



Minería y Geología

E-ISSN: 1993-8012

revistamg@ismm.edu.cu

Instituto Superior Minero Metalúrgico de

Moa 'Dr Antonio Nuñez Jiménez'

Cuba

García-Gutiérrez, José Antonio; Sacasas-León, Carlos
Modelos de resistividad eléctrica en formaciones geológicas del sur de Cuba occidental
Minería y Geología, vol. 33, núm. 2, abril-junio, 2017, pp. 1-16
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa 'Dr Antonio Nuñez Jiménez'
Holguín, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223550960001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Modelos de resistividad eléctrica en formaciones geológicas del sur de Cuba occidental

José Antonio García-Gutiérrez
Carlos Sacasas-León

Resumen

El propósito de este estudio fue desarrollar modelos de resistividad eléctrica en las formaciones geológicas de mayor interés para los estudios ingeniero-geológicos en la parte sur de Cuba occidental. Para ello se elaboró un procedimiento de generalización de información geoeléctrica de archivo, cuyo resultado final fueron los referidos modelos geoeléctricos. Se registraron 48 obras, con 895 sondeos eléctricos verticales, de ellos 317 (35,4 %) situados junto a perforaciones (paramétricos). Se definieron tres modelos para la formación Paso Real y uno para Capdevila, las más distribuidas en la región de estudio. Los mayores valores promedio de resistividad eléctrica lo poseen las arenas cuarzosas superficiales del municipio Sandino ($1\,241\ \Omega\cdot m$), mientras que en el horizonte inferior no exceden de $86\ \Omega\cdot m$, debido al aumento del grado de humedad y del contenido de arcilla de las rocas. Con base en los modelos se analizó la efectividad del método de resistividad eléctrica para resolver tareas básicas de los estudios ingeniero-geológicos. La evaluación del espesor de los suelos arcillo-arenosos de cubierta fue favorable en ambas formaciones geológicas, mientras que la determinación de la profundidad del nivel freático fue desfavorable. Las restantes tareas varían entre relativamente favorable y desfavorable según la formación geológica.

Palabras clave: modelación geofísica; resistividad eléctrica; sondeo eléctrico vertical (SEV); cuenca Los Palacios.

Electrical resistivity models in geological formations in southern of the east of Cuba

Abstract

The purpose of this study is to develop electrical resistivity models in geological formations of greater interest for geological engineering in the southern area of the East of Cuba. A procedure for the generalization of the geo-electrical database was prepared to generate the referred geo-electrical models. A total of 38 works with 895 vertical electrical surveys, of which 317 (35.4%) located near (parametrical) drills. Three models for the Paso Real formation and one for the Capdevila, the most distributed in the region under investigation were defined. The surface quartz sands from the municipality of Sandino were identified to have higher electrical resistivity averages ($1241 \Omega \bullet m$), while they do not exceed $86 \Omega \bullet m$ in the lower horizons to resolve basic tasks of the geological engineering investigations. The assessment of the cover clayey sandy soils was satisfactory in both geological formations while the determination of the water table depth was unfavorable. The remaining tasks varied between relatively favorable to unfavorable according to the geological formations.

Keywords: geophysical modeling; electrical resistivity; vertical electrical survey (VEF); Los Palacios basin.

1. INTRODUCCIÓN

La realización en Cuba de mediciones geoeléctricas aplicadas a la hidrogeología y la ingeniería geológica se inicia a mediados de la década de los sesenta del siglo XX, con la llegada de asesores de la entonces Unión Soviética y otros países para apoyar los planes de desarrollo económico del país. La acumulación en archivos técnicos de varias entidades de una cantidad apreciable de información relacionada con este método geofísico, constituye un verdadero *archivo geoeléctrico* del territorio nacional. Solo en la dependencia provincial de Pinar del Río de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) se dispone en la actualidad de más de 1 500 puntos de sondeo eléctrico vertical (SEV) y varias decenas de imágenes eléctricas 2D, ubicados en diferentes formaciones geológicas.

La conservación y aprovechamiento de la información geofísica de archivo, basado en el amplio uso de las tecnologías de información, es una práctica común en los países más desarrollados en las geociencias (Tulstrup 2004; USGS 2016), lo que también se conoce como Informática Geofísica (*Geophysical Informatics*) (Peng *et al.* 2015).

En Cuba, el análisis sistemático de la información geológico-geofísica de archivo es una práctica común en la prospección petrolera y minera, donde se realiza una evaluación integral de los materiales anteriores antes de emprender nuevas campañas geofísicas y de perforación de pozos, por demás muy costosas. Sin embargo, como evidencia la experiencia del autor y la búsqueda realizada en distintas fuentes de información, esto no se cumple de la misma forma en la llamada geofísica ingenieril o superficial.

El primer antecedente de sistematización de cortes geoeléctricos en Cuba corresponde al geofísico soviético Kuba (1973), quien estableció una relación de cortes característicos en diferentes regiones de Cuba donde están presentes las rocas calizas, y su significación para la búsqueda de reservas de agua explotable.

