

EL USO DEL GEOIDE PARA DETERMINAR CARACTERÍSTICAS CORTICALES DE UNA CUENCA SEDIMENTARIA

Antonio Introcaso (1) – Francisco Ruiz (2)

(1) Instituto de Física Rosario (UNR-CONICET) – Av. Pellegrini 250, 2000 Rosario, ARGENTINA, geofisic@fceia.unr.edu.ar

(2) Instituto Geofísico y Sismológico "F. Volponi" (UNSJ) – San Juan, ARGENTINA, frui@unsj-cuim.edu.ar

RESUMEN

A partir de la era satelital y con la rápida y precisa multiplicación de los datos de gravedad observados, la construcción del geoide y la interpretación de sus deformaciones ha tomado renovado interés.

Esta contribución destaca la gran importancia que tiene hoy la utilización del geoide para lograr: a) la obtención del modelo desde las ondulaciones filtradas de efectos no deseados, y b) la posibilidad de validación del modelo obtenido con gravimetría tradicional.

Un ejemplo correspondiente a una profunda cuenca sedimentaria argentina destaca la importancia de este enfoque. Trabajaremos con una carta sobre el continente que prolongaremos en la plataforma continental, utilizando tanto un modelo global del geoide como el método de fuentes equivalentes. Asumiremos un modelo cortical distensivo compensado para estudiar el balance de masas y finalmente definiremos predictivamente las isóbatas de basamento.

ABSTRACT

Since the possibility of using satellites for quick and accurate measurements, and the multiplication of observed gravity observations, geoid charts and interpretation of deformations had become more significative.

This work underlies the importance of using geoid undulations to: a) obtain a model by filtering undesirable effects; and b) validate a traditional gravimetric model.

An example corresponding to a deep sedimentary basin of Argentina points out the importance of this focal point. We work with a continental chart that we continue to the continental shelf using both a geoid global model and an equivalent sources method. We assume a distensive compensated crustal model to study the masses balance and to define basement isobaths in a predictive way.

INTRODUCCIÓN

La superficie física de la Tierra, el geoide, ha sido definida por las aguas medias de los mares en equilibrio prolongada por debajo de los continentes. Ella no ha perdido vigencia, por el contrario, desde el advenimiento de los satélites artificiales, ha tomado renovado interés.

El geoide, tanto en continentes como en océanos y mares, constituye: a) el sistema de referencia natural para las alturas (y profundidades), y b) una herramienta eficaz y moderna para definir las estructuras geológicas a partir de la inversión de sus ondulaciones (Introcaso, 1999).

Él queda caracterizado por la bien conocida expresión del potencial W con:

$$W = G \iiint \frac{\sigma}{r} dV + \frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2) \quad (1)$$

siendo G : constante de gravitación universal; σ : densidad; dV : volumen elemental; r : distancia desde la masa $m = \sigma dV$ al punto potenciado; ω : velocidad angular de la Tierra. W se acomoda a las distintas reparticiones de masas con referencia a una superficie regular de nivel (en general, un elipsoide de revolución) de potencial V .

En general las ondulaciones N respecto de la superficie de referencia, se obtienen desde la expresión de Bruns (1878)

$$N = \frac{W - V}{g} = \frac{T}{g} \quad (2)$$

con T : potencial perturbador y g : gravedad (= 980 Gals), W y V han sido ya definidos.

El método tradicional calcula N en base a las anomalías de gravedad de aire libre (o, mejor aún, de Faye).

El geoide N involucra anomalías de larga longitud de onda N_{LLO} (de 2000 a 4000 km...); de longitud de onda intermedia N_{LOI} (de 500 a 2000 km.); de longitud de onda corta N_{LOC} (de 100 a 500 km) y de longitud de onda ultracorta N_{LOUC} , vinculada con la topografía. Así:

$$N = N_{LLO} + N_{LOI} + N_{LOC} + N_{LOUC} \quad (3)$$

Con el fin de optimizar los cálculos, se suelen definir las ondulaciones de distinta longitud de onda individualmente y luego se suman para obtener la ondulación total N .

Nosotros trabajaremos en esta comunicación con longitudes de onda corta N_{LOC} , extraídas del geoide para la provincia de Buenos Aires (Perdomo- Del Cogliano, 1999). Además, para nuestro ejemplo de la profunda cuenca de Claromecó utilizaremos el modelo global EGM96, conjuntamente con el método de fuentes equivalentes (Guspí et al., 2004) para completar la carta extendida a la plataforma continental.

Como método de validación hemos trabajado con la técnica de fuentes equivalentes (véase Introcaso-Crovetto-Introcaso, 2005, éste Congreso). Finalmente hemos encontrado que un modelo cortical obtenido por inversión de las anomalías de Bouguer, es insuficiente para evaluar las características del total de la corteza. Agregando la inversión del potencial perturbador T (o de $N = T/g$) el modelo incorpora una antirraíz compensadora localizada en la corteza inferior. Así, el modelo cortical distensivo adoptado, compensado isostáticamente en el sistema de Airy, exhibe más de 14 km de sedimentos paleozoicos y justifica consistentemente la doble inversión (de gravedad y de potencial).

APLICACIÓN DE LAS DEFORMACIONES DEL GEOIDE AL ESTUDIO DE UNA PROFUNDA CUENCA SEDIMENTARIA

Nuestro propósito es demostrar que la incorporación de las ondulaciones del geoide de corta longitud de onda (N_{LOC}) al modelo gravimétrico tradicional, enriquece significativamente la interpretación. Tomaremos para ello la singular cuenca sedimentaria de Claromecó (Prov. De Buenos Aires- Argentina).

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

La cuenca de Claromecó es conocida también como cuenca interserrana bonaerense o cuenca paleozoica de la Provincia de Buenos Aires. La cuenca es asimétrica con rumbo NW-SE (Figuras 1 y 2). Ella abarca un área de unos 40000 km cuadrados (Pucci, 1995). Está ubicada entre Tandilia y Ventania con límites imprecisos (Figura 1 a y b) y topografía baja (Figura 3 a). Se ha argüido que la placa patagónica se acercó al cratón brasileiro (Fig. 2 a y b) hasta terminar anexándose (Figura 2c), y formando en esa dinámica la cuenca de Claromecó (Ramos, 1984). Es necesario señalar su vinculación con la zona sudafricana. En efecto, la cuenca carbonífera-permiana de Claromecó (en Argentina) y la cuenca de Karoo (en Sudáfrica) presentan estratigrafías y asimetrías similares. Tanckard et al. (1995) consignan para la cuenca sudafricana unos 16 km de máxima potencia sedimentaria. Esto predice, para nuestra cuenca en Argentina, un significativo espesor sedimentario.

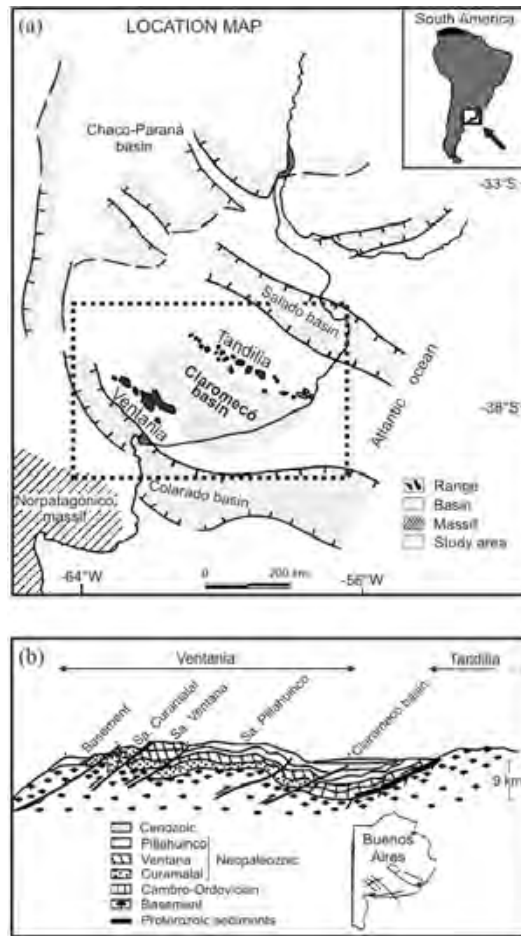


Fig. 1. Mapa de ubicación. (a) Mapa geológico y ubicación del área de estudio (modificado de Limarino et al., 1999); (b) sección transversal esquemática de la cuenca de Claromecó (Pucci, 1995).

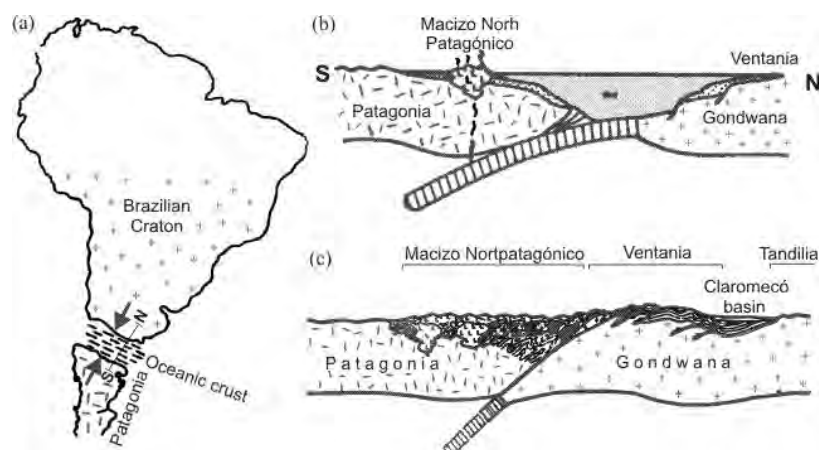


Fig. 2. Aproximación de Patagonia al cratón Brasileiro. (a) Planta; (b) sección transversal, la corteza oceánica de Gondwana está siendo subductada; (c) sección transversal esquemática, a la izquierda: Patagonia, a la derecha: Gondwana con el sistema de Ventania, cuenca de Claromecó y sierras de Tandilia. Modificado de Ramos (1984).

DATOS BÁSICOS UTILIZADOS

Tomamos como carta base a los contornos del geoide para la provincia de Buenos Aires, publicados por Perdomo-Del Cogliano (1999), Figura 4. Esta carta señala claramente, mediante flechas, dos tendencias positivas: sobre la cuenca del Salado S y sobre Tandilia T, y una tendencia negativa sobre la cuenca de Claromecó C, que aquí estudiaremos. Estas últimas ondulaciones se interrumpen al llegar al borde continental, aunque insinúan nítidamente la continuidad de la cuenca. También las cartas 3B y 3C confirman su extensión sobre la plataforma continental. Utilizando el modelo global EGM96 y el método de fuentes equivalentes, usando en él como señal de entrada los valores de la carta de Figura 3C, fue posible prolongar las ondulaciones de C (Figura 4) sobre la plataforma continental. La Figura 5A exhibe la carta que ha sido completada. En ella se observa claramente la cuenca en estudio atravesando el borde continental de la provincia de Buenos Aires.

Luego, debido a que la carta de N (ecuación 3) contiene longitudes de onda corta (N_{LOC}) que son las únicas que nos interesan, y longitudes de onda ($N_{LOL} + N_{LOI} + N_{LUC}$) no deseadas, fue necesario aplicar un filtro (función polinómica de segundo grado; Figura 5B) a la carta de Figura 5A, para finalmente obtener en Figura 5C la carta residual o N_{LOC} que contiene las longitudes de onda de unos 200 km que están estrechamente vinculadas con la porción cortical marcada por la cuenca. Esta es, precisamente, la carta que debemos interpretar.

EL MODELO CORTICAL

Con el fin de asumir un modelo cortical inicial analizamos: a) el espesor cortical por debajo de la cuenca, b) las densidades, principalmente las de corteza superior (sedimentos, basamentos); asumiendo las restantes (corteza inferior, manto superior); y c) el balance isostático. Luego ajustamos este modelo cortical por doble inversión (de gravedad y potencial).

a) El espesor cortical. El fue estudiado analizando el contenido espectral tanto de las anomalías de Bouguer como de las anomalías del campo magnético total. El estudio se realizó en dos secciones: una de ancho regional (500 km) y otra de ancho compatible con la cuenca (200 km). Obtuvimos así, para el análisis regional, un espesor de 35 ± 2 km y para el estudio restringido a la cuenca: 30 ± 2 km.

Inferimos así que el espesor "normal" es de 35 km, y que existe una atenuación cortical por debajo de la cuenca que, en principio y tentativamente, asumimos como de unos 5 km. Valor que luego, ajustado, disminuye al 70%.

b) Densidades asumidas. En base a los numerosos estudios anteriores, que incluyen nuestros propios estudios (Introcaso, 1982), disponemos de los siguientes contrastes de densidades:

Densidad diferencial sedimento-basamento: $-0,1 \text{ g/cm}^3$

Densidad diferencial manto superior-corteza inferior: $+ 0,4 \text{ g/cm}^3$

c) Estado isostático. Para caracterizar el estado isostático de la cuenca y atendiendo a antecedentes geológicos (extensión cortical), asumimos un modelo de corteza distensiva compensada isostáticamente en el sistema de Airy (Figura 6A). Aplicando a las anomalías de Bouguer (Figura 3 B) las correcciones derivadas del modelo asumido, las anomalías isostáticas obtenidas son prácticamente cero, señalando el excelente balance de masas.

