



## Caracterización Geo-eléctrica de la Corteza Laterítica del sector SY-1

Alfredo de Jesús. Hernández Ramsay, Geominera Oriente, Santiago de Cuba, aramsay@geominera.co.cu

Copyright 2008, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

*Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.*

### Resumen

Este trabajo expone los resultados de la aplicación del Sondeo Eléctrico Vertical de Polarización Inducida (SEV PI) en la Corteza de intemperismo ferro-niquelífera-cobaltífera (CIFNC) y su basamento, en el sector SY-1, del norte oriental de Cuba, con el interés de determinar su espesor para facilitar el cálculo de recursos.

### Introducción

El presente trabajo es el resultado de la introducción de los métodos geofísicos en la prospección y exploración de yacimientos minerales de Corteza de Intemperismo Ferro-Niquelífera-Cobaltífera (CIFNC) a partir del año 1996 en la región nor-oriental de Cuba.

De acuerdo con la tarea técnica a cumplir, los objetivos trazados son:

- Mapear el espesor de corteza de intemperismo y contribuir a la geometrización del yacimiento, para facilitar el cálculo de recursos.
- Monitorear las irregularidades del contacto entre corteza y basamento en el espacio entre los pozos perforados.

Este sector SY-1, fue el primero, donde de forma experimental se aplicó el SEV PI. Los trabajos se realizaron en el bloque 1062, perfil 10627, su resultados formaron parte del Informe Geológico aprobado en Enero del 2008.

### Breve descripción litológica de corteza de intemperismo ferro-niquelífera-cobaltífera del norte de Oriente de Cuba.

La corteza de intemperismo ferroniquelífera-cobaltífera de la parte nor-oriental de Cuba, según el Dr. Lavaut Copa W. Clasificador para Modelación Litológica de Lateritas, 2003, litológicamente están formadas por las zonas (capas u horizontes) siguientes:

1.-Zona de ocres inestructurales con concreciones ferruginosas o Ocres Inestructurales con Perdigonos (OICP).

2.-Zona de ocres inestructurales sin concreciones ferruginosas o Ocres Inestructurales sin Perdigonos (OISP).

3.-Zona de ocres estructurales finales o Ocres Estructurales Finales (OEF).

4.-Zona de ocres estructurales iniciales o Ocres Estructurales Iniciales (OEI) (Saprolita fina).

5.-Zona de rocas madres lixiviadas o Roca Madre Lixiviada (RML) (Saprolita gruesa).

6.-Zona de rocas madres agrietadas o Roca Madre Alterada (RMA) (Basamento)

### Metodología de los trabajos de campo. Elaboración y procesamiento de los datos

Durante las mediciones, fue utilizado el complejo Diapir, integrado por el transmisor Diapir-T y receptor Diapir-E, de fabricación húngara, con un motor generador "Honda" de fabricación japonesa, equipo que calcula directamente la cargabilidad ( $C_a$ ) y resistividad ( $\rho_a$ ) aparente, dado en  $mv/v$  y en  $\Omega$ -m respectivamente.

El azimut de la línea AB de alimentación o energización del terreno, fue la misma que la de los perfiles de medición y la de los pozos perforados, E-W. Se utilizó la variante de medición de pulsos cortos de 8 segundos de duración y de doble polaridad. Los electrodos de medición MN, fueron del tipo VIR, relleno con la solución sobre saturada de sulfato de cobre y los de corriente, de hierro, la cantidad de electrodos de alimentación AB estuvo en dependencia de la cantidad de corriente necesaria para energizar el terreno.

Generalmente la distancia entre SEV PI fue de 8.33 m aproximadamente, tratando de obtener 3 SEV PI entre pozos, (siendo la distancia entre pozos de 33.33 m) con el objetivo de lograr una detallada información del contacto entre corteza laterítica y el basamento. Este paso de medición es excelente, pero poco productivo, por el equipamiento utilizado, pues había que anotar los valores de  $\rho_a$ ,  $C_a$ , calcular el promedio de las tres lecturas y confeccionar las curvas a manos en el campo.