En años posteriores, durante los levantamientos geológicos y de búsqueda de minerales sólidos a escalas 1:50 000 y 1:100 000, llevados a cabo en diferentes polígonos del país, incluyendo las partes central y meridional de la antigua provincia de Pinar del Río (Martínez, Fernández De Lara & Peláez 1988; Barrios *et al.* 1988), se obtuvieron valores estadísticos de la resistividad eléctrica de las rocas de las principales formaciones geológicas, a partir de mediciones de SEV y, sobre todo, de mediciones de pozo.

Un aporte a la generalización de resultados de la aplicación del método de SEV en la ingeniería geológica la presenta García (1996) que tomando como base los resultados del empleo del SEV en las investigaciones de 10

complejos hidráulicos en la zona premontañosa de la provincia de Pinar del Río, destaca los cortes geoeléctricos característicos, con una tabla resumen comparativa sobre las posibilidades de este método en la solución de diferentes tareas ingeniero-geológicas. Más tarde, este autor llevó a cabo otro trabajo similar para las rocas serpentinizadas de dicha provincia (García 2011).

Una modalidad desarrollada en los últimos años por autores cubanos y angolanos consiste en la reutilización de materiales geoeléctricos de archivo para desarrollar nuevas aplicaciones. En un primer ejemplo, a partir de sondeos eléctricos verticales ejecutados en la provincia de Luanda, República de Angola, se implementó en plataforma SIG (Sistema de Información Geográfica) una base de datos integral y un catálogo de curvas de SEV, que permitió establecer las áreas más favorables para la prospección eléctrica de aguas subterráneas en dicha provincia (Fundora, Catanha & Alaminos 2011). También en Luanda, Pereira de Barros *et al.* 2015 utilizaron curvas de SEV medidas para estudios hidrogeológicos para determinar parámetros geotécnicos del suelo.

En el campo de las aplicaciones a la hidrogeología, se destaca la contribución de Vidal-Méndez 2008, quien propone una expresión para calcular la conductividad hidráulica media de un acuífero en función de la resistividad eléctrica media de las rocas saturadas, obtenida mediante sondeos eléctricos verticales.

Las curvas de SEV realizadas con diferentes objetivos se han empleado también para la elaboración de mapas regionales de resistividad (o conductividad) eléctrica (Bashkuev *et al.* 2008; García & Sacasas 2016).

En la investigación que sirve de base al presente artículo, la vía seleccionada de generalización de materiales de archivo consistió en la elaboración de modelos de resistividad eléctrica en las principales formaciones geológicas de la región de estudio. Al mismo tiempo, se propuso mostrar su aplicación para analizar la efectividad del método de resistividad eléctrica en la solución de tareas de ingeniería geológica, como determinar el espesor y composición de los suelos de cubierta, espesor de las rocas meteorizadas, profundidad del nivel freático y otras en las formaciones estudiadas.

Debe señalarse que los referidos modelos de resistividad eléctrica superan en alcance las caracterizaciones por la resistividad eléctrica de formaciones geológicas individuales, al incorporar la dimensión de profundidad. Por otra parte, guardan relación con los modelos clásicos empleados en la solución

de las tareas directa e inversa de la prospección eléctrica con corriente continua (Keller & Frischknecht 1966; Orellana 1982).

La región de estudio se enmarca en la denominada Cuenca Los Palacios, la cual se extiende al sur de la Cordillera de Guaniguanico, separadas ambas por la falla Pinar (Figura 1).