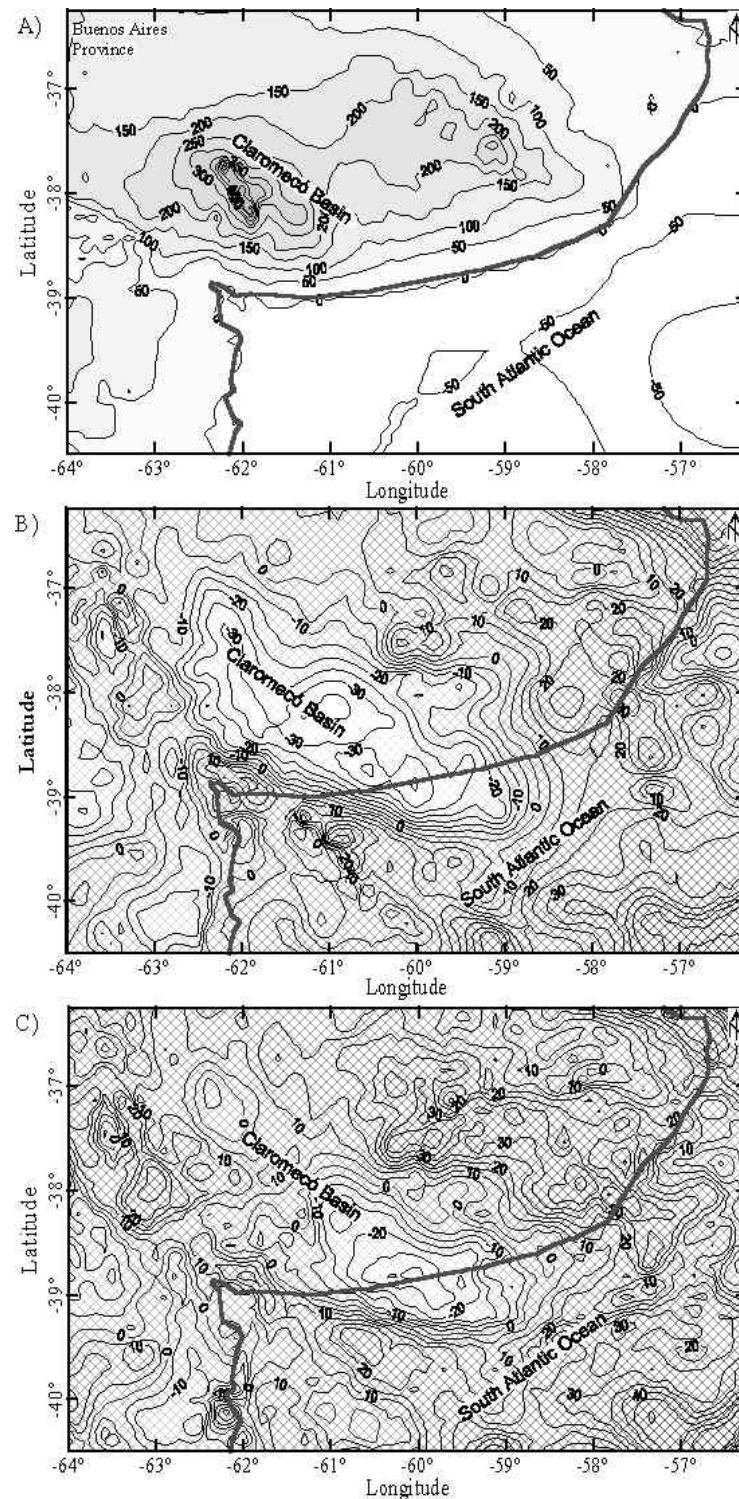


Fig. 3A) Mapa de topografía; B) Mapa de anomalías de Bouguer; C) Mapa de anomalías de aire libre en la cuenca de Claromecó (provincia de Buenos Aires, Argentina). Datos del Instituto de Física Rosario, de la Universidad de La Plata, de la Universidad de Buenos Aires y de la Universidad de Leeds (la distribución de mediciones de gravedad presenta grandes gaps).

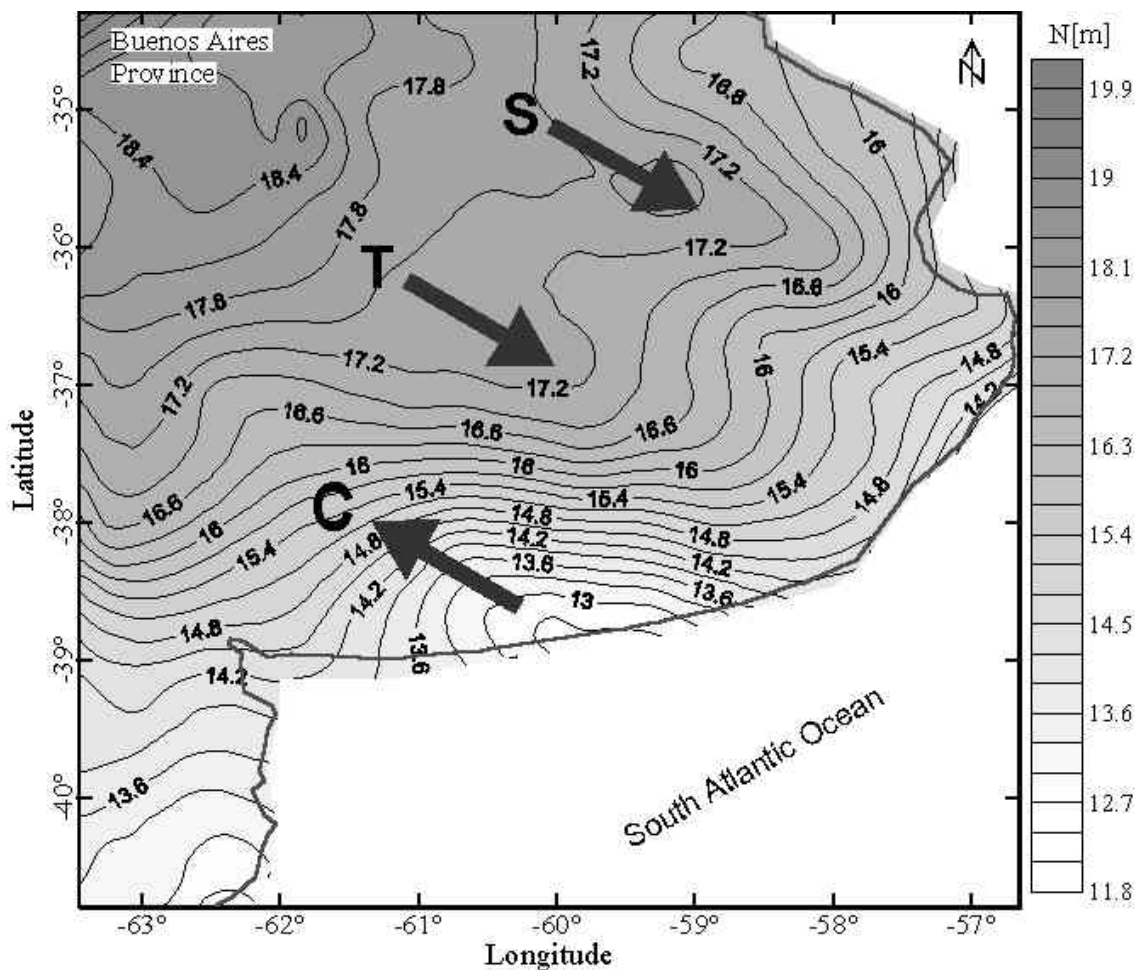


Fig. 4. Mapa de ondulaciones del geoide N_{obs} ($N_{obs} = h - H$ en la tierra) publicado por Perdomo y Del Cogliano (1999). Las flechas identifican la tendencia a la deformación del mapa de contornos del geoide. S (Salado) y T (Tandilla) presentan la inclinación NW-SE, y por el contrario C (Claromecó) tiene tendencia SE a NW.

VALIDACIÓN DEL MODELO. OBTENCIÓN DE LAS ISÓBATAS DE BASAMENTO.

Si nuestro modelo inicial es consistente, deberá – salvo pequeños ajustes – responder a la doble inversión (de gravedad y de potencial) o lo que es lo mismo, deberá proporcionar las ondulaciones residuales de Figura 5C. Ello ha sido bien comprobado partiendo del modelo cortical de Figura 6A.

Al certificar la compensación isostática es posible trabajar con expresiones planas simplificadas (Haxby-Turcotte, 1978) que proporcionan los contornos isostáticos N_i en función de la profundidad h_i de la cuenca, o lo que es lo mismo, h_i en función de N_i (Figura 6B). Así, desde Figura 5C y utilizando la gráfica de Figura 6b, obtuvimos la carta de isóbatas de basamento de Figura 6C. El N_i del modelo de comparación iguala a la ondulación residual observada. Así: $N_i = N_{CLO}$.

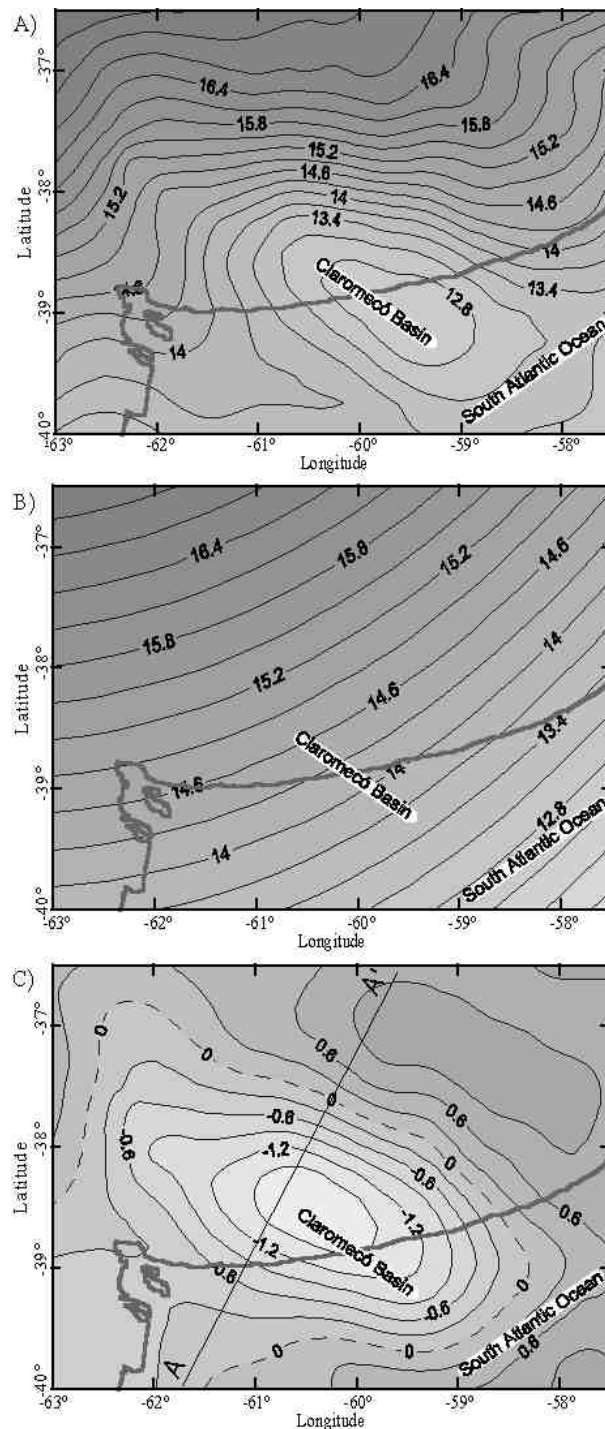
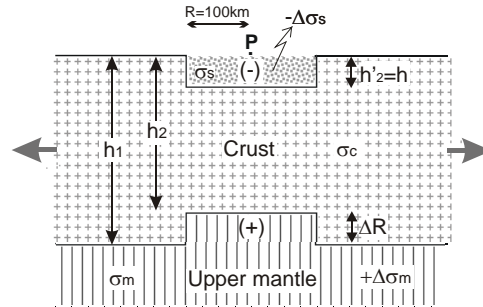
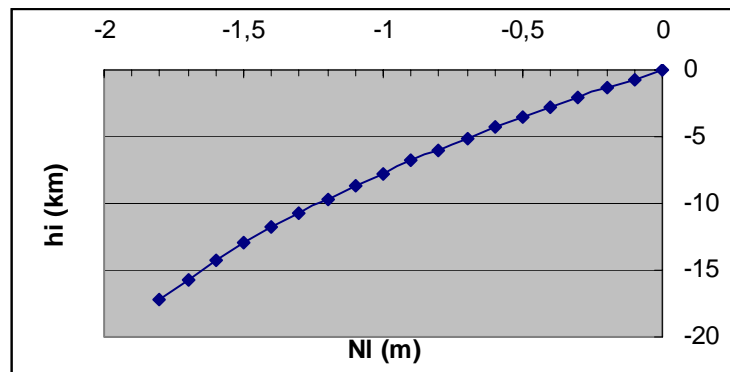


Fig. 5. (A) N_{obs} (Perdomo y Del Cogliano, 1999) extendido hacia el mar con el modelo EGM96 (Lemoine et al., 1998) y corregido por efectos topográfico-isostáticos de las sierras de Tandilla y Ventania; (B) filtro regional obtenido por regresión polinómica; (C) ondulación del geoide residual N en metros en la cuenca de Claromecó y las sierras de Tandilla, obtenidas a partir de $C = A - B$. AA' sección transversal modelada en Fig. 6C.

A)



B)



C)

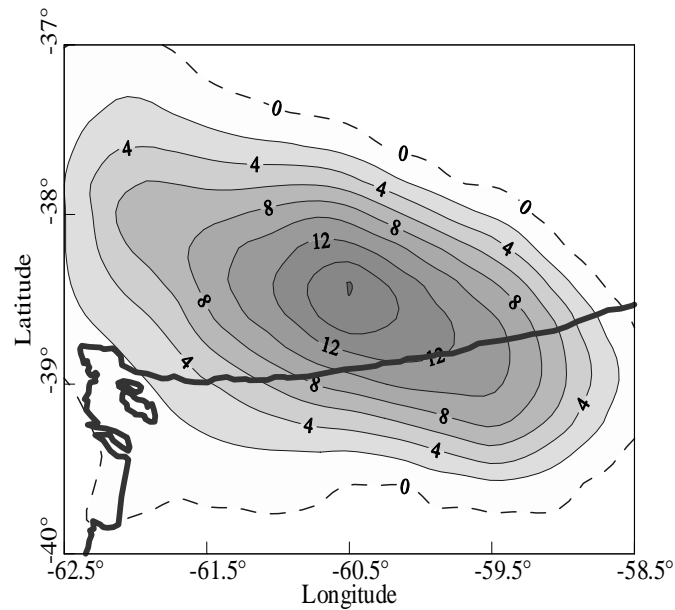


Fig. 6. (A) Modelo de corteza asumido para calcular ondulaciones del geoide NI en P , debido a una cuenca sedimentaria cilíndrica (arriba) y una antirraíz que balancea exactamente el relleno de la cuenca (abajo). (B) Expresión cuadrática hi versus NI y NI versus hi para una cuenca sedimentaria isostáticamente compensada, con hi : cubierta sedimentaria en km, $\Delta\sigma_s = -0.1 \text{ g/cm}^3$ y $\Delta\sigma_m = 0.4 \text{ g/cm}^3$. (C) espesor sedimentario de una cuenca isostáticamente compensada obtenido de NI (Fig. 5C) mediante una expresión cuadrática.