La elaboración y procesamiento de la información comenzó con;

- la introducción de los datos de los SEV PI a manos en la PC,
- la geo-referenciación de los SEV PI con las coordenadas del punto donde se midió.

A cada abertura se le calculo el Factor Metálico, posteriormente se creó una BD.

Para la interpretación de los SEV-PI, se construyeron las curvas de Resistividad ( $\rho_a$ ) y Cargabilidad ( $C_a$ ), Aparente y del Factor Metálico (**FM**). El método de interpretación utilizado fue el de los puntos característicos.

Con la interpretación del espesor de corteza, se confeccionó tabla; diferentes tipos de curvas; corte de Iso-ohm-mas ( $\rho_a$ ), Iso-anómalas ( $C_a$ ) y Geólogo-Geofísico, No se encontró diferencias significativas entre la interpretación del espesor de corteza, obtenidas con las curvas de los parámetros de  $\rho_a$  y  $C_a$ , y la del Factor Metálico.

## Resultados

### Resistividad Aparente ( $\rho_a$ ),

Según los valores de la resistividad aparente ( $\rho_a$ ), el 100% de los SEV-PI realizados presentan curva del tipo "Q" de tres ramas, donde  $\rho_{a1} > \rho_{a2} > \rho_{a3}$ , ver Fig. 1.

### Curva de tipo "Q"

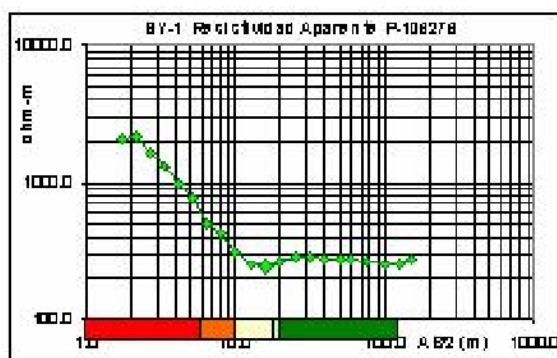


Fig. 1, Curva de Resistividad Aparente del tipo "Q",

La primera rama ( $\rho_{a1}$ ), superior, de la curva tipo "Q", la constituyen valores muy altos de  $\rho_a$  ( $>300 \Omega\text{-m}$ ), asociados geológica y espacialmente con zonas de cuarcificación (coraza de Fe), sílice y litológicamente, con los Ogres Inestructurales (**OI**) con y sin perdigones. El contacto entre los **OI** con y sin perdigón, así como entre los **OI** y los Ogres Estructurales Finales (**OEF**), se observa en las curvas de  $\rho_a$  con un cambio de la pendiente de la curva, una disminución de los valores o de la intensidad de la  $\rho_a$ .

En la Fig. 1, los Ogres Inestructurales con perdigón (**OICP**), son los de color rojo; los Ogres Inestructurales sin perdigón (**OISP**) son los de color anaranjado; los Ogres Estructurales Finales (**OEF**) son los de color amarillo; los Ogres Estructurales Iniciales (**OEI**), son los de color verde claro y el Basamento, es de color verde oscuro.

Los valores bajos y mínimos de la rama inferior se asocian geológica y espacialmente con roca muy alterada física y mecánicamente (rocas trituradas, fragmentadas, serpentinizadas), generalmente saturadas de agua.

Cortes geológicos, con este tipo de curva "Q", presentan un contacto entre corteza y basamento transicional. Según la experiencia acumulada en estos 10 años, es común la presencia en estos cortes, de zonas de sufusión, cavernas, etc, que se desarrollan de abajo hacia arriba, debido a la circulación de gran cantidad de agua en el contacto entre corteza y basamento.

En general estos valores bajos y mínimos, se asocian geológica y espacialmente con los **OEF** (zona laterítica), **OEI**, (zona de saprolita blanda), **RML**, **RMA** (zona saprolítica dura).