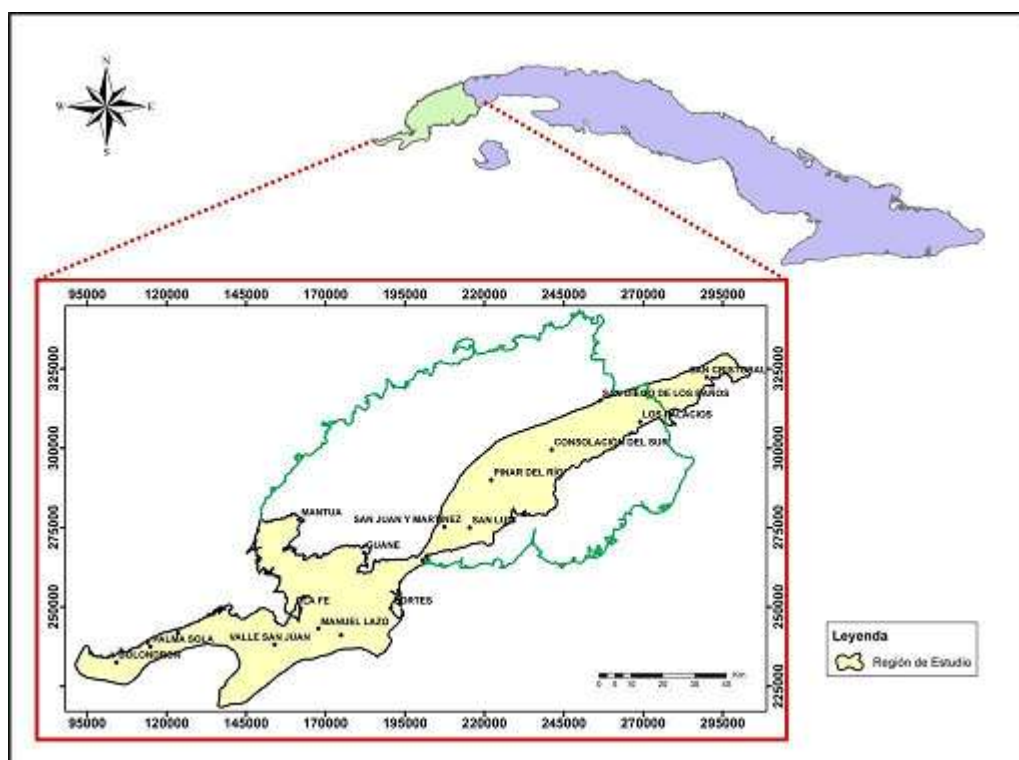


Figura 1. Situación de la región de estudio.

En dicha cuenca, sobre un basamento ofiolítico, yacen secuencias sedimentarias que abarcan desde el Cretácico Inferior hasta el Cuaternario Reciente, incluyendo en la parte superior los sedimentos de las formaciones geológicas Capdevila, Paso Real y Guane, que constituyen los de mayor interés para el presente trabajo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología elaborada para la generalización de la información geoelectrónica de archivo constó de tres etapas, cuyas tareas y resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Procedimiento de generalización de información geoelectrica

ETAPA	TAREAS	RESULTADOS
Búsqueda de información	Inventario y georreferenciación de obras con geofísica Recopilación de datos geológicos del área de estudio	Base de datos de obras Formaciones geológicas presentes
Análisis y elaboración	Evaluación de calidad de la información primaria Selección, georreferenciación y reinterpretación de SEV paramétricos Elaboración de cortes geoelectricos generalizados (CGG) por obra Obtención de resistividad eléctrica de suelos y rocas en SEV paramétricos	Base de datos de SEV paramétricos Base de datos de CGC Tablas de resistividad eléctrica de suelos y rocas
Generalización	Selección de escenarios geológicos por formación Selección de SEV paramétricos implicados Cálculo de valores promedio de resistividad y profundidad de cada capa y rangos de variación Representación final	Modelos de resistividad eléctrica de la región de estudio

En la etapa de búsqueda se registraron 48 obras donde se aplicó geofísica, con 895 puntos de sondeo eléctrico vertical, de los cuales 317 (35,4 %) están situados junto a perforaciones (paramétricos), lo que permite calibrar el corte geoelectrico con el litológico (Figura 2).

Por último, se pasó a la elaboración de los modelos de resistividad eléctrica, los que constituyen el resultado final del proceso de generalización de la información geoelectrica de una región. Representan un esquema sintetizado e integrador del comportamiento de la resistividad eléctrica, hasta la profundidad máxima alcanzada, en zonas determinadas. Para su definición se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- a) Formación geológica principal implicada.
- b) Condiciones de yacencia de las rocas primarias: descubiertas o cubiertas por sedimentos más jóvenes de diferente génesis.

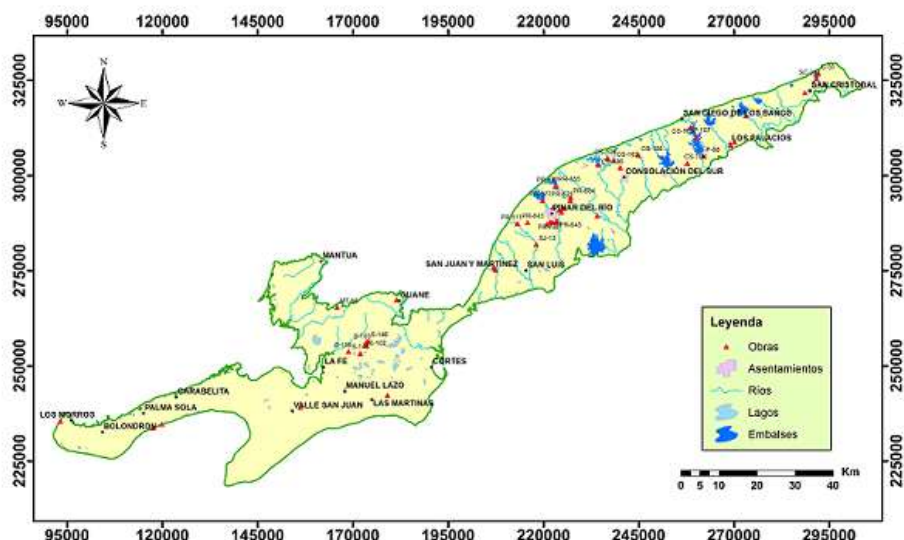


Figura 2. Ubicación de las obras con geofísica en la región de estudio.

El procedimiento utilizado para la elaboración de los modelos de resistividad eléctrica se inició con la identificación del escenario geológico-geofísico a modelar, pasando posteriormente a la selección de los CGG que lo caracterizan (Tabla 2).