CONCLUSIONES

El estudio de la cuenca sedimentaria de Claromecó destaca la importancia de utilizar a las ondulaciones del geoide, en longitudes de onda compatibles con el ancho de la cuenca, para definir:

- Las principales características estructurales: espesor cortical atenuado; tipo de modelo (cortical distensivo); balance isostático (masas compensadas en el sistema de Airy); y
- La geometría (involucrando profundidad) de la fosa sedimentaria (isóbatas de basamento predictivas).

Para finalizar digamos que esta moderna herramienta exhibe significativas ventajas.

Por un lado puede por si sola reemplazar a la gravimetría tradicional, y por otro puede utilizarse como método de validación de los modelos gravimétricos clásicos.

RECONOCIMIENTO

El presente trabajo se realizó en el marco de los proyectos: "Estudio de la evolución futura de cuencas sedimentarias (continuación)", PIP 03056 subsidiado por CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) y "Estudio del margen continental argentino y áreas adyacentes con métodos geopotenciales", PICT2002-00166 subsidiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bruns, H., 1878. Die Figur der Erde. Publ. Königl Preuss. Geod. Inst. Stankiewicz. Buchdruckerei. Berlin.

Haxby, W. F., Turcotte, D. L., 1978. On isostatic geoid anomalies. Journ. Geophys. Res., 83 (B11): 5473-5478.

Introcaso, A., 1982. Resultados gravimétricos sobre las cuencas de la provincial de Buenos Aires y zonas vecinas. Instituto de Física Rosario, 36 ps.

Introcaso, A., 1999. Introducción a la inversión de las ondulaciones del geoide. En. "Contribuciones a la Geodesia en la Argentina de fines del Siglo XX. Homenaje a O. Parachú". UNR Editora: 135-164.

Perdomo, R., Del Cogliano, D., 1999. The geoid in Buenos Aires region. Int. Gemid. Service. Bull. 9 Special Issue for South America: 109-116.

Pucci, J.C., 1995. Argentina's Claromecó Basin needs further exploration. Oil Gas Journal, 25: 93-96.

Ramos, V., 1984. Patagonia: un continente a la deriva? IX Congreso Geológico Argentino, 2: 311-328.

ISOSTASIA EN LA CUENCA NEUQUINA (ARGENTINA). RESULTADOS PRELIMINARES

M. Patricia Martínez (1), Federico Lince Klinger (2), Mario E. Giménez (3)

(1) Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi (IGSV)- Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)- CONICET (mpm@unsj-cuim.edu.ar).

(2) Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi (IGSV)- Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), E-mail: flklinger@hotmail.com.ar.

(3) Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi (IGSV)- Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)- CONICET. E-mail: mgimenez@unsj-cuim.edu.ar.

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un estudio hidrostático de la Cuenca Neuquina. Esta es una cuenca sedimentaria continental ubicada en el centro Oeste de la Argentina. Abarca las provincias de Mendoza, Neuquén, La Pampa y Río Negro. Se contó con la base de datos gravimétrica del Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi (Universidad Nacional de San Juan) y del Instituto de Física de Rosario (Universidad Nacional de Rosario- CONICET).

En el desarrollo de este modelo Hidrostático se siguieron los siguientes pasos:

a) Corrección por el efecto del relleno sedimentario. Utilizando una carta de isóbatas de basamento (realizado por sísmica de reflexión), se determinó el cálculo del efecto gravimétrico directo de los sedimentos. Luego se corrigió a la anomalía de Bouguer Completa por este efecto (AB_{CS}).

b) Cálculo de las raíces por debajo de las áreas en exceso (por encima del nivel medio del mar). Aplicando la Hipótesis de Airy se determinó el espesor de las raíces compensadoras como: $\Delta_R = 6.675 h_t$, siendo Δ_R : espesor de la raíz por debajo de espesor normal de corteza considerado de $T_n = 33$ km y h_t : altitud topográfica media por sobre el nivel medio del mar.

c) Cálculo de las antirraíces bajo la cubeta sedimentaria. Siguiendo las ideas de equilibrio hidrostático para cuencas continentales, se obtuvieron las antirraíces según: $\Delta_r = 0.75 h_s$, siendo Δ_r : espesor de la antirraíz y h_s : espesor de la columna sedimentaria.

d) Efecto gravimétrico directo del modelo teórico del Moho hidrostático según b) y c). Este cambiado de signo se corresponde con la Corrección Isostática (CI).

e) Determinación de la anomalía Isostática (AI) según: $AI = AB_{CS} + CI$

Concluimos que existe una fuerte descompensación isostática en el centro de la cuenca Neuquina (+80 mGal). El efecto gravimétrico de un modelo hipotético de Moho compensado es mayor que el Moho real, desde acá surge la Anomalía Isostática positiva.

Entonces decimos que tenemos un déficit de raíz. Por consiguiente y para llegar al equilibrio isostático deberá producirse en el futuro el hundimiento de la cuenca.

ABSTRACT

The present work develop an hydrostatic study of the Neuquina basin. This is a continental sediment basin situated in the centre west of Argentina, surround some provinces like Mendoza, Neuquén, La Pampa and Río Negro. It was used like references the bases of gravimetrics dates of the Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi. (Universidad Nacional de San Juan) and the Instituto de Física de Rosario (Universidad Nacional de Rosario - CONICET).

In the development of this Hidrostatics models, was followed the next point.

a)- Correction for the sedimentary refill effects, was utilized an Isobaths letter of basement, (realized by Sismic of Reflection), was determinated the calculate of the direct gravimetrycs effects of the sediments. Then was corrected to the anomaly of Bouguer, complete by this effects (AB_{CS}).

b)- Calculate of the root by under of the areas in access,(above the middle level of the sea). Applied the Hypothesis of Airy, was the way to determinate the thickness of the compensator root as: $\Delta_R = 6.675 h_t$, been Δ_R : the thickness of the root under the normal bark thickness, considering the $T_n = 33$ km and h_t : middle Topographycs height on the middle level of the sea.

c)- Calculation of the antiroots under the sediment vessel. Following with the hydrostatics equilibrium for continental basin, the result was the antiriot according to: $\Delta_r = 0.75 h_s$, been Δ_r : thickness antiroots, and h_s : thickness of the sedimentary column.

d)- Direct gravimetrics effect of the Theoretical Model vessel of Moho, hydrostatic, following point b) and point c). This change the sign corresponding to the isostatic correction (CI).

e)-Determination of the isostatic anomaly (AI) following $AI = AB_{CS} + CI$.

To conclude, exist an strong discompensation isostatic in the centre of the Neuquina basin (+80 mGal). The gravimetrics effect of an hypothetics model of Moho, since there, follow the positive anomaly isostatic, so, present a root deficit and to obtain the isostatic equilibrium which will be produce in the future subsidence of the basin.

INTRODUCCIÓN

La cuenca Neuquina, constituye una extensa comarca petrolera que abarca casi la totalidad de la provincia del Neuquen, el sector occidental de las provincias de La Pampa y Río Negro y la porción suroccidental de la provincia de Mendoza, figura 1 (Mendiberri y Cardone, 2002).

Debido a la importancia de ésta cuenca, en relación con la producción de hidrocarburos, es que se han aplicado, a lo largo de este tiempo, diversos métodos geofísicos para su prospección, donde el método gravimétrico no ha sido la excepción.

La herramienta clásica de exploración hacia fines del siglo XIX fue la geología de superficie por geólogos como Lallemand, Bondenbender y Burckhardt. Durante los años treinta y cuarenta la información aportada por los sondeos estratigráficos se sumaron a los registros geofísicos y a los perfiles eléctricos.

En el campo de la geofísica, en primer lugar, comenzaron las campañas gravimétricas y magnetométricas con motivo de encontrar las formas estructurales con las que podían vincularse las acumulaciones de hidrocarburos. Luego, a partir de la década del 50 comienzan a aplicarse los métodos sísmicos logrando mejores resultados en la detección de zonas con potencial de hidrocarburos.

En 1991 YPF realizó su primer registro de sísmica 3D. El uso conjunto de esta técnica y su software de modelado asociado, permitieron reconstruir y comprender con una visión dinámica cómo actuaron los distintos sistemas petroleros en el tiempo.

En este trabajo y a través de datos gravimétricos, investigamos la estructura profunda de la cuenca en general. A partir de proponer un modelo de Moho Hidrostático, es posible determinar futuros movimientos isostáticos, de ascenso y descenso, de los distintos bloques que comprenden esta cuenca.

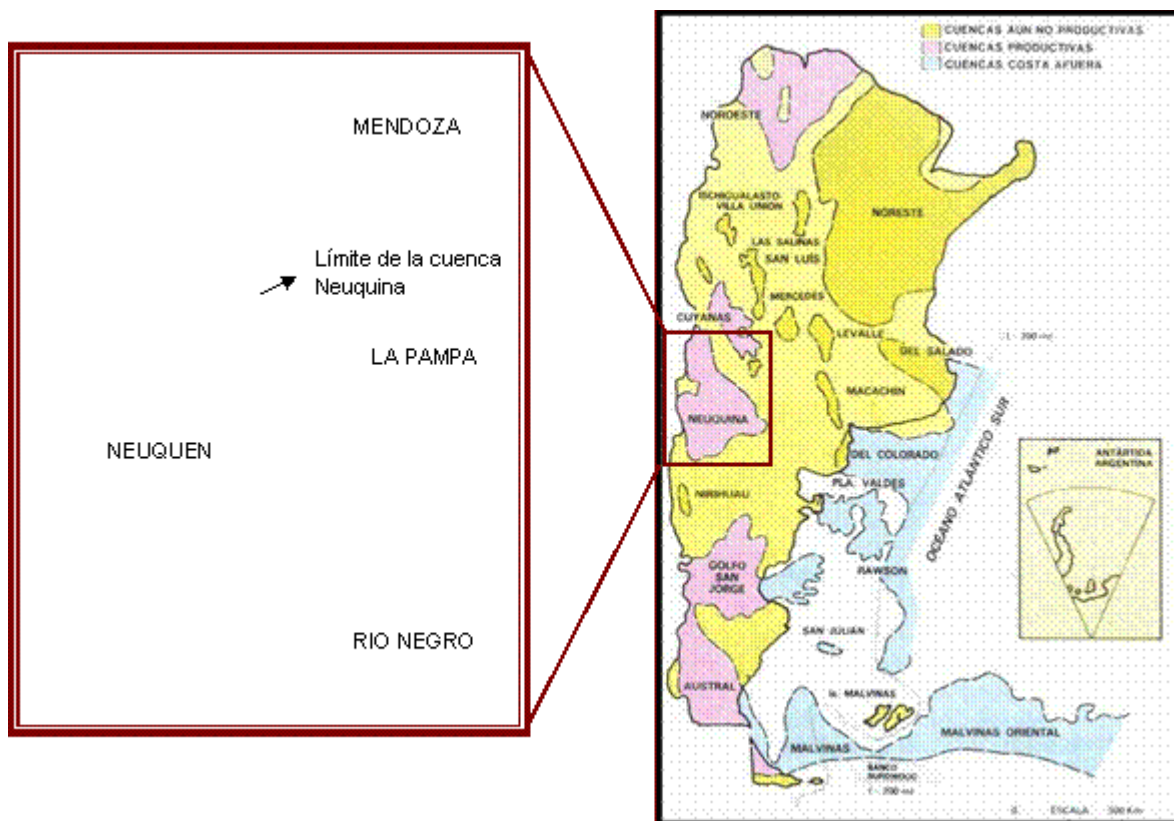


Figura 1: Ubicación de la Cuenca Neuquina. Modificado de Schiuma y Vergani (2002)

ISOSTASIA EN CUENCAS SEDIMENTARIAS CONTINENTALES.

Para realizar un modelo hidrostático de la Cuenca nos basamos en un modelo de cuenca sedimentaria continental de dos capas, figura 2, con discontinuidad intermedia (discontinuidad de Conrad), siguiendo las ideas de Introcaso (1993):

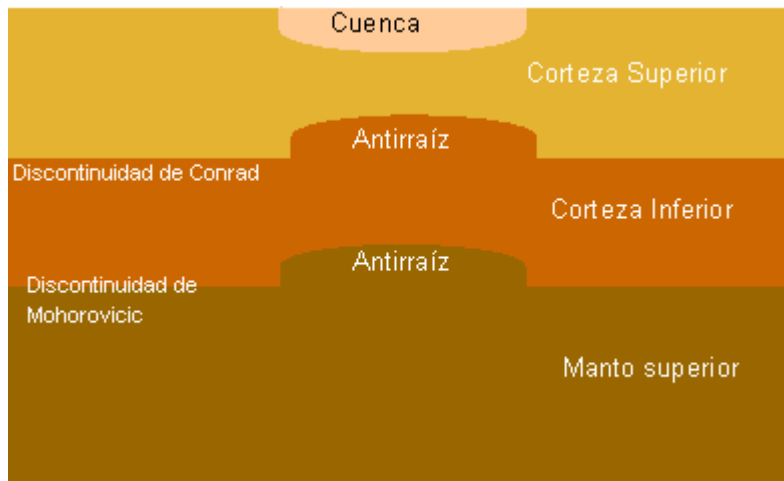


Figura 2: Modelo de una cuenca Continental emplazada en corteza homogénea de dos capas con discontinuidad intermedia.

Basados en la Hipótesis de Airy, e igualando las presiones que originan dos bloques contiguos en la base de la corteza:

$$h_{cs} \sigma_{cs} + h_{ci} \sigma_{ci} = h_s \sigma_s + \Delta_s \sigma_{ci} + \Delta_r \sigma_{ms} + (h_{cs} - h_s - \Delta_s) \sigma_{cs} + (h_{ci} - \Delta_r) \sigma_{ci} \quad (1)$$

Donde: σ_s (densidad de los sedimentos); h_s (altura de la columna de sedimentos); σ_{cs} (densidad de corteza superior); σ_{ci} (densidad de corteza inferior); σ_{ms} (densidad del manto superior); h_{cs} (espesor corteza superior); h_{ci} (espesor de corteza inferior); Δ_s (antirraíz en la discontinuidad intermedia); Δ_r (antirraíz en la corteza inferior)

Desarrollando y ordenando términos obtenemos la expresión (2)

$$\Delta_r = \{ h_s (\sigma_{cs} - \sigma_s) / (\sigma_{ms} - \sigma_{ci}) \} + \{ \Delta_s (\sigma_{cs} - \sigma_{ci}) / (\sigma_{ms} - \sigma_{ci}) \} \quad (2)$$

La expresión (2) es la más completa (Introcaso, 1993). Sin embargo, no poseemos información de existencia de una antirraíz en la discontinuidad intermedia, por lo tanto en esta expresión se anula el segundo término del miembro de la derecha.