La baja Resistividad Aparente ( $\rho_a$ ), observada en general en la parte inferior del corte, debido al estado físico-mecánico de roca, causante de la existencia de las curvas de tipo "Q", no permite establecer con precisión y a priori, el contacto entre los ogres (zona laterítica) y el basamento (zona saprolítica), hay que auxiliarnos a priori de la interpretación de la curva de  $C_a$ . Esto corrobora las conclusiones arribadas por el Ing. Alfredo Apud y otros, en los años 70, cuando no obtuvieron buenos resultados aplicando SEV con el objetivo de mapear el espesor de corteza.

El contacto entre la corteza laterítica y las secuencias saprolítica, en este tipo de curva "Q", se localiza en el punto de valor anómalo, ubicado cerca del segmento donde se determinó el contacto con la curva de  $C_a$ .

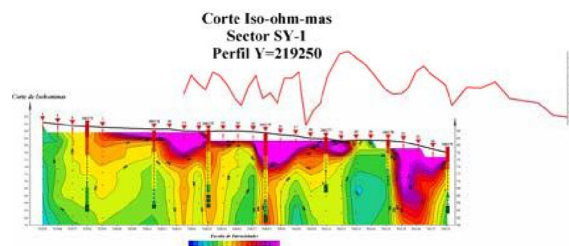


Fig. 2, Corte de Iso-ohm-mas,

El Corte de Iso-ohm-mas, de éste tipo de curva "Q", en el bloque 1062, perfil 10627, ver Fig. 2, presenta isóclinas alargadas en la dirección vertical, las cuales evidencia la presencia de una alta variabilidad de la  $\rho_a$  en la dirección horizontal, de tal forma que al graficar los valores de la  $\rho_a$ , la curva tuviera la forma de un serrucho, revelando la existencia de discontinuidades geo-eléctricas a todo lo largo de corte, asociadas geológica y espacialmente con fisuras y zonas de poca consolidación de las rocas, Los valores mínimos de la  $\rho_a$  en los pozos 74; 78; 79, revelan la existencia en esos puntos, de zonas poca consolidación en la corteza y en el basamento, zona de gran fracturación, etc.

### Cargabilidad Aparente (Ca)

Los valores de la cargabilidad aparente (**Ca**) forman curvas de dos tipos; Curvas del tipo “H”, que abarcan el 68 %, son las que más abundan y curvas del tipo “A” que constituye el 32 % del total.

#### Curva de tipo “H”

Las curvas del tipo “H”; están constituidas por tres ramas, que reflejan la existencia de tres medios geoelectricamente bien diferenciados, donde se cumple que,  $C_{a1} > C_{a2} < C_{a3}$ , ver Fig. 3.

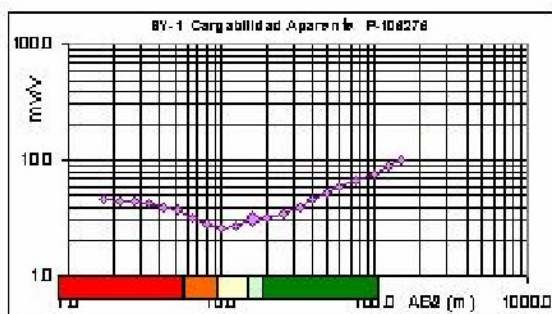


Fig. 3, Curva de Cargabilidad Aparente (**Ca**) de tipo “H”

La primera rama, superior,  $C_{a1}$ , presenta valores altos localizados espacialmente y geológicamente sobre las zonas de cuarcificación, sílice y los Ogres Inestructurales (OI) en general, debido a la existencia de Oxi-hidróxido de Fe (perdigones), los cuales se polarizan y a la vez ofrecen una alta resistencia al paso de la corriente por el medio, la intensidad del campo depende de la abundancia y diseminación de ellos y de la forma en que están interconectados, así como de la presencia de agua. En algunas ocasiones, ha sido posible separar los OICP de los OISP, en este caso, esta primera rama presenta un punto de inflexión de ligero, separando el comienzo de los OISP y el final de los OICP, ver Fig. 3.