Tabla 2. Cortes geoelectricos generalizados utilizados en la elaboración de los modelos de resistividad eléctrica

Modelo	Formación geológica principal y condiciones de cubierta	Cortes geoelectricos generalizados utilizados
I	Paso Real cubierta por suelos indiferenciados de Fm. Guane y Guevara	S146-CGG2-15m; S102-CGG-25m; S103-CGG-15m; S146-CGG1-15m
II	Paso Real cubierta por suelos de Fm. Guane	MT56-CGG-40m; PR464-CGG-25m ; PR786-CGG-25m; PR645-CGG-10m; PR711-CGG-20m; PR625-CGG-25m; PR684-CGG-25m; CS108-CGG-25m; P114-CGG-25m; P103-CGG-25m; SC152-CGG-50m; SC278-CGG-25m
III	Paso Real cubierta por suelos aluviales	SJ13-CGG-40m; PR588-CGG-25m; P88-CGG-25m; CS109-CGG-50m; CS162-CGG1-25m; SC281-CGG-50m;
IV	Capdevila cubierta por suelos de Fm. Guane o aluviales	SJ126-CGG-25m; PR677-CGG-50m; PR587-CGG-35m; PR555-CGG-35m; CS196-CGG-50m; CS198-CGG-50m

Seguidamente, se determinaron los valores promedio de las resistividades eléctricas y profundidades de cada capa geoelectrica del modelo, así como

el rango de variación para un nivel de confianza de 95 %. Cada capa se acompaña de una breve descripción litológica, grado de saturación de los suelos y estado de conservación de las rocas.

El total de modelos desarrollados para la región de estudio fue de cuatro, de los cuales tres correspondieron a la formación Paso Real y uno a Capdevila, las más ampliamente distribuidas. La base geológica empleada fue el mapa geológico a escala 1:100 000 del Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico Nacional (IGP-SGN 2005).

En la Figura 3 se muestran ejemplos de curvas de SEV de cada uno de los modelos definidos.

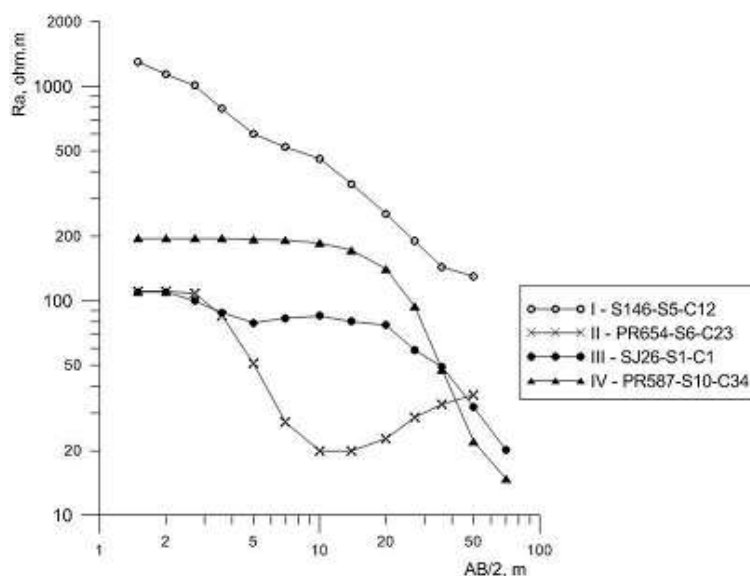


Figura 3. Curvas de SEV de cada uno de los modelos

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los modelos o patrones de resistividad eléctrica definidos para caracterizar las principales formaciones geológicas de la región.

3.1. Complejo terrígeno-calcareo del Neógeno (formación Paso Real)

Estas rocas presentan una amplia distribución en la región de estudio, con afloramientos en la zona premontañosa y borde septentrional de la llanura sur, y cubiertas por suelos de diferente génesis en distintas zonas del territorio.

I. Formación Paso Real cubierta por suelos indiferenciados de las formaciones Guane y Guevara

En este modelo resulta un elemento característico la presencia de una fina capa de arenas cuarzosas muy resistivas en la parte superior, subyacidas por arenas arcillosas de humedad variable con la profundidad, hasta cortar

el horizonte miocénico representado por la formación Paso Real (Figura 4). Este corte geoelectrico se encuentra en áreas del municipio Sandino, extremo occidental de la región.

Se expresa por las siguientes particularidades:

- La capa arenosa superficial está definida por una elevada resistividad eléctrica (1241 $\Omega \cdot m$ como promedio).
- Las resistividades eléctricas promedio de 232 y 76 $\Omega \cdot m$, respectivamente, de las capas intermedias, están condicionadas, principalmente, por el aumento del grado de saturación de los suelos arcillo-arenosos con la profundidad.
- La capa inferior del corte, asociada a la presencia de sedimentos de la formación Paso Real, se mapea con seguridad en el corte geoelectrico por su baja resistividad eléctrica promedio (19 $\Omega \cdot m$), constituyendo un horizonte de apoyo confiable en la zona.
- Los contrastes de resistividad entre capas son significativos (2,5-6), lo que favorece su diferenciación geoelectrica.