Elección de Densidades.

Se tomaron las densidades normalmente utilizadas (en forma global) para los sedimentos que rellenan la cuenca, para la corteza superior e inferior y para el manto superior:

$$\sigma_{cs} = 2.7 \text{ g/ cm}^3$$

$$\sigma_{ci} = 2.9 \text{ g/ cm}^3$$

$$\sigma_{ms} = 3.3 \text{ g/ cm}^3$$

$$\sigma_s = 2.4 \text{ g/ cm}^3$$

No obstante para decidir, si la densidad de los materiales que colmatan la cuenca (σ_s), es la adecuada, se procedió a realizar determinaciones puntuales. De esta manera se tomaron varias

muestras representativas de las formaciones en estudio. El cálculo de densidad se realizó en el laboratorio del Instituto de Materiales y Suelos de la U.N.S.J (Universidad Nacional de San Juan), aplicando para ello el método de la Doble Pesada, con recubrimiento de las muestras con Parafina. Luego se promediaron las densidades de cada una de las muestras, ecuación (3), obteniendo un valor promedio de la densidad de los sedimentos(σ_s).

$$\sigma_s = (\sigma_{m1} + \sigma_{m2} + \sigma_{m3} + \dots + \sigma_{m n}) / n \quad (3)$$

$$\sigma_s = 2.35 \text{ g/cm}^3$$

Desde acá, podemos generalizar y utilizar un contraste $\sigma_{cs} - \sigma_s = -0.3 \text{ g/cm}^3$, que es el normalmente utilizado.

Corrección por efecto del relleno sedimentario.

Con el propósito de trabajar con una respuesta gravimétrica correspondiente a una corteza normal, definiendo a esta como la que representa a un modelo simple de dos capas, una tipo granítica y otra tipo basáltica, se debe efectuar la corrección por efecto del relleno sedimentario. (Giménez et al, 2000). De esta manera partiendo de la carta de anomalía de Bouguer (AB), figura 3, se determina el efecto gravimétrico de los sedimentos y luego se lo descuenta de la carta de AB.

Para ello se utilizó una carta de isóbatas de basamento cristalino, con una separación de 500 metros. Se asimilaron estas isóbatas a láminas poligonales cerradas y mediante un número impar de ellas, para posibilitar la integración numérica (Talwani and Ewing, 1960), se evaluó el efecto gravimétrico directo del paquete sedimentario (ES). El contraste de densidad utilizado (sedimentos – roca de basamento) fue de -0.3 g/cm^3 ($2.4 \text{ g/cm}^3 - 2.7 \text{ g/cm}^3$, como ya fuera explicado).

El efecto del paquete sedimentario (ES), figura 4, fue descontado de la carta de anomalía de Bouguer (AB), obteniendo la anomalía de Bouguer corregida por efecto sedimentario (AB_{CS}).

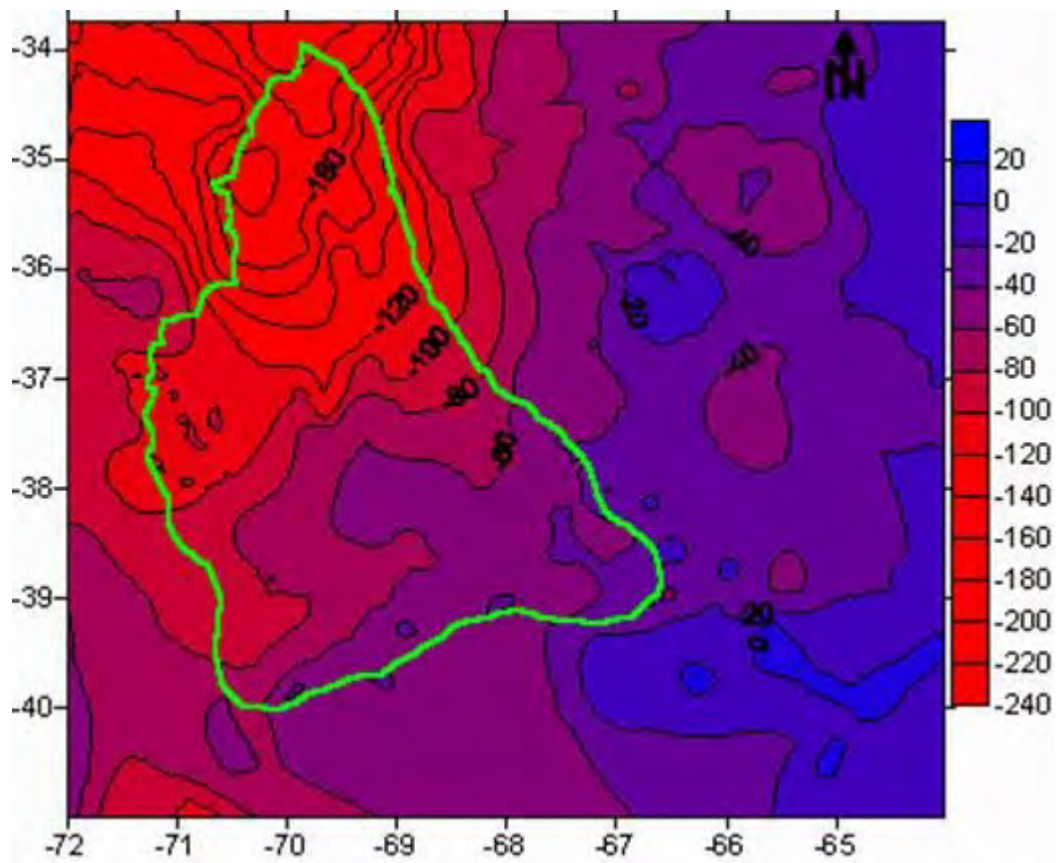


Figura 3: Carta de anomalía de Bouguer (AB) de la Cuenca Neuquina. Con línea llena de color verde el límite de la Cuenca. Escala en mGal.

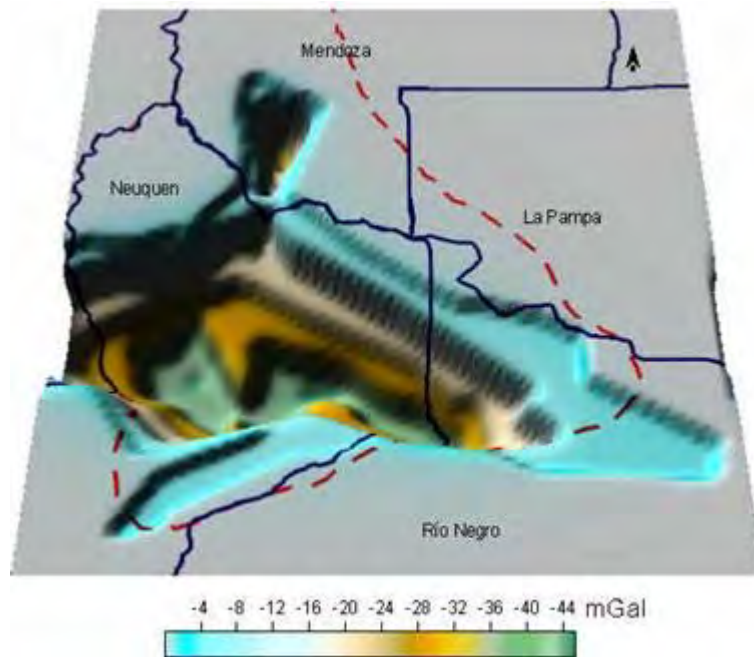


Figura 4: Efecto gravimétrico 3D del paquete sedimentario (ES). Con línea azul los límites de las provincias que la componen. Con línea de trazos roja el límite de la cuenca. Escala en mGal.

Modelo Hidrostático

Las antirraíces se calcularon a través de la ecuación (2), utilizando para ello las densidades descriptas arriba.

$$\Delta_r = \{ (2.7 - 2.4) \text{ g/cm}^3 / (3.3 - 2.9) \text{ g/cm}^3 \} h_s = (0.3 \text{ g/cm}^3 / 0.4 \text{ g/cm}^3) h_s = 0.75 h_s \quad (4)$$

Es decir que la antirraíz de la cuenca representa $\frac{3}{4}$ de la profundidad de la columna sedimentaria.

Considerando que la Cuenca Neuquina se emplaza en una zona montañosa, tendremos que tener en cuenta la masa topográfica emergente por sobre el nivel del mar en los alrededores de la misma. Del mismo modo, bajo la Hipótesis de Airy, igualando presiones en dos bloques contiguos, se obtiene la expresión (5). La raíz cortical (Δ_R) será:

$$\Delta_R = \{ \sigma_t / (\sigma_{ms} - \sigma_{ci}) \} h_t \quad (5)$$

siendo:

σ_t : densidad de la masa topográfica (2.67 g/cm^3)

σ_{ms} : densidad del manto superior (3.3 g/cm^3)

σ_{ci} : densidad de la corteza inferior (2.9 g/cm^3)

h_t : altura promedio respecto del nivel medio del mar

Δ_R : raíz por debajo del espesor cortical normal, T_n , asumido de 33 km

Así reemplazando en la ecuación (5) resulta $\Delta_R = 6.675 h_t$

A las raíces corticales, así calculadas, se les sustrajo las antirraíces debajo de la cuenca Neuquina, ver figura 5 (abajo), que representa el modelo de Moho Hidrostático. En la misma figura puede observarse que este Moho resulta ser simétrico (respecto del nivel "0" o nivel medio del mar) con el modelo de elevación topográfica.

El efecto gravimétrico directo que produce el Moho hidrostático cambiado de signo se corresponde con la corrección isostática (CI).

Finalmente para el cálculo de la anomalía Isostática, AI (o, por algunos llamada anomalía Residual Isostática), se procedió a descontar de la anomalía de Bouguer corregida por efecto sedimentario (AB_{CS}), el efecto gravimétrico de los sedimentos (ES). O sea:

$$AI = AB_{CS} + CI \quad (6)$$

Vemos así en la figura 6 que existe una fuerte descompensación isostática en el centro de la cuenca Neuquina (+80 mGal). Razonando vemos: 1) el efecto gravimétrico de un modelo hipotético de Moho compensado es mayor que el Moho real, 2) desde acá surge la Anomalía Isostática positiva. 3) Entonces decimos que tenemos un déficit de raíz, y 4) por consiguiente y para llegar al equilibrio isostático deberá producirse en el futuro el hundimiento de la cuenca.

Hacia el Este de la cuenca Neuquina y hacia el Norte de la carta, encontramos valores cercanos a cero indicando que en estas zonas nos acercamos al equilibrio isostático.

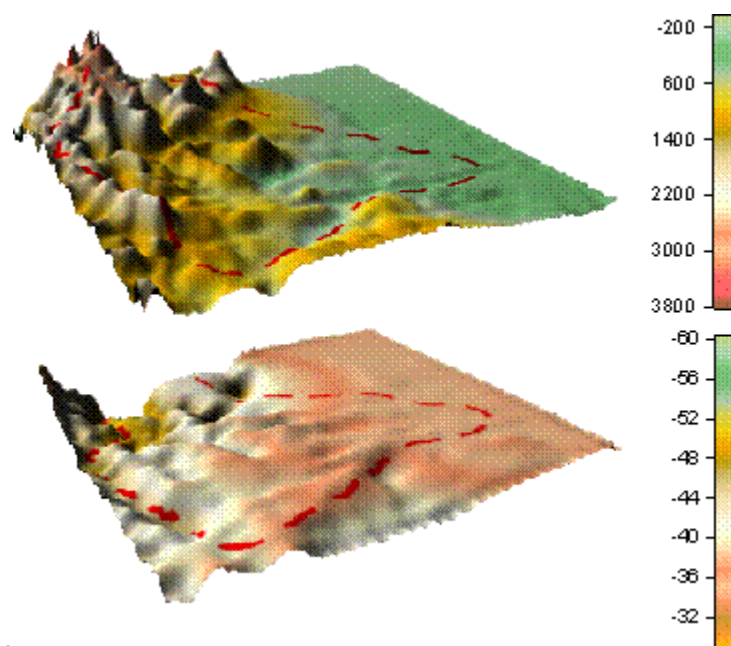


Figura 5. Arriba se observa la topografía de la cuenca Neuquina, con línea de trazos roja se delimita la cuenca. Escala en metros. Abajo el modelo hidrostático del moho. Escala en km.

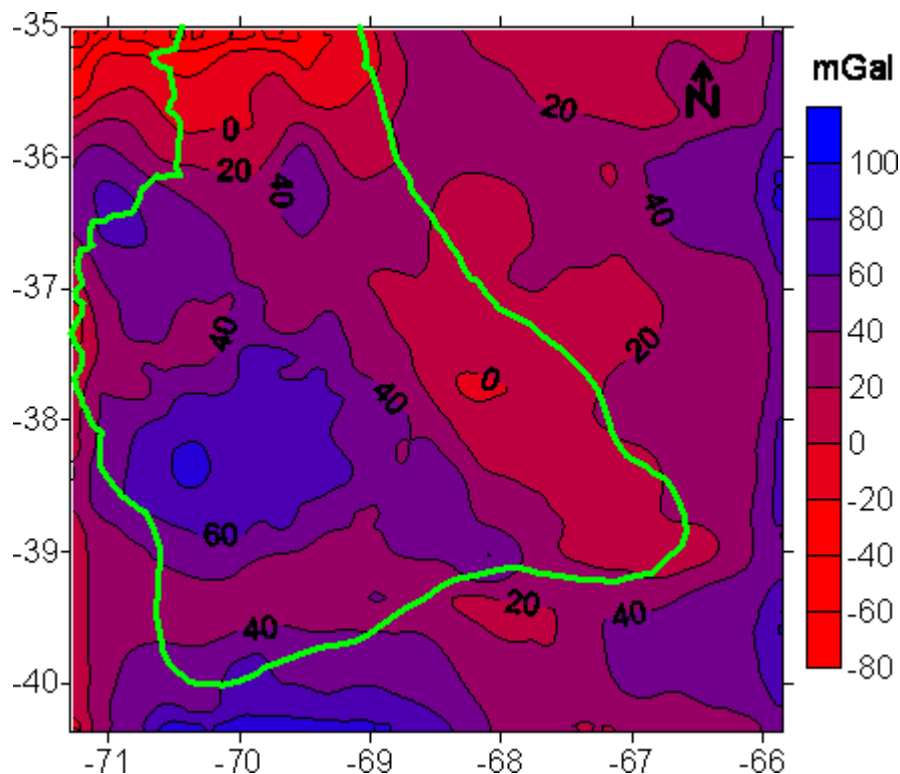


Figura 5: Carta de anomalía Isostática (AI), o anomalía Residual Isostática, Para la Cuenca Neuquina y regiones aledañas. Con líneas de color verde se señala el límite de la Cuenca. Isolíneas cada 20 mGal.

