Resultados de las aplicaciones de los métodos de SEV-PI en la parte oriental de Cuba, 1996.
4. Hudrell: Levantamiento magnético a escala 1:2000, 1930.
5. Vologdin, N. F.: Informe sobre los resultados de los trabajos de exploración Geológica Regional, Pinar del Río, 1961- 1963.