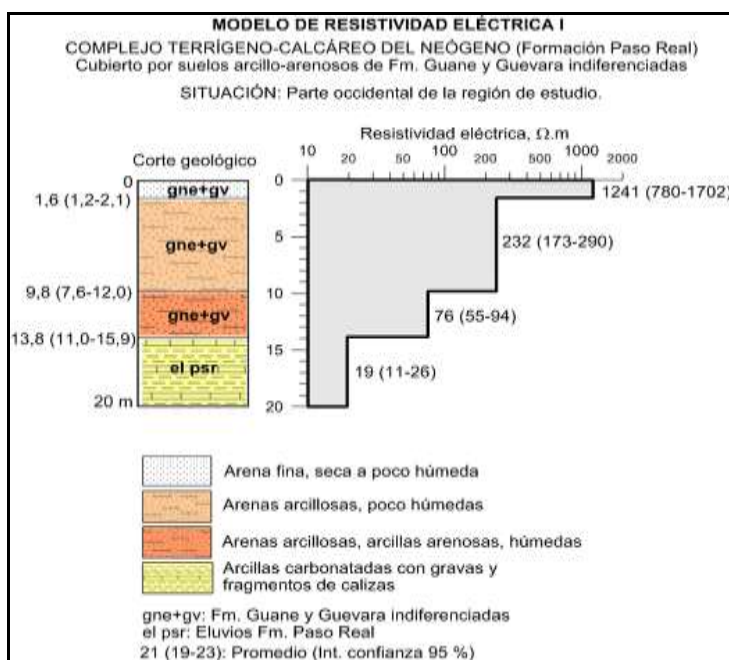


Figura 4. Modelo de resistividad eléctrica para la Formación Paso Real cubierta por suelos indiferenciados de las formaciones Guane y Guevara.

II. Formación Paso Real cubierta por suelos de la formación Guane

Este modelo geoelectrico es el de mayor distribución y significación en aplicaciones ingenieras en la región de estudio, ocupando áreas extensas de relieve llano a poco ondulado. Los suelos gravoso-areno-arcillosos de la

formación Guane, constituyen con frecuencia los depósitos de cubierta (Figura 5).

Sus principales características son las siguientes:

- La capa superior del corte geoelectrico, asociada a los suelos de cubierta, se define por una resistividad eléctrica promedio de 162 $\Omega \cdot m$.
- La resistividad eléctrica promedio de la capa intermedia es de 21 $\Omega \cdot m$, asociada, como en casos anteriores, a los eluvios-rocas intemperizadas de la formación Paso Real.
- El horizonte inferior posee una resistividad eléctrica promedio de 86 $\Omega \cdot m$ y caracteriza el horizonte rocoso más conservado, con variaciones en su resistividad en dependencia del predominio de la fracción arcillosa o calcárea en su composición.
- Las relaciones de resistividad promedio entre las capas (4,1 a 7,7) son favorables para su diferenciación por este parámetro físico.

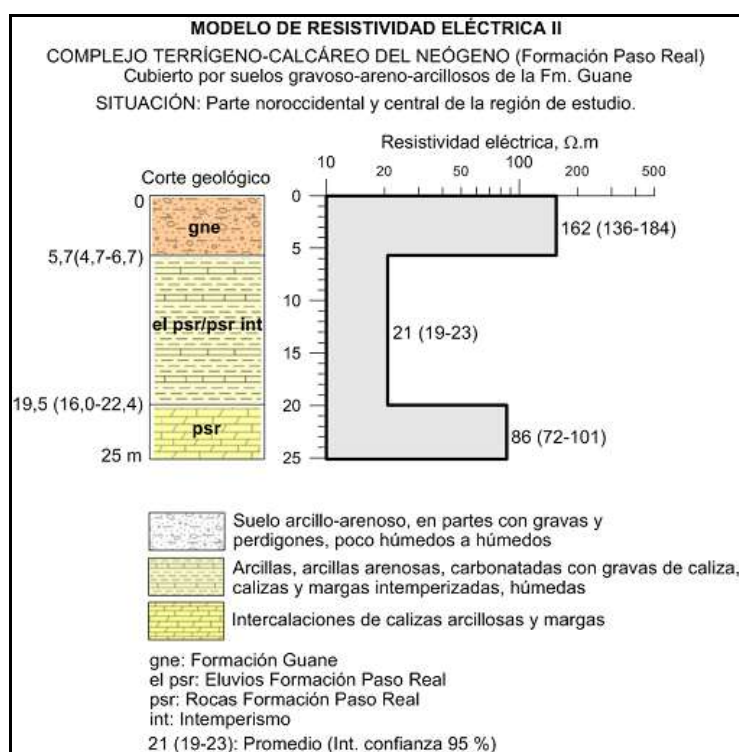


Figura 5. Modelo de resistividad eléctrica para sedimentos de la formación Paso Real cubiertos por suelos de la formación Guane.

III. Formación Paso Real cubierta por suelos aluviales

Este modelo de resistividad eléctrica se define por la presencia de un espesor de suelos aluviales recubriendo los depósitos miocénicos, siendo característico para las zonas del cauce y primer nivel de terraza de las

corrientes fluviales que atraviesan la región de estudio (Figura 6). Un rasgo característico de estas zonas es la variabilidad de las condiciones geólogo-geoeléctricas, como resultado de la complejidad del ambiente de deposición de los sedimentos.