CONCLUSIONES

A partir de un estudio gravimétrico realizado en la Cuenca Neuquina (Argentina), se confeccionó un modelo de Moho Hidrostático en la hipótesis de Airy. Para ello se utilizaron: para el cálculo de la antirraíces, $\Delta_r = 0.75$. h_s (h_s : profundidad de los sedimentos) y para el cálculo de las raíces $\Delta_R = 6.675 h_t$ (h_t : altura topográfica por sobre el nivel medio del mar).

El modelo de moho hidrostático refleja un comportamiento asimétrico respecto del modelo de elevación digital (tal y como era de esperar en esta hipótesis).

La anomalía isostática residual indica que la cuenca presenta una fuerte descompensación isostática en el centro de la cuenca Neuquina (+80 mGal). Por lo tanto concluimos que existe un déficit de raíz, y por consiguiente y para llegar al equilibrio isostático deberá producirse en el futuro el hundimiento de la cuenca.

Hacia el Este de la cuenca Neuquina y hacia el Norte de la carta, encontramos valores cercanos a cero indicando compensación isostática.

BIBLIOGRAFÍA

GIMENEZ, M. , A. INTROCASO, M. P. MARTINEZ, 2000. Estudio genético y evolutivo de la cuenca del Bermejo. San Juan. Argentina. Temas de Geociencia (Rosario – Argentina), vol. 6 , pp 27-38.

INTROCASO, A. 1993. Predicción del movimiento vertical de una cuenca sedimentaria utilizando el método gravimétrico. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de exploración de Hidrocarburos. Geología y recursos naturales de Mendoza. Actas T I (1-4).

MENDIBERRI, H., O. CARBONE, 2002. Cuenca Neuquina: Marco geológico y reseña histórica de la actividad petrolera. Rocas Reservorios de las cuencas productivas de la Argentina. V Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Eds: M. Schiuma , G. Vergani. Mar del Plata, pp 201- 211.

SCHIUMA, M.; VERGANI, G. 2002. Rocas reservorios de las cuencas productivas de la Argentina. V Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mar del Plata, 788 p.

TALWANI, M. and EWING, M., 1960. "Rapid computation of gravitational attraction of three – dimensional bodis of arbitrary shape". Geophysics XXV, 1, 203-225.

OBTENCIÓN DE UNA CARTA DE G DESDE LAS ONDULACIONES DEL GEOIDE. APLICACIONES AL ESTUDIO DE LA CUENCA DEL SALADO (ARGENTINA)

Beatriz Introcaso(1), Carolina Crovetto(2) y Antonio Introcaso(3)

Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR), Av. Pellegrini 250, (2000) Rosario, Argentina.

(1) E-mail: beatriz@fceia.unr.edu.ar

(2) E-mail: crovetto@fceia.unr.edu.ar

(3) E-mail: geofisic@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

Dada la estrecha relación entre las anomalías de aire libre Δg y las ondulaciones del geoide N , es nuestro interés poder obtener una carta de Δg a partir de un conjunto de contornos de N (y recíprocamente).

En el presente trabajo consideramos la región de la cuenca del Salado (República Argentina), ubicada aproximadamente en 36°S y 58°W , debido al interés de su estudio desde el punto de vista estructural. Partiendo de datos de gravedad filtrados de largas longitudes de onda asumidas desde una carta del geoide para el total de la Argentina, se obtuvo una carta de ondulaciones residuales que reproduce adecuadamente los valores de N conocidos para la zona. En otro sentido, partiendo de estos valores de geoide observados logramos reproducir la carta de g residual. Ambas transformaciones se realizaron utilizando la fórmula de Stokes en el plano y el método de fuentes equivalentes.

Este trabajo enfatiza la importancia de las ondulaciones del geoide, desde las cuales pueden ser obtenidas las anomalías de gravedad, el estado isostático y el modelo geofísico.

ABSTRACT

Considering the close relationship between Free Air anomalies Δg and geoid undulations N , we are interested in obtaining a Δg chart from a set of N contours.

In this work we consider the Salado basin area (Argentine Republic) located approximately at 36° S latitude and 58° W longitude, in view of its structural interest. Using filtered gravity data, we have obtained a residual undulations chart agreeing with values of N known for the area. Inversely, using these observed geoid values we reproduce the g residual chart. Both conversions were done using Stokes planar formulae and equivalent sources methods.

This work points out the importance of geoid undulations, from which gravity anomalies can be obtained, as well as isostatic state can be analyzed and geophysical models can be proposed.

INTRODUCCIÓN

Es sabido que las anomalías de gravedad Δg y las ondulaciones del geoide N son dos manifestaciones del mismo campo potencial: el campo gravitatorio terrestre.

Clásicamente se ha trabajado a partir de anomalías de Bouguer con el objetivo de realizar modelos geofísicos de las zonas en estudio. Con menor frecuencia se ha trabajado con anomalías de aire libre.

Recientemente, las ondulaciones del geoide han cobrado gran importancia debido al avance de los métodos de medición a partir de satélites y del incremento de las observaciones de gravedad.

La inversión simultánea de ambas manifestaciones del campo gravitatorio (Δg y N) permite aumentar la consistencia de los modelos que se proponen.

Este trabajo se orienta a explotar la relación existente entre ambos, obteniendo una carta de anomalías de aire libre a partir de una carta de ondulaciones del geoide, y recíprocamente. Luego, a partir de ambas cartas, puede obtenerse un modelo geofísico más consistente para la zona.

La zona de estudio es la cuenca del Salado (Figura 1), en la provincia de Buenos Aires (Argentina). Siguiendo a Introcaso *et al* (2002), podemos decir que la cuenca se desarrolla entre la Sierra de Tandil y el umbral de Martín García. Presenta un basamento metamórfico, y su inicio se atribuye a un aulacógeno (rift abortado) generado durante la formación del océano Atlántico y su evolución posterior. La cuenca tiene entre 6500 y 7000 m de sedimentos marinos Cretácicos y Cenozoicos.

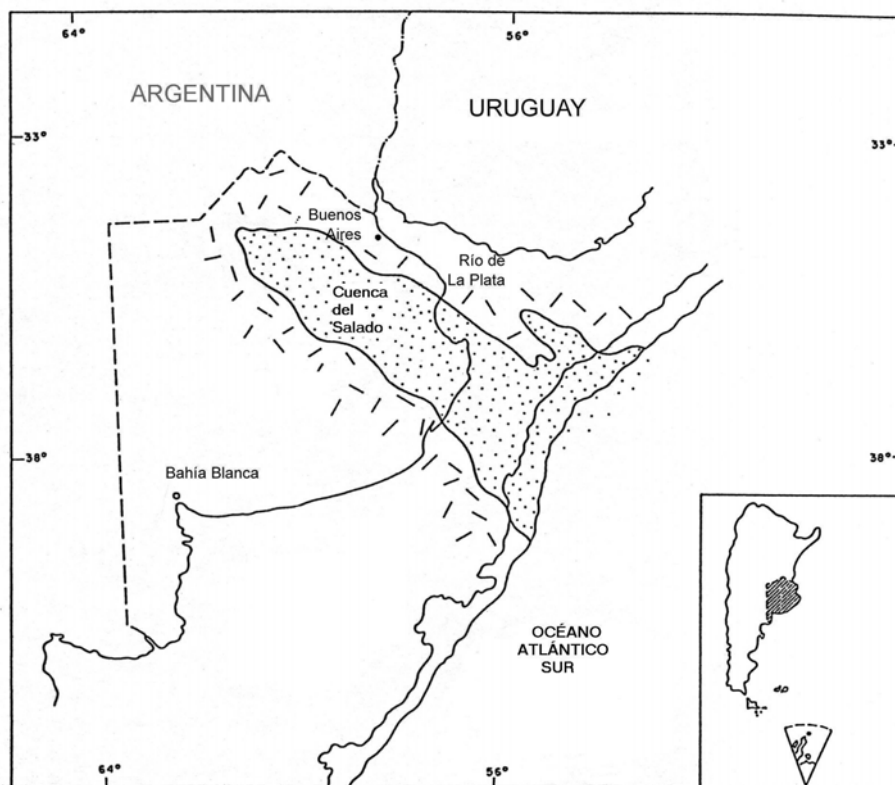


Figura 1 – Cuenca del Salado (Argentina). Fuente: Introcaso y Ramos (1984)

CARTA DE ONDULACIONES DEL GEOIDE A PARTIR DE ANOMALÍAS DE AIRE LIBRE

A partir de una base de datos del IFIR, se construyó una carta de anomalías de aire libre de la zona (Figura 2 (a)). Dado que la zona de estudio es baja y plana, prácticamente estas anomalías de aire libre Δg se corresponden con las anomalías de Faye (Δg con correcciones topográficas). La misma fue filtrada de efectos que excedieran la longitud de onda de la cuenca, obteniéndose la carta de anomalías residuales indicada en la Figura 2(b).

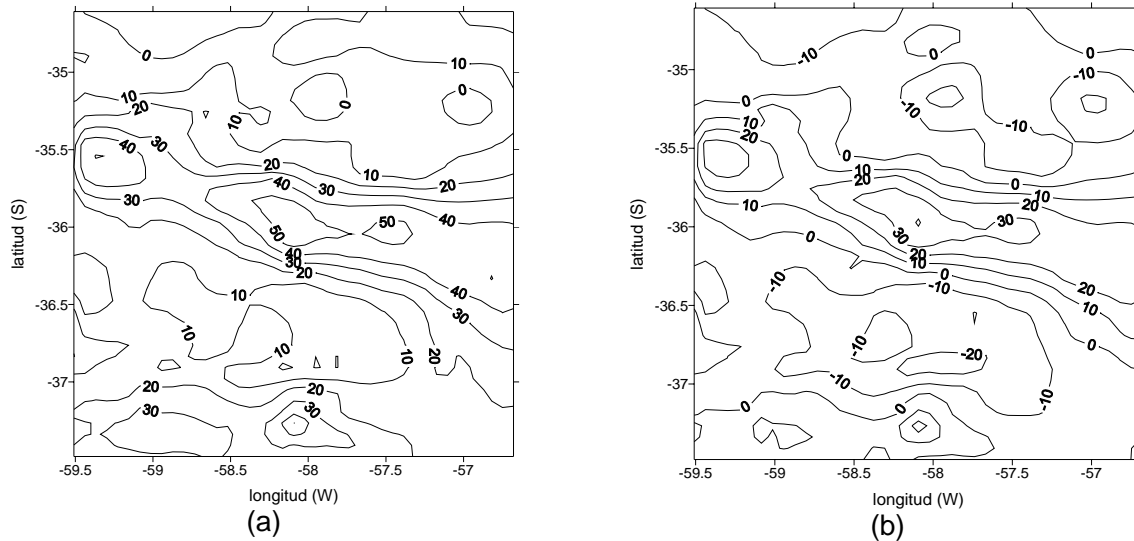


Figura 2 – (a) Anomalías de aire libre observadas para la Cuenca del Salado.
(b) Anomalías de aire libre residuales

Las anomalías de aire libre pueden ser indistintamente interpretadas como ubicadas sobre la superficie topográfica (teoría de Molodensky), o ubicadas sobre el geoide. Teniendo en cuenta esta última interpretación, conocidas las anomalías de aire libre puede definirse sobre el geoide una densidad superficial de masa equivalente (Introcaso 1997) en la forma:

$$\mu(x', y', 0) = \frac{\Delta g(x', y', 0)}{2\pi G}.$$

En esta relación, $\Delta g(x', y', 0)$ representa la anomalía de aire libre en cualquier punto sobre la superficie del geoide, G es la constante de gravitación universal, y $\mu(x', y', 0)$ representa la densidad superficial de masa equivalente en dicho punto.

Utilizando la expresión de Bruns (1878), $N = V/\gamma$, el potencial generado por estas masas perturbadoras equivalentes en un punto $P(x, y, 0)$ sobre el mismo geoide nos permite encontrar las ondulaciones del geoide mediante la fórmula de Stokes en el plano (Torge, 2001, p. 287):

$$N(x, y) = \frac{V(x, y, 0)}{\gamma} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G \cdot \mu \cdot dx' \cdot dy'}{r}}{\gamma} = \frac{1}{2\pi\gamma} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta g(x', y', 0)}{[(x - x')^2 + (y - y')^2]^{3/2}} dx' \cdot dy'$$

Con este procedimiento se logra transformar la carta de anomalías de aire libre residuales (figura 2(b)) en una carta de ondulaciones del geoide (figura 3(a)).

La transformación puede realizarse también utilizando el método de fuentes equivalentes (Cordell, 1992; Guspí et al., 2004). Conocidas las anomalías de aire libre, puede encontrarse un conjunto de masas puntuales que reproducen dichas anomalías, y a partir de él, puede encontrarse el potencial gravitatorio.

Utilizando esta técnica, se obtuvieron las ondulaciones del geoide indicadas en la figura 3(b), las cuales coinciden morfológica y numéricamente con las obtenidas previamente mediante la fórmula de Stokes (Fig. 3(a)).