En la rama intermedia,  $C_{a2}$ , de la curva, se observan los valores más bajos, posiblemente, revelando la abundancia de material arcilloso y la homogeneidad del tamaño de los granos o cristales de minerales que constituyen la capa. Es una generalidad que sobre los Ogres Estructurales Finales (OEF), se observen los valores mínimos y más bajos de la **Ca**.

En la tercera y última rama,  $C_{a3}$ , rama inferior, los valores de **Ca** vuelven a ser altos y se asocian geológica y espacialmente con zonas de cuarcificación, sílice, de gran variedad y heterogeneidad de tamaño de los granos de los diferentes minerales, del grado de alteración: fracturación, serpentinización de las rocas del basamento.

Esta última rama esta formada por dos sub-ramas de diferente pendiente, una, más suave que la otra, La sub-

rama de pendiente suave, generalmente coincide geológica y espacialmente con las litologías 4 (OEI) y 5 (RML), secuencias saprolíticas blandas y duras respectivamente, mientras que el de pendiente más brusca se asociaba espacial y geológicamente con las litologías 17, 47, roca dura.

El contacto entre la corteza laterítica y la secuencias saprolítica, en este tipo de curva “H”, se localiza en el punto ubicado entre el primer punto donde empieza a incrementarse los valores y el anterior punto.

La presencia de curvas del tipo “H” en un corte, nos revela la presencia de corte completo con todas las litologías: Secuencias lateríticas: Ogres Inestructural con Perdigosones (litología 1); Ogres Inestructural sin Perdigosones (litología 2); Ogres Estructural Final (litología 3); Secuencias Saprolíticas: Ogres Estructural Inicial (litología 4); Serpentinita Lixiviada (litología 5); Roca Madre: Serpentinita Agrietada (litología 17, 47, etc);

#### Curva de tipo “A”

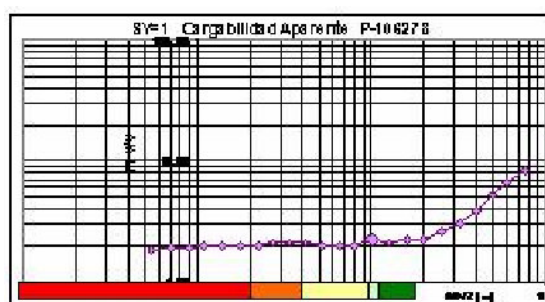


Fig. 4, Curva de Cargabilidad Aparente (**Ca**) de tipo “A”

En las curvas del tipo “A”, También se observan tres ramas y los valores de **Ca** cumplen la siguiente ecuación  $C_{a1} < C_{a2} < C_{a3}$ , formando una curva ascendente, diferenciándose una rama de la otra por cambio de la pendiente de la curva, relacionada proporcionalmente con el estado físico-mecánico de las rocas en el corte, cumpliéndose que a mayor pendiente de la curva, el material rocoso es más compacto y menos alterado físico y mecánicamente, ver Fig. 4.

En la curva tipo “A”, los valores de la Cargabilidad Aparente (**Ca**) de la primera rama, se asocian geológica y espacialmente, con una pequeña potencia de los Ogres Inestructurales (OICP y OISP), generalmente, menor de 5.00 m.

La segunda rama coincide con los Ogres Estructural Final y la tercera y última rama, con los Ogres Estructurales Iniciales (OEI) saprolita blanda; Roca Madre Lixiviada (RML) y Roca Madre Alterada (RMA), saprofitas duras, debido a la gran heterogeneidad y diversidad de tamaño de los fragmentos de rocas y minerales en la Corteza de Intemperismo Ferro-niquelífera-Cobaltífera, los cuales provocan incremento de La Cargabilidad Aparente (**Ca**),



posiblemente debido al fenómeno de la polarización de membrana.

El contacto entre la corteza laterítica y la secuencias saprolítica, en este tipo curva "A", se localiza en el punto ubicado entre el primer punto donde cambia la pendiente y el punto anterior.

El Corte de Iso-anómalas, en el bloque 1062, perfil 10627 del sector SY-1, esta compuesto por curvas del tipo "H" y "A", , ver Fig. 5, presenta isolíneas paralelas alargadas en la dirección horizontal en forma de pliegues, las cuales evidencia la presencia de capas litológicas, sobre yaciendo una con respecto a la otras.