Sus principales características son las siguientes:

- La capa superior representa la cubierta de suelos arcillo-arenosos aluviales, con una resistividad eléctrica promedio de $60 \Omega \cdot m$.
- La segunda capa geoeléctrica corresponde a los eluvios-rocas intemperizadas de la formación Paso Real, caracterizados por una resistividad eléctrica promedio de $23 \Omega \cdot m$.
- El horizonte inferior, con una resistividad eléctrica promedio de $62 \Omega \cdot m$, se asocia con las rocas primarias más conservadas.
- Los contrastes de resistividad entre las capas del modelo son relativamente bajos (2,6-2,7), aunque suficientes para garantizar su separación por este parámetro físico.

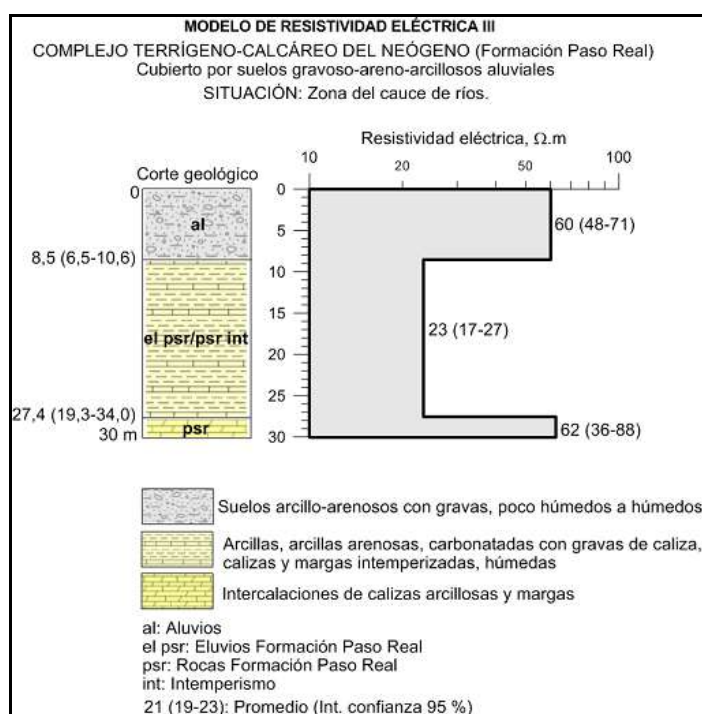


Figura 6. Modelo de resistividad eléctrica para sedimentos de la Formación Paso Real cubiertos por suelos aluviales.

3.2. Complejo terrígeno-calcáreo del Paleógeno (formación Capdevila)

Los depósitos paleogénicos, representados mayoritariamente por la formación Capdevila, ocupan una extensa faja en la zona premontañosa situada al sur de la falla Pinar, donde han recibido la preferencia de

proyectistas hidráulicos para la construcción de embalses por las características onduladas del relieve y relativamente baja permeabilidad de suelos y rocas.

IV. Formación Capdevila cubierta por suelos de la formación Guane o aluvios

Esta situación corresponde al caso cuando los depósitos paleogénicos están cubiertos por suelos gravoso-areno-arcillosos, frecuentemente plioceno-pleistocénicos (formación Guane) o aluviales recientes (Figura 7).

El modelo presenta los siguientes rasgos distintivos:

- Los mayores valores de resistividad eléctrica (hasta varios cientos de $\Omega \cdot m$) corresponden a los suelos de cubierta, mientras que los sedimentos paleogénicos presentan, al igual que en el caso anterior, muy baja resistividad (menos de $25 \Omega \cdot m$).
- El horizonte geoelectrico inferior que define las rocas paleogénicas, difícilmente diferenciables en cuanto a su grado de meteorización, posee una resistividad eléctrica promedio de $20 \Omega \cdot m$, con sectores aislados más arenosos donde aumenta hasta $48-76 \Omega \cdot m$.
- El contraste de resistividad entre capas es amplio, alcanzando hasta 13,7 entre los valores promedio.