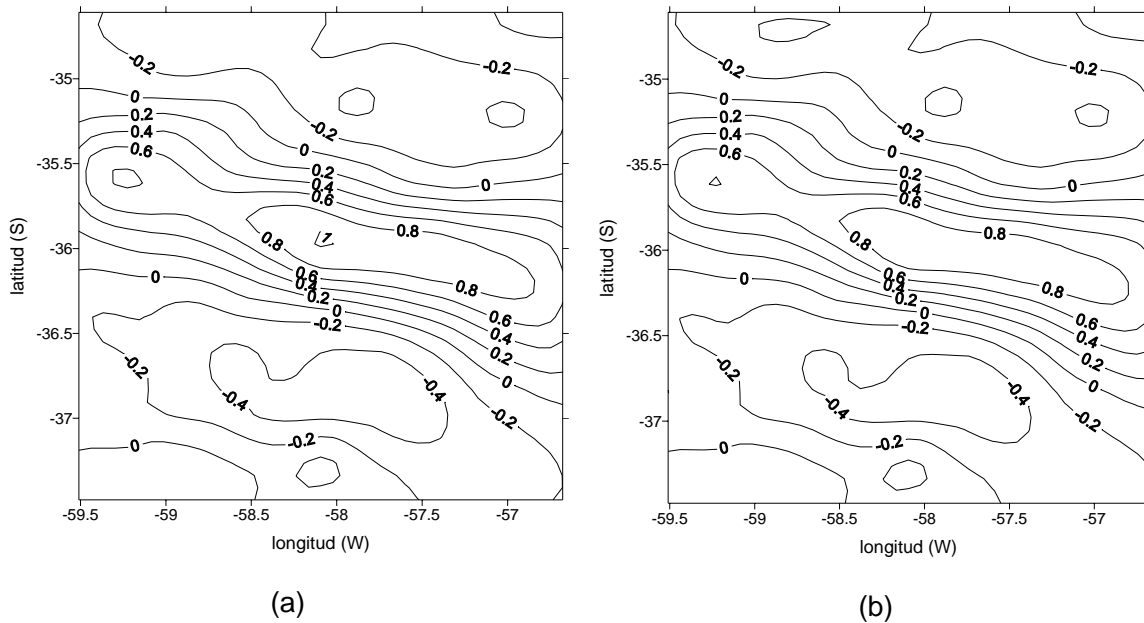


Figura 3 - (a) Ondulaciones residuales del geode obtenidas mediante la fórmula de Stokes.
(b) Ondulaciones residuales del geode obtenidas mediante fuentes equivalentes

CARTA DE ANOMALÍAS DE AIRE LIBRE A PARTIR DE ONDULACIONES DEL GEOIDE

Utilizamos una carta de ondulaciones del geode de la provincia de Buenos Aires (Argentina), obtenida a partir de valores de $N=h-H$ (método geométrico, Perdomo y Del Cogliano (1999)) (Figura 4(a)).

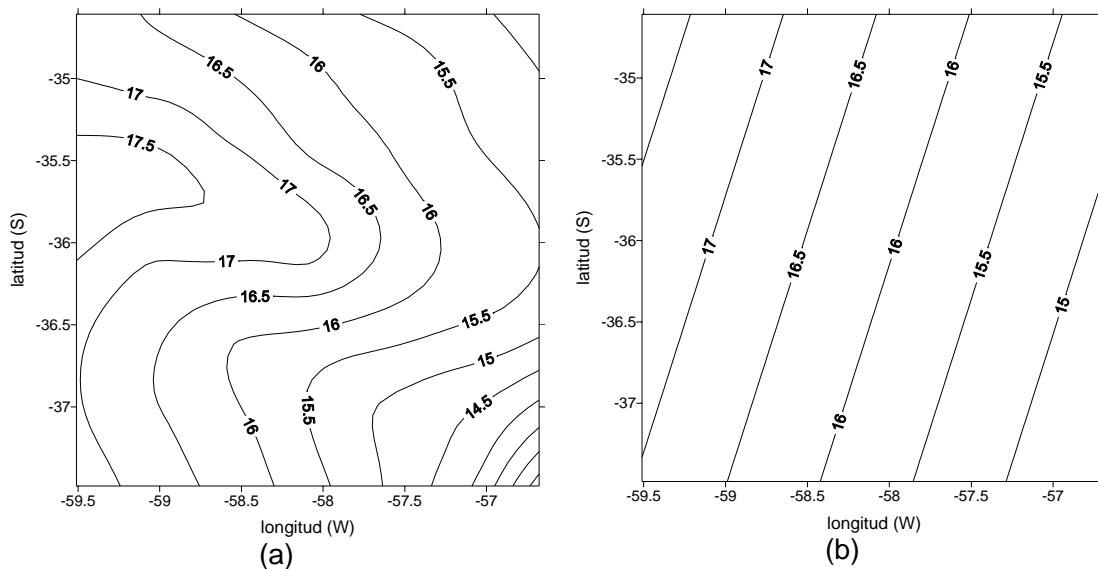


Figura 4 – (a) Ondulaciones del geode observadas (Perdomo - Del Cogliano, 1999). (b) Filtro plano considerado para eliminar las ondulaciones regionales.

Utilizando un filtro plano con inclinación NW-SE (Figura 4(b)), coherente con el geode regional de la república Argentina y de Sudamérica (Introcaso y Martínez, 2002; Blitzkow et al, 1996), se filtraron las largas longitudes de onda. Las ondulaciones residuales obtenidas pueden observarse en la Figura 5.

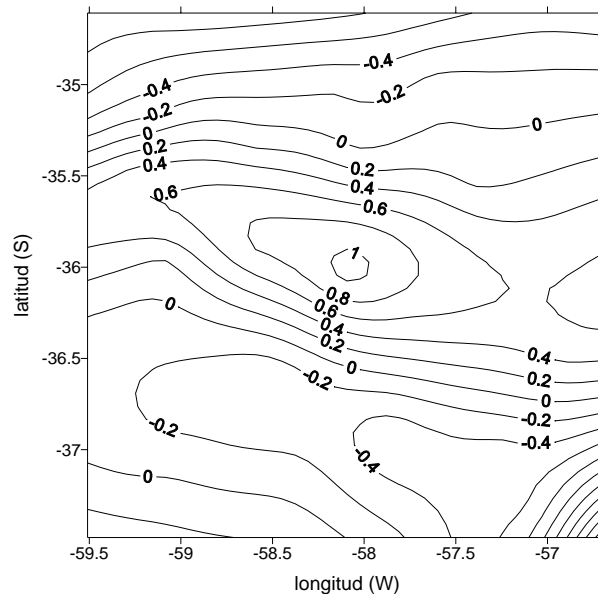


Figura 5 – Ondulaciones del geode residuales (diferencia entre las cartas de Fig. 4 a y b)

Empleado nuevamente la fórmula de Stokes en el plano y el método de fuentes equivalentes, se obtuvieron valores de anomalías de aire libre a partir de este geode residual.

Para el cálculo de las ondulaciones del geode, Stokes propone resolver la integral

$$N(x, y) = \frac{1}{2\pi\gamma} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta g(x', y', 0)}{[(x - x')^2 + (y - y')^2]^{3/2}} dx' dy'$$

Si suponemos el plano de integración dividido en celdas rectangulares, dentro de las cuales consideramos constante a la gravedad, esta ecuación se reduce a:

$$N(x, y) = \frac{1}{2\pi\gamma} \sum_i \sum_j \Delta g(x_i, y_j, 0) \cdot F(x - x_i, y - y_j)$$

en donde $F(x - x_i, y - y_j) = \iint_{\text{celda } ij\text{-ésima}} \frac{1}{[(x - x')^2 + (y - y')^2]^{3/2}} dx' dy'$ es una función que se

integra analíticamente y representa el potencial de la celda ij -ésima en el punto $P(x, y)$.

Conocidos los valores de $N=h-H$ en m puntos discretos, el problema se reduce a resolver un sistema normal, obteniéndose los valores de Δg en los mismos m puntos.

Las anomalías de aire libre obtenidas de esta forma se indican en la figura 6(a).

El método de fuentes equivalentes puede ser utilizado también para este propósito. Conocido el potencial gravitatorio, se encuentra un conjunto de masas puntuales que reproduce dichos valores, y a partir de él, se calculan las anomalías de aire libre. Al derivar el potencial anómalo obtendremos la gravedad anómala total, la cual se corresponde con las anomalías de aire libre.

La carta de anomalías de aire libre reproducida de esta forma puede apreciarse en la figura 6(b).

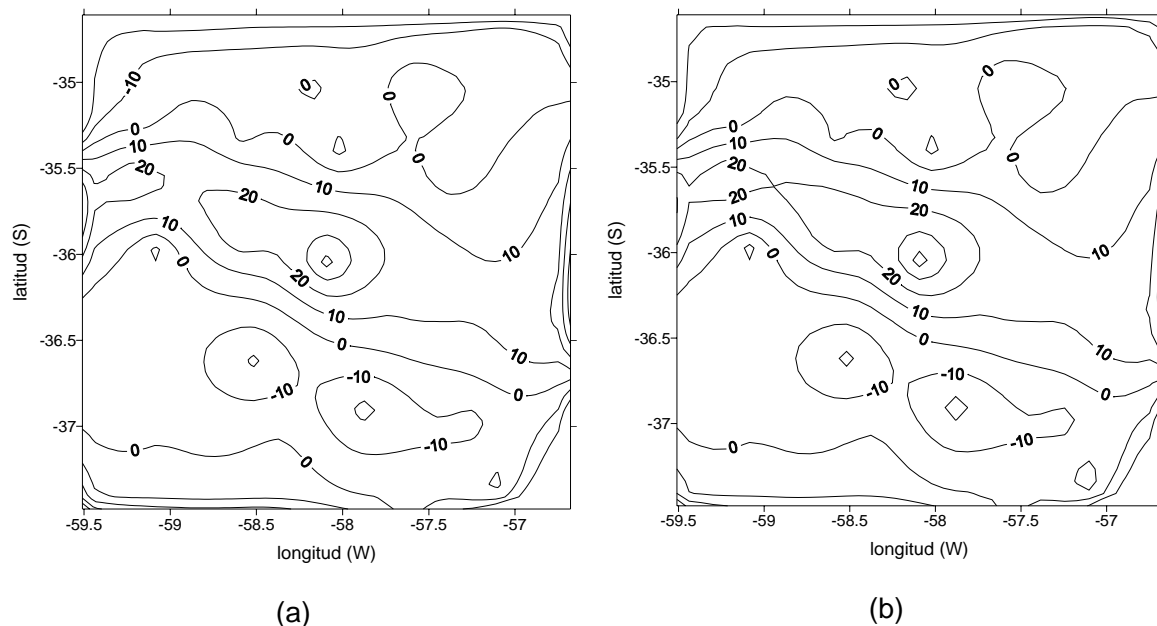


Figura 6 – (a) Anomalías de aire libre obtenidas a partir de ondulaciones del geoide a través de la fórmula de Stokes plana. (b) Anomalías de aire libre residuales reproducidas por el método de fuentes equivalentes a partir de las ondulaciones del geoide de la Figura 5.

DISCUSIÓN

De la comparación de las cartas obtenidas, se observan las similitudes tanto entre las anomalías de aire libre residuales observadas (Fig. 2(b)) y las reproducidas mediante el empleo de la fórmula de Stokes (Fig. 6(a)) y las fuentes equivalentes (Fig. 6(b)), como entre las ondulaciones del geoide residuales observadas (Fig. 5) y las encontradas mediante la fórmula de Stokes (Fig. 3(a)) y el empleo de las fuentes equivalentes (Fig. 3(b)).

Ambas ternas de cartas resultan comparables tanto morfológica como numéricamente, presentando máximos similares, del orden de 40mGal en las anomalías y de 1m en las ondulaciones del geoide.

Así mismo se observa que las cartas ponen de manifiesto una amplitud positiva de gravedad y de ondulación del geoide en la zona de la cuenca, contrariamente a lo esperable para una cuenca sedimentaria. Estas respuestas están indicando un fuerte estado de sobrecompensación isostática, explicado con anterioridad por Introcaso *et al* (2002).

En síntesis, los aspectos más significativos que destaca esta contribución son:

- a) Performances similares entre los métodos de fuentes equivalentes y Stokes plano para obtener N desde las anomalías de aire libre Δg e inversamente Δg desde N . Así, uno u otro método puede ser utilizado como método de validación.
- b) Para el caso de obtener Δg desde N notemos la enorme importancia que tiene el determinar una carta de anomalías de gravedad a partir de una carta del geoide residual (filtrado). Dado que este último ha sido obtenido con un método $h - H$ independiente de las observaciones de ' g ' estamos ante la posibilidad de encontrar una carta de gravedad sin el aporte de gravímetros.

CONCLUSIONES

La gravedad y el potencial son manifestaciones de un mismo campo: el campo gravitatorio terrestre. Cada respuesta resalta distintas características de este campo; la gravedad pone de manifiesto en general aspectos locales, mientras que el potencial (y la ondulación del geoide) se relaciona con un efecto de mayor longitud de onda, aunque menor poder resolutivo. El conocimiento de ambas respuestas para una misma zona en estudio logra enriquecer el estudio, permitiendo proponer modelos mucho más consistentes que los obtenidos mediante una única respuesta.

En este trabajo se mostraron formas de construir una carta de anomalías de gravedad a partir de las ondulaciones geoidales y viceversa, permitiendo así abordar el estudio de una región en forma más completa.

La transformación de una carta a otra puede realizarse en ambos sentidos utilizando en forma indistinta dos métodos: el método de fuentes equivalentes y la fórmula de Stokes en el plano. A través de ambos procedimientos se consiguen reproducir las cartas.

Finalmente, precisamos que si disponemos, tal como sucede con la cuenca en estudio, de contornos del geoide obtenidos con $h - H$, es posible construir la carta de anomalías de gravedad sin necesidad de utilizar gravímetros.

BIBLIOGRAFÍA

Blitzkow, D., M.C.Lobianco, J.D.Fairhead, 1996. Data coverage improvement for geoid computation in South America. International Association of Geodesy Symposia, Gravity, Geoid and Marine Geodesy, International Symposium 117 (Japan): 523-531.

Bruns, H., 1878. Die Figur der Erde. Publ. Königl Preuss. Geod. Inst. Stankiewicz. Buchdruckerei. Berlin.

Cordell, L., 1992. A scattered equivalent-source method for interpolation and gridding of potential-field data in three dimensions. Geophysics, 57: 629-636.

Guspí, F., Introcaso, A., Introcaso, B., 2004. Gravity-enhanced representation of measured geoid undulations using equivalent sources. Geophys. J. Int. 158: 1-8

Introcaso, A., Ramos, V. 1984. La cuenca del Salado. Un modelo de evolución aulacogénica. IX Congreso Geológico Argentino (Bariloche), Actas 3: 27-46.

Introcaso, A., 1997. Gravimetría. UNR Editora, 359 págs.

Introcaso, A. y M.P.Martinez, 2002. A study of Uruguay lithosphere from geoid undulations charts. Bollettino di geodesia e scienze affini, Anno LXI, 2: 83-98.

Introcaso, A., F. Guspí, B. Introcaso, 2002. Interpretación del estado isostático de la Cuenca del Salado (Provincia de Buenos Aires) utilizando un geoide local obtenido mediante fuentes equivalentes a partir de anomalías de aire libre. Actas del XV Congreso Geológico Argentino. El Calafate.

Perdomo, R. and D. Del Cogliano, 1999. The geoid in Buenos Aires region. Int. Geoid Service Bulletin 9, Special Issue for South America: 109-116.