En general los valores más altos de la Ca, se localizan en la base del corte, ver Fig. 5, (zona de color anaranjado) asociados geológica y espacialmente con las Secuencias Saprolíticas: Ocre Estructural Inicial (litología 4); Serpentina Lixiviada (litología 5); Roca Madre: Serpentina Agrietada (litología 17, 47, etc).

También aparecen valores altos en la parte superior del corte (zonas de color rojo), ver Fig. 5, de forma más discontinua, revelando la presencia de los OI, los cuales no son continuos en toda la parte superior del perfil.

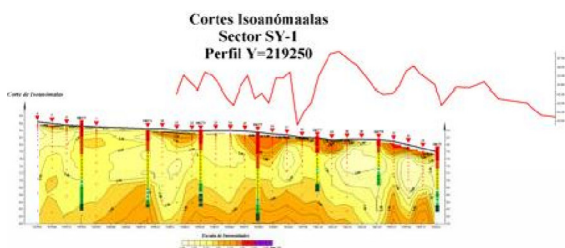


Fig. 5, Corte de Isoanómalas de Cargabilidad Aparente (Ca) ”

La zona amarilla, en el centro del corte, corresponde con los valores bajos de Ca, los cuales se asocian espacialmente con los OEF.

**Factor Metálico (FM).**

Todos los valores del FM del 100 % de los SEV PI realizados, en este perfil, forman curvas del tipo "A",

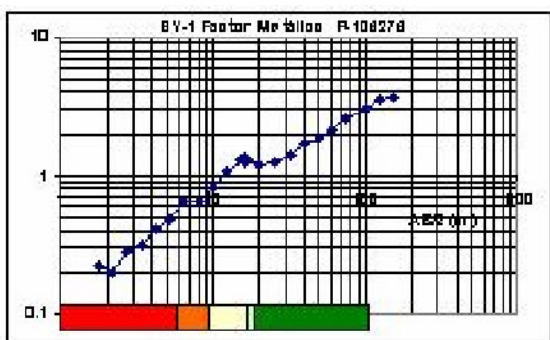


Fig. 6, Curva de Factor Metálico (FM) de tipo "A"

La correlación de estos valores con la geología depende de los valores de  $\rho_a$  y Ca y fueron expuestos anteriormente.

Por lo general el contacto entre la corteza laterítica y la secuencias saprolítica, se determina en éste parámetro de FM, se ubica en un punto que incrementa su valor y se diferencia del resto formando una discordancia, cambiando bruscamente la pendiente de la curva.

Como resumen podemos plasmar que en general los valores más altos se localizan en la tercera y última rama asociados geológica y espacialmente a la Saprolita blanda y dura.

El Corte de los valores del FM, en el bloque 1062, perfil 10627 del sector SY-1, esta compuesto por curvas del tipo "A", , ver Fig. 7, presenta isolíneas paralelas alargadas en la dirección horizontal en forma de pliegues más acentuados que en el corte de isoanómalas..

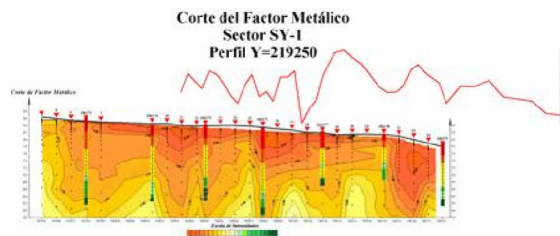


Fig. 7, Corte del Factor Metálico (FM)

**Interpretación conjunta**

Con los resultados de la interpretación del espesor de corteza, se confeccionó un corte de Fig. 8.