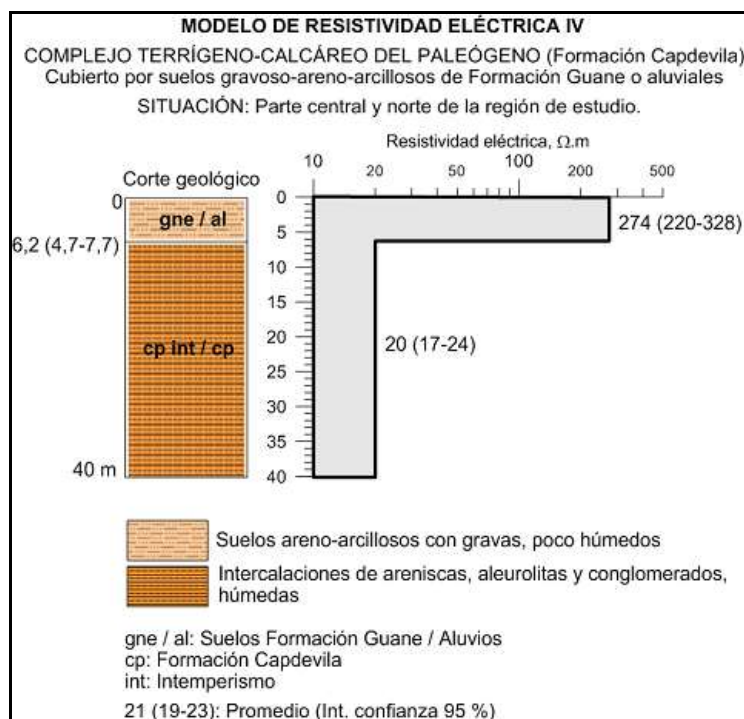


Figura 7. Modelo de resistividad eléctrica para sedimentos paleogénicos cubiertos por suelos gravoso-areno-arcillosos.

4. DISCUSIÓN

Con base en los cuatro modelos de resistividad eléctrica descritos, se pueden resumir las particularidades generales que caracterizan el corte geoelectrico en la parte superior de la región de estudio, hasta una profundidad de 20-40 m:

- Los mayores valores promedio de resistividad eléctrica están presentes en la capa superior de los modelos. En el caso de las arenas cuarzosas superficiales del municipio Sandino, la resistividad eléctrica promedio alcanza valores extremos de $1241 \Omega \cdot m$, mientras que para los suelos areno-arcillosos que recubren ambas formaciones, los valores son de 60 a $274 \Omega \cdot m$.
- Los valores de resistividad eléctrica del horizonte inferior no exceden de $86 \Omega \cdot m$, lo que se explica por el aumento del grado de humedad con la profundidad y, sobre todo, por la presencia de material arcilloso en la composición litológica de las diferentes formaciones geológicas del territorio.

4.1. Efectividad de la resistividad eléctrica en la ingeniería geológica

A partir de los modelos de resistividad eléctrica, se han evaluado las potencialidades de este método en la solución de diferentes tareas básicas en los estudios ingeniero-geológicos (Tabla 3). Se han definido tres categorías de aplicabilidad:

- **Favorable:** La tarea se resuelve en la gran mayoría de los casos ($>90 \%$): Relación de resistividades eléctricas promedio favorable (>3); espesor de capa relativo a su profundidad >1 .
- **Relativamente favorable:** La solución de la tarea depende fuertemente de las condiciones locales.
- **Desfavorable:** La tarea no se resuelve en la mayoría de los casos ($<50 \%$): Relación de resistividades eléctricas promedio baja (<3); espesor de capa relativo a su profundidad cercano a 1.

Tabla 3. Potencialidades de la resistividad eléctrica en la ingeniería geológica

Tarea ingeniero-geológica	Modelos empleados	Relación de resistividades	Espesor relativo de capa	Grado de aplicación
FORMACIÓN PASO REAL				
Espesor de suelos arcillo-arenosos de cubierta	I, II, III	2,6-7,7	>1	Favorable
Espesor de suelos arenosos superficiales	I	5,3	>1	Favorable
Diferenciación de suelos arcillo-arenosos	I, II, III	1-3,1	0,4	Relativamente favorable
Espesor de suelos eluviales	I, II, III	$\cong 1$	-	Desfavorable
Espesor de rocas intemperizadas	II, III	2,7-4,1	>1	Relativamente favorable
Profundidad del nivel freático	II, III	$\cong 1$	-	Desfavorable
FORMACIÓN CAPDEVILA				
Espesor de suelos arcillo-arenosos de cubierta	IV	13,7	>1	Favorable
Espesor de rocas intemperizadas	IV	$\cong 1$	-	Desfavorable
Profundidad del nivel freático	IV	$\cong 1$	-	Desfavorable

Según la tabla, la evaluación del espesor de los suelos arcillo-arenosos de cubierta fue favorable en ambas formaciones, mientras que la determinación de la profundidad del nivel freático fue desfavorable. Las restantes tareas variaron entre relativamente favorable y desfavorable según la formación geológica.

5. CONCLUSIONES

- El procedimiento metodológico desarrollado para la gestión de información geoelectrica consta de tres etapas, cuyas salidas principales sintetizan las condiciones geoelectricas de la parte superior del corte. El mismo puede ser extendido a otras regiones que cuenten con información geoelectrica disponible.
- Las particularidades del corte geoelectrico superficial (hasta 20-40 m) de la región de estudio han sido generalizadas en cuatro modelos de

resistividad eléctrica, de los cuales tres corresponden a la formación Paso Real y uno a Capdevila. Según los mismos, es destacable la disminución de la resistividad eléctrica con la profundidad en gran parte de la región.