Torge, W., 2001. Geodesy. Walter de Gruyter, Berlín.



SIMULTANEOUS ELASTIC INVERSION WITHIN COMPLEX GEOLOGICAL SETTINGS.

Pierre Lanfranchi CGG Paris

Stephen J. Pharez, & Cyrille Reiser, CGG London

Introduction

It has been clear, since the advent of 3D seismic, that there is a great deal of information contained in the modern seismic survey. Advances in recent years now provide us with accurate depth images in areas complex structure; seismic facies and attribute analysis can help us identify geological variations; acoustic and elastic impedance help us to identify stratigraphy, rock properties and fluid content; and multi-component technology is leading to fracture identification and rock property analysis. All of these properties assist in building a more accurate and common earth model. Time lapse or 4D seismic effects can be quantified in terms of reservoir production and thus feed back into the dynamic model and simulation process. Seismic then is becoming an engineering tool increasing our reservoir knowledge and adding value to the production cycle.

Data pre-conditioning

Careful pre-conditioning of the seismic data is essential prior to analysis. This includes state-of-the-art geostatistical filtering to address acquisition imprints and spectrum balancing to ensure the best quality broad bandwidth data is available for further analysis. As can be seen in figure 1 the benefits can be significant.

Simultaneous Elastic Inversion

CGG has developed an extensive toolkit for Reservoir Characterisation. A critical feature of this toolkit is the implementation of a layered approach to simultaneous elastic inversion of angle volumes, which is performed directly in a stratigraphic grid.

An arbitrary number of angle stacks are jointly inverted using a multi-trace simulated annealing optimisation algorithm to deliver estimates of Vp, Vs, density and all standard elastic attributes.

After well calibration, the derived seismic attributes are integrated into the reservoir characterisation process using geostatistical methods.

Case Studies

Application of the techniques outlined above is illustrated through a number of examples

Complex fault geometries coupled with thin beds resolution presents a challenge to reservoir characterisation. The layered acoustic impedance inversion solution helps to characterise the main reservoir, we see the lower impedance (colder blue colours) indicating the better porosity and thus better reservoir quality areas. Good communication and a good match is confirmed by the existing well data. Furthermore subsequent wells further confirmed the impedance results

Resolution to image thin layers

The layered inversion approach updates layer thicknesses (two-way time) and elastic parameters in a blocky earth model. Thin layers can be detected and elastic parameter contrasts are accurately positioned in two-way time. Figure 3 shows seismic data with a matched synthetic (red traces) at



the well location. The inserted curves show the P-wave impedance log (black curve) and the inversion result (dark brown curve). The inversion was able to resolve thin calcite stringers within the reservoir which could then be avoided for horizontal drilling.

Large angle inversion

4D pre-stack stratigraphic inversion was performed on a Tertiary reservoir composed of massive, well-sorted, high porosity sands. Due to compaction and dewatering, the sands have been remobilized and injected into shallower formations. Six angle time-migrated angle volumes were used for the simultaneous inversion to elastic properties. There is no limitation on the maximum offset or angle that can be used, except that all events should correspond to pre-critical reflections. Full Aki-Richards or Zoeppritz equations are used for the AVA modelling within the inversion engine. ρ/λ was particularly relevant for identifying fluid movement.

The results revealed an area of poor reservoir sweep which in turn, enabled the identification of an infill well. Subsequent drilling has led to a substantial uplift in field production.



ANÁLISIS DE LAS VELOCIDADES EN TERRITORIO TERRESTRE Y MARINO DEL CINTURON PLEGADO CUBANO

Dr. Gerardo Lino Arriaza Fernández. Tec. Blanca Sosa Álvarez

UCTB, Investigaciones Geofísicas DIGICUPET – CEINPET. Calle 23 No. 105, Vedado, C. Habana.
E-mail: arriaza@digicupet.cu, blanquita@digicupet.cu

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental determinar cuál tipo de velocidad debe emplearse dentro del Cinturón Plegado Cubano para la conversión "tiempo-profundidad".

Se analizaron un total de 81 Km. de líneas sísmicas terrestres PCP y 79.5 Km. de líneas sísmicas marinas. Estas áreas fueron Varadero-Cantel-Guásimas donde existen 10 pozos con PSV y en el área de Varadero Oeste, (mar) al norte de los trabajos de tierra, donde se consultaron las profundidades de los pozos direccionales que hay en ese territorio.

Los resultados obtenidos de este análisis realizados en el primer caso, utilizando las velocidades promedio (V_{ave}), raíz media cuadrática V_{rms} , de intervalo V_{int} , y las obtenidas a partir de la de V_{nmo} fueron los siguientes:

- ♦ Se observan grandes diferencias con respecto a las del pozo, utilizando las V_{ave} y las V_{int} .
- ♦ Con las V_{rms} se obtuvo una menor variación pero oscila según el tiempo de registro.
- ♦ Con las velocidades de migración V_{mig} se obtuvo un mejor resultado por lo que debe ser la seleccionada en los cálculos de la conversión tiempo-profundidad

En territorio marino se utilizaron 5 pozos direccionales. Se obtuvieron curvas "**pto del perfil VS profundidad**" a partir de las V_{nmo} de los cortes suma, de los V_{rms} y V_{int} de los cortes migrados.

Los resultados del análisis en el mar fueron:

- ♦ Deben emplearse tanto las V_{int} desde el horizonte al fondo marino, como las velocidades de intervalo promedio V_{int}^{media} considerando la profundidad del mar

ABSTRACT

VELOCITY ANALYSIS IN THE CUBAN THRUST BELT, ONSHORE AND OFFSHORE AREAS

The objective of this paper is to know what kind of seismic velocity is necessary to apply in the time-depth conversion in the Cuban Thrust Belt.

We analyzed 81 Km of CDP lines onshore and 79.5 Km of CDP lines offshore. We worked in the Varadero – Cantel – Guásima onshore area where there are 10 vertical wells with VSP log. We also worked in Varadero Oeste, offshore area where there are 5 directional wells. This area is located northward Varadero – Cantel – Guasima area.

For this analysis on the onshore area, average, RMS, NMO, interval and migration velocities were used.

The best results were obtained with migration velocity, V_{mig} .

In the offshore area, we used NMO, RMS, interval velocities and V_{int}^{ave} .

The best results were got with V_{int} and V_{int}^{ave} . In this area the depth of seismic horizons should be calculated with the formula

$$H = H_{FM} + \frac{\Delta T x V_{int}}{2}$$



INTRODUCCIÓN

Se conoce que el tema de la elección de la velocidad para la conversión tiempo – profundidad en los trabajos de sísmica aplicada, es sumamente difícil siempre que no se cuente con datos de registros de pozos de Perfilaje Sísmico Vertical PSV.

La selección de los verdaderos valores de la velocidad, Talón de Aquiles de la sísmica, en los trabajos de interpretación es un tema que resulta ser un poco complejo; sólo hay que observar cuántos tipos de velocidad sísmica el interpretador dispone para hacer su análisis. Una elección errónea de la velocidad puede conllevar tanto a crear pseudo-estructuras como a desaparecer las reales.

El tema es aún más difícil cuando el mismo se aplica a regiones tan complicadas geológicamente como el Cinturón Plegado Cubano CPC, donde existen complejas condiciones sísmo-geológicas con la presencia de fuertes medios anisotrópicos.

Dada la presencia de las condiciones de recepción de las ondas sísmicas las cuales son más difíciles al norte de la Isla y en las áreas terrestres y marinas, hemos realizado el análisis en las áreas de Varadero-Cantel-Guásimas (terrestre) y más al norte de ésta en Varadero Oeste (marina).

ESTUDIO DE LAS VELOCIDADES EN EL ÁREA TERRESTRE.

De todos los tipos de velocidades sísmicas, hemos seleccionado las velocidades promedio V_{ave} , las velocidades RMS V_{rms} y las velocidades de intervalo V_{int} que son las más comunes obtenidas durante el procesamiento de los materiales sísmicos. Sus fórmulas son las siguientes:

- Velocidad Promedio: la cual tiene en cuenta una distancia total y un tiempo total de recorrido.

$$V_{Ave}(T) = \frac{\sum_{n=0}^{n=N} V_{int}(n)T_n}{\sum_{n=0}^{n=N} T_n} \quad (1)$$

- Velocidad RMS: Se deriva de la raíz media cuadrática. En nuestro caso se utilizarán las velocidades de migración como una variante suavizada de las RMS.

$$V_{rms}^2(T) = \frac{\sum_{n=0}^{n=N} V_{int}^2(n)T_n}{\sum_{n=0}^{n=N} T_n} \quad (2)$$

- Velocidad de intervalo: combina las velocidades instantáneas sobre un intervalo determinado; las mismas se asocian a las V_{rms} que se derivan de las velocidades suma y se estima durante el procesamiento sísmico a través de la ecuación de Dix:

$$V_{int}^2(n) = \left[\frac{V_{rms}^2(n)T_n - V_{rms}^2(n-1)T_{n-1}}{T_n - T_{n-1}} \right] \quad (3)$$

El mapa de ubicación de las líneas sísmicas terrestres y marinas, de los pozos verticales perforados en tierra y los direccionales dirigidos hacia el mar se relacionan en la fig.11.



En el área Varadero-Cantel-Guásimas, se perforaron 10 pozos con registros PSV, cercanos a las líneas sísmicas, y son: Camarioca 1, 2 y 13, Cantel 1, Varadero 4 y 7, Varadero Sur 4, Guásimas 6, 50 y 51. Las líneas migradas fueron: VP-01, VP-02, VP-02E, VP-04, VP-05, VP-09, IS-02, IS-08 y IS-10.

Una serie de gráficos con las curvas de cada tipo de velocidad fueron confeccionadas donde se observan cada par tiempo - velocidad (V vs T). Éstas se compararon con la curva del registro PSV y se explican a continuación:

1. Línea OFD 95-VP-02E y el pozo Gm-6. Se observa una mayor coincidencia de todas desde 0,2-0,65 s. A mayores tiempos, la V_{mig} ofrece mejores resultados. (Fig. 1)
2. Línea OFD 95-VP-02 y el pozo Gm-6. La curva V_{mig} ofrece mejores resultados hasta los 1,27 s. A tiempos mayores se alejan de la curva del pozo aunque la más cercana sigue siendo la curva de la V_{mig} . (Fig. 2)
3. Línea OFD 95-VP-04 y el pozo Cm -2. El pozo se encuentra ubicado a 400 metros del perfil. Está muy alejado y por lo tanto es poco confiable. Además el registro del pozo tiene poca duración, hasta 0,4 s. Aún así, los valores de la curva de la V_{mig} son los más cercanos a los del pozo. (Fig. 3)
4. Línea OFD 95-VP-04 y el pozo Gm 51. Es el único caso en que los valores de las V_{NMO} son los más cercanos a los del pozo. (Fig. 4)
5. Línea OFD95-VP05 y pozo Cm-13. Los valores más cercanos a los del pozo son los de las V_{rms} . (Fig.5)
6. Línea Vara-IS08 y pozo Gm-50. La duración del registro es de 1.32 s. Hay bastante coincidencia entre las V_{rms} , V_{mig} y V_{ave} . (Fig.6)
7. Línea Vara-IS-10 y pozo Cn-1. Los valores mas cercanos a los del pozo son las V_{mig} . (Fig.7).
8. Línea OFD95- VP-09 y el pozo Varadero 4. Hay bastante coincidencia entre las V_{mig} y las del pozo desde 0,65-1,02 s. (Fig.8).
9. Línea OFD95- VP-09 y el pozo Gm-50. Hay bastante coincidencia entre las V_{mig} y las del pozo desde 0,48-1,48 s. (Fig.9).

Como se puede apreciar la curva obtenida con los datos de la V_{mig} brinda mejores resultados que las demás. Por lo tanto puede concluirse que la velocidad de migración V_{mig} debe ser la seleccionada en los cálculos de la conversión tiempo-profundidad.

ANÁLISIS DE LAS VELOCIDADES EN TERRITORIO MARINO.

En el área marina es necesario considerar la potente capa de agua ya que la misma afecta el análisis de las velocidades durante el proceso del procesamiento de los datos sísmicos. Aquí se utilizaron una serie de pozos direccionales en Varadero los que, conjuntamente con la existencia de una red de perfiles, sirvieron para desarrollar este epígrafe.

En el Anexo 1 se muestran la red de perfiles interceptados por los pozos direccionales y en la tabla 1 se muestran los puntos de análisis escogidos para hacer este estudio.

Las coordenadas X, Y son las de los puntos de intercepción entre la línea y el pozo inclinado. La H es la profundidad tomada en el punto del horizonte de interés.

La formula a utilizar en estos casos sería:

$$H = H_{FM} + \frac{\Delta T_x V_{int}}{2} \quad (1) \text{ donde:}$$



H: profundidad del horizonte de interés

H_{FM} : Profundidad del Fondo Marino

V_{int} : Velocidad de Intervalo

Δt : diferencia de tiempo entre el horizonte y el fondo marino

Los tipos de velocidad de intervalo a utilizar en la conversión tiempo-profundidad se calcularon a partir de las V_{NMO} (de los cortes suma final), V_{rms} y V_{int} (de los cortes migrados).

La fórmula que se emplearía para el cálculo de la V_{int} entre el horizonte y el fondo marino será la de Dix para los dos primeros casos:

$$V_{int}^2(n) = \left[\frac{V_{rms}^2(n)T_n - V_{rms}^2(n-1)T_{n-1}}{T_n - T_{n-1}} \right] \quad (2)$$

En el 3er caso, el cálculo de la velocidad media de intervalo, se procederá de la manera siguiente:

$$V_{int}^{media} = \left[\frac{V_{int1} + V_{int2} + V_{int3} + \dots + V_{intn}}{n} \right] \quad (3)$$

De esta manera se obtendrán los valores de velocidad siguientes:

- $V_{int}^{(nmo)}$ → velocidad de intervalo entre el horizonte y el fondo marino a partir de las V_{nmo} de los cortes suma final
- $V_{int}^{(rms)}$ → velocidad de intervalo entre el horizonte y el fondo marino a partir de las V_{rms} de los cortes migrados
- $V_{int}^{(media)}$ → velocidad media de intervalo entre el horizonte y el fondo marino a partir de las V_{int} de los cortes migrados

Aplicando la formula (1) se conseguirán las profundidades en los puntos de intercepción:

- H_{nmo} → Profundidad calculada a partir de las $V_{int}^{(nmo)}$
- H_{rms} → Profundidad calculada a partir de las $V_{int}^{(rms)}$
- H_{int} → Profundidad calculada a partir de las $V_{int}^{(media)}$

En la tabla 2 se muestran los cálculos de estas profundidades y sus diferencias con respecto a las del pozo.