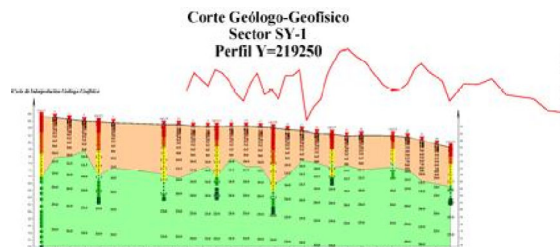


Fig. 8, Corte Geológico-Geofísico



Fig. 9,

En los diferentes cortes mostrados, aparecen los pozos perforado en el perfil de estudio, con el código de litología perforado en cada pozo, el cual puede consultarse en la Fig. 9, aparecen también, los números de los pozos y los SEV PI, la curva del campo magnético medida en un tramo del perfil y los valores de AB/2 en m.

#### Evaluación del poder resolutivo del método

Para la evaluación del poder resolutivo del método, se correlacionaron los valores del espesor de corteza obtenidos con la perforación y el que se determinaron con los SEV PI.

La diferencia promedio entre el espesor de corteza determinado con los SEV PI con respecto a los obtenidos por los pozos perforados es de 0.5 metros.

Eso quiere decir que los SEV PI dieron menos potencia de corteza que la perforación o que detectan más arriba el contacto entre corteza y basamento que los pozos.

#### Conclusiones:

1. Se logró mapear el espesor de corteza de intemperismo
2. Se logró monitorear las irregularidades del contacto entre corteza y basamento en el espacio entre los pozos perforador
3. Según la diferencia promedio entre el espesor determinado con los SEV PI y los obtenidos con los pozos perforados; El método posee buen poder resolutivo para cumplimentar: La Tarea Geológica.
4. Según los valores de la resistividad aparente ( $\rho_a$ ), la existencia de curva del tipo "Q" nos revela la existencia de un corte geológico con gran potencia de Ogres Inestructurales (OI) con y sin perdigón (concreciones), asociados a los valores más altos. Mientras que los valores bajos y mínimos de la rama inferior indican la presencia de una roca muy alterada física y mecánicamente (Rocas trituradas, fragmentadas, etc.), indicando la presencia de agua y de un contacto entre corteza y basamento transicional, según la experiencia acumulada en estos 10 años, es común la presencia en estos cortes, de zonas de sufusión, cavernas, etc., en general estos valores bajos y mínimos, se asocian geológica y espacialmente con los OEI, RML, RMA, por tal razón **no** se puede establecer el contacto entre los ogres y el basamento etc., utilizando solamente esta curva.
5. El 68 % de las curvas de Ca son del tipo "H", indicando la presencia de todas las litologías (OICP; OISP; OEF; OEI; RML, RMA) en el corte, correspondiendo los valores altos de la primera rama a los OI, mientras que a los OEF se asocian los valores más bajos de la curva. La última rama de la

curva, donde los valores vuelven hacer altos se asocian geológica y espacialmente con los OEI y la RML, RMA. El 32 % de las curvas de Ca son del tipo "A", las cuales indican un corte con potencia de OI menor de 5 m o nula.

#### Recomendaciones:

1. Dado el buen poder resolutivo del método, recomendamos : Aplicar los SEV PI como método de avance, pero con equipo más productivo, en los trabajos de Prospección y Exploración de Corteza de Intemperismo Ferro-niquelífera Cobaltífera , con el objetivo de discriminar áreas de poca potencias y oriental a la perforación
2. Ejecutar los trabajos con un equipo de medición de SEV PI, que utilice Transmisor y motor generador, con el objetivo de garantizar una buena energización al terreno, que garantice la polarización de todos los minerales y rocas y capaz de guardar los datos de geo-referenciación, geológicos, etc., así como las mediciones en memoria y graficar las curvas de resistividad y cargabilidad aparente en el campo.

#### Agradecimientos

Al Dios trino, sea la Gloria, la Honra y la Alabanzas por los siglos, de los siglos, Amén

#### Referencias

- Lavaut Copa W. Clasificador para Modelación Litológica de Lateritas, (en Prensa), 2003
- Rodríguez Crombet Ramona Características petrológica y geoquímica macizo Moa-Baracoa.
- Milovski A. V. y Kónonov O. V. Mineralogía, Editorial Mir Moscú 1988.
- Alonso Hernández Hugo, Petrofísica, Editorial Pueblo y Educación, Editorial Científico Técnica 1978