6. REFERENCIAS

- BARRIOS, E.; MARRERO, J.; PORTUONDO, A.; NUÑEZ, R. & PLACERES, R. 1988: Levantamiento geológico a escala 1:100 000 y búsqueda acompañante Pinar Sur. Informe ONRM, La Habana, Cuba, 297 p.
- BASHKUEV, Y. B.; ADVOKATOV, V. R.; ANGARKHAEVA, L. K.; DORZHIEV, V. S. & HAYAKAWA, M. 2008: Maps of geoelectric sections of Turkey, Iran, Afghanistan, Pakistan, Korea and Japan. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8(4): 861-868.
- FUNDORA, M. J.; CATANHA, M. & ALAMINOS, C. 2011: Plataforma SIG: Geoelectricidad en la prospección de aguas subterráneas. Caso de estudio: Luanda. En: VI Congreso Cubano de Geofísica. Memorias [CD-ROM], La Habana.
- GARCÍA, J. A. 1996: Análisis de la efectividad del método de sondeo eléctrico vertical en investigaciones ingeniero-geológicas de obras hidráulicas en la zona premontañosa de la provincia de Pinar del Río. En: III Simposio Cubano de Geofísica. La Habana.
- GARCÍA, J. A. 2011: Efectividad del método de sondeo eléctrico vertical en estudios ingeniero-geológicos en rocas serpentinizadas de la provincia de Pinar del Río, Cuba. En: VI Congreso Cubano de Geofísica. Memorias [CD-ROM], La Habana.
- GARCÍA, J. A. & SACASAS, C. 2016: Mapas regionales de resistividad eléctrica en un sector al sur de Cuba occidental. *Ciencias de la Tierra y el Espacio* 17(1): 71-80.
- IGP-SGN 2005: Mapa geológico de Cuba a escala 1:100 000 (versión digital). Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico Nacional, La Habana, Cuba.
- KELLER, G. V. & FRISCHKNECHT, F. C. 1966: *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press, New York.
- KUBA, A. 1973: Utilización de la exploración eléctrica para la búsqueda e investigación de las aguas subterráneas. *Serie Geofísica* No. 10. Academia de Ciencias de Cuba. 18 p.
- MARTÍNEZ, D.; FERNÁNDEZ DE LARA, R. & PELÁEZ, R. 1988: Informe sobre los trabajos del levantamiento geológico y búsqueda a escala 1:50 000 en la parte central de la provincia de Pinar del Río. Emp. de Geología de Pinar del Río, Minbas, 959 p.

- ORELLANA, E. 1982: *Prospección geoelectrica en corriente continua*. Paraninfo, Madrid, 578 p.
- PENG, F.; PENG, L.; ZHANG, J.; XUE, G.; MA, M. & ZHANG, Y. 2015: From Geophysical Data to Geophysical Informatics. *Data Science Journal* 14: 13. Consulta: 9 nov 2016. Disponible en: <http://doi.org/10.5334/dsj-2015-013>.
- PEREIRA DE BARROS-DA SILVA, M. A.; FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, H. M.; PEREIRA TEIXEIRA-PIRES & PÉREZ-LAZO, J. 2015: Obtención de parámetros geotécnicos de la ciudad de Luanda a partir de sondeos eléctricos verticales. *Minería y Geología* 31(2): 48-65.
- TULSTRUP, J. 2004: Environmental data and the Internet: openness and digital data management. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin* 4: 45-48.
- U.S.G.S. 2016: USGS Data management. Sitio web del Servicio Geológico de Estados Unidos de América. Consulta: 11 nov 2016. Disponible en: <http://www2.usgs.gov/datamanagement/index.php>.
- VIDAL-MÉNDEZ, E. 2008: Cálculo de la conductividad hidráulica de los acuíferos a partir de la resistividad eléctrica. *Minería y Geología* 24(2).
- Informes del archivo ENIA Pinar del Río utilizados (código y año): S-185 (1995); S-120 (1984); MT-56 (1988); S-156 (1988); S-146 (1987); S-102 (1981); S-103 (1981); S-146 (1987); S-143 (1987); G-73 (1989); SJ-26 (1983); SJ-50 (1988); PR-511 (1984); PR-843 (1990); SJ-13 (1978); PR-677 (1987); PR-464 (1982); PR-654 (1987); PR-732 (1988); PR-344 (1980); PR-587 (1985); PR-555 (1984); PR-786 (1989); PR-645 (1987); PR-711 (1988); PR-653 (1987); PR-419 (1981); PR-625 (1986); PR-684 (1987); PR-588 (1986); CS-196 (1988); CS-198 (1988); CS-162 (1986); CS-146 (1985); CS-186 (1988); CS-108 (1982); P-107 (1986); CS-109 (1982); P-88 (1982); P-114 (1987); P-103 (1986); SC-152 (1982); SC-278 (1993); SC-281 (1990); C-55 (1987); SC-167 (1983).

José Antonio García-Gutiérrez, jagarcia@eniapr.co.cu

Máster en Gestión Ambiental. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas
Profesor Asistente, Dpto. de Geología, Univ. de Pinar del Río, Cuba

Carlos Sacasas-León, cs1@civil.cujae.edu.cu

Doctor en Ciencias Geológicas. Profesor Titular. Departamento de Geociencias
Universidad Tecnológica de La Habana J. A. Echevarría, Cuba