En la figura 10 se expone un gráfico comparando las profundidades del pozo con las calculadas con los distintos tipos de velocidades.

Observando el gráfico y las diferencias entre las profundidades con respecto a las del pozo en la tabla 2, se puede concluir que los mejores resultados se obtendrán utilizando las $V_{int}^{(nmo)}$ y las $V_{int}^{(media)}$

Las diferencias en las profundidades correspondientes se relacionan a continuación:

- Utilizando las $V_{int}^{(rms)}$ las diferencias van desde (-120) – (+162) m con valores anómalos de (-870) – (+367) m. las que pudieran corresponder a valores erróneos en la elección de las velocidades durante el procesamiento.
- Utilizando las $V_{int}^{(media)}$ las diferencias van desde (-145) – (+150) m con valores anómalos de (+484) – (+189) m.



CONCLUSIONES.

- La velocidad de migración V_{mig} debe ser la seleccionada en los cálculos de la conversión tiempo-profundidad en las investigaciones sísmicas terrestres dentro del Cinturón Plegado Cubano.
- En el Cinturón Plegado Cubano dentro del territorio marino las velocidades $V_{int}^{(rms)}$ y $V_{int}^{(media)}$ ofrecen mejores resultados que las demás por lo que se deben incluir en el análisis de la conversión tiempo – profundidad.

BIBLIOGRAFIA

- Sorá et al. Proyecto 2511. Etapa 1.
Sorá et al. Proyecto 2511. Etapa 2.
Sorá et al. Proyecto 2511. Etapa 3
G. Arriaza Nuevos enfoques en la interpretación y procesamiento de las ondas refractadas para el estudio del basamento en Cuba. Tesis. 1998.
R. Socorro, S. López, J. I. Prol. Estructura geológica del Bloque6 y los Bloques 7, 9,10 y Varadero Oeste. 1998
R. Socorro, S. López y otros Estructura geológica del bloque 6 y los Bloques 7, 9, 10 y Varadero Oeste. 1998
S. Núñez, E. Martínez, A .del Río Informe al proyecto 1056 sobre trabajos sísmicos marinos de reflexión PCP en el área Bahía de Matanzas a Cayo Mono. 1991
Yilmaz O, 1989 "Seismic data processing" Series: Investigations in Geophysics"Vol 2 SEG

FIGURAS

1. Línea OFD95-VP02E y pozo Gm-6
2. Línea OFD95-VP02 y pozo Gm-6
3. Línea OFD95-VP04 y pozo Cm-2
4. Línea OFD95-VP04 y pozo Gm-51
5. Línea OFD95-VP05 (suma) y pozo Cm-13
6. Línea Vara-IS-08 y pozo Gm-50
7. Línea VARA-IS10 y pozo Cn-1
8. Línea OFD95-VP09 y pozo V-4
9. Línea OFD95-VP09 y pozo Gm-50
10. Gráfico de comparación de las profundidades calculadas por los datos del procesamiento y las de los pozos direccionales en el área marina
11. Esquema de ubicación de las líneas sísmicas, (en mar y tierra), pozos con PSV y los pozos direccionales

TABLAS

1. RELACION DE PERFILES Y POZOS EN EL ÁREA MARINA

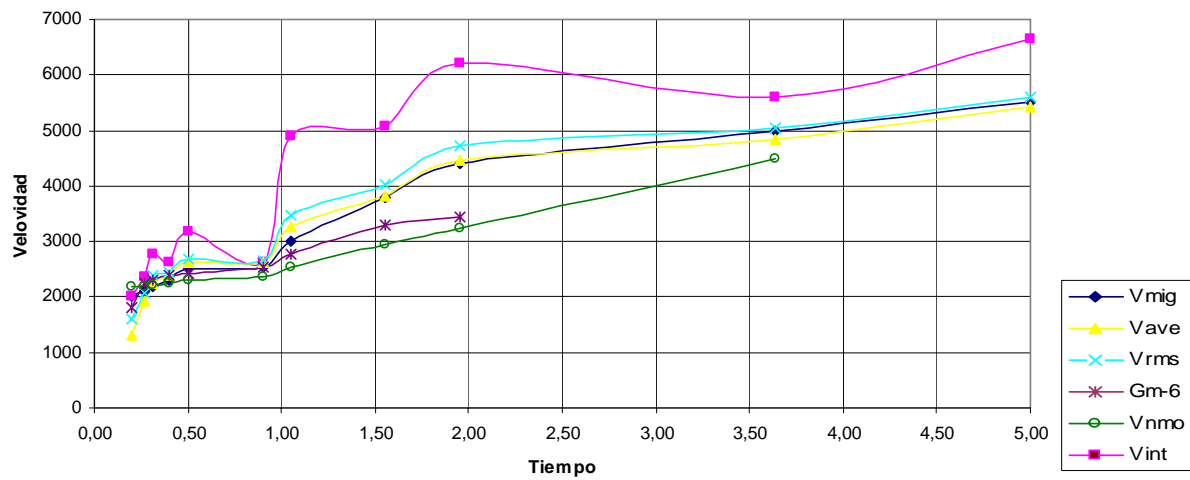


Fig. V.1. Línea OFD95-VP02E y pozo Gm-6

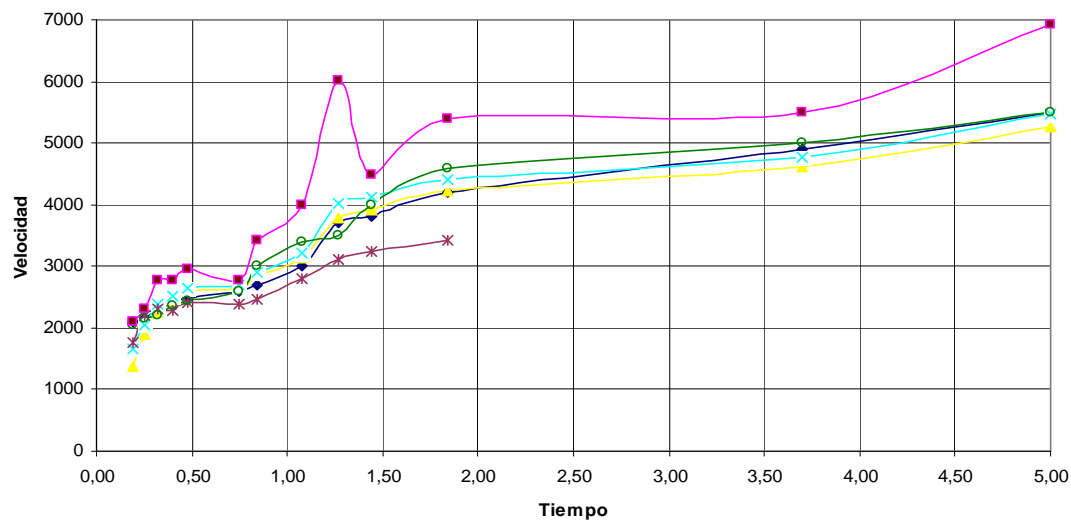


Fig. V.2. Línea OFD95-VP02 y pozo Gm-6

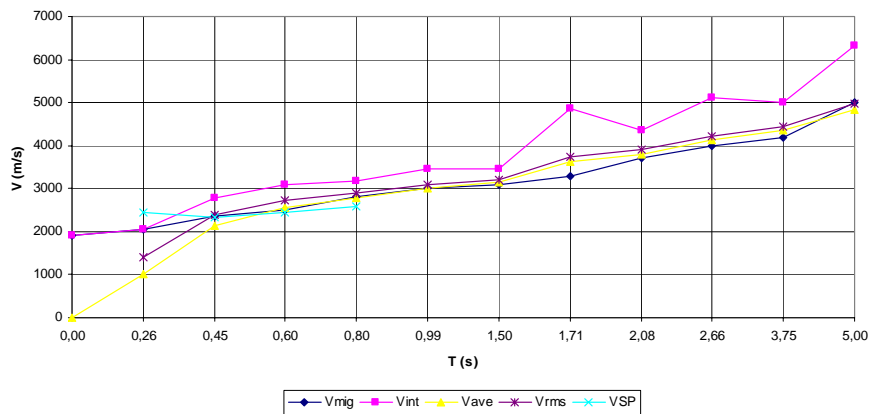


Fig. V3. Línea OFD95-VP04 y pozo Cm-2

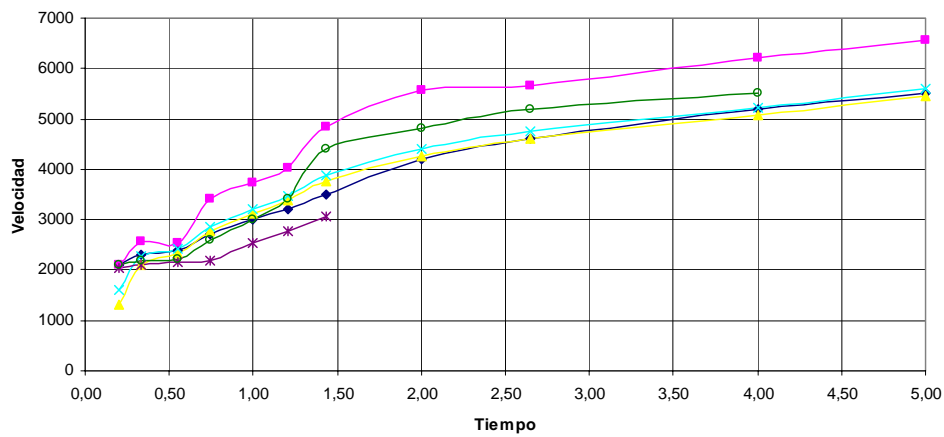


Fig. V4. Línea OFD95-VP04 y pozo Gm-51

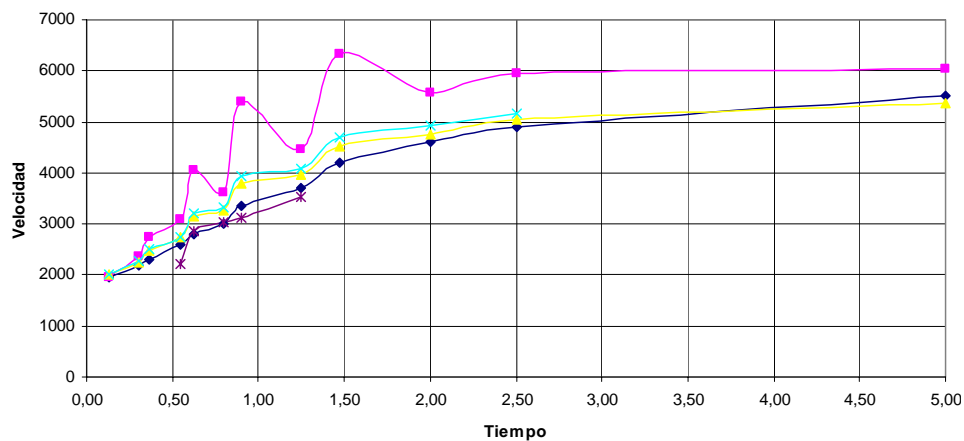


Fig. V5. Línea OFD95-VP05 (suma) y pozo Cm-13

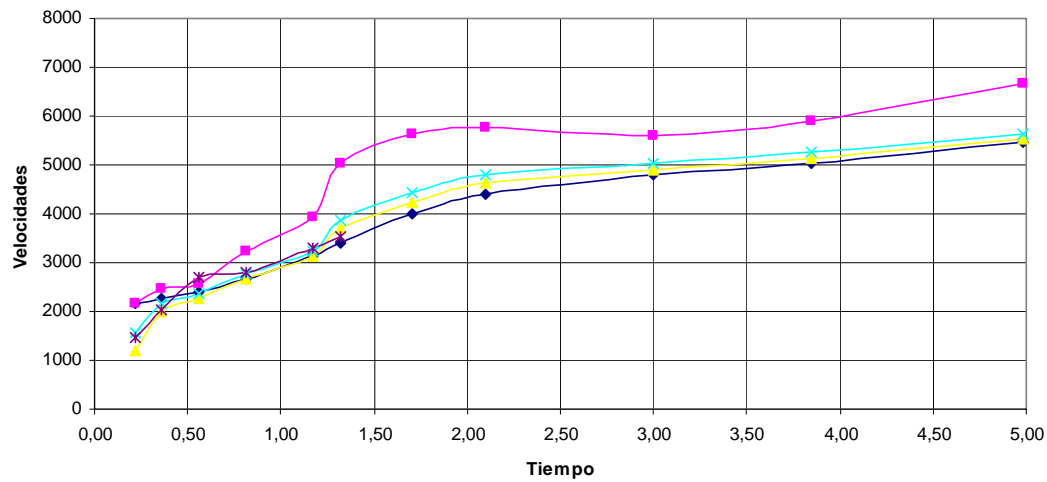


Fig. V.6. Línea Vara-IS-08 y pozo Gm-50

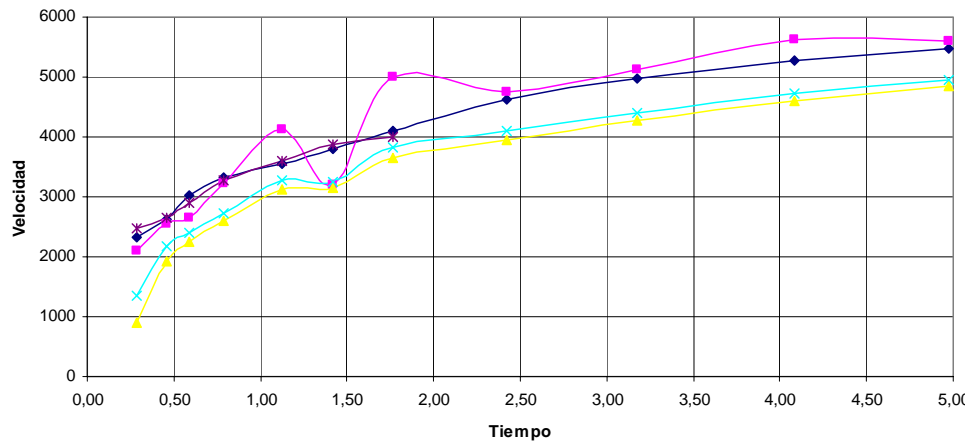


Fig. V.7. Línea VARA-IS10 y pozo Cn-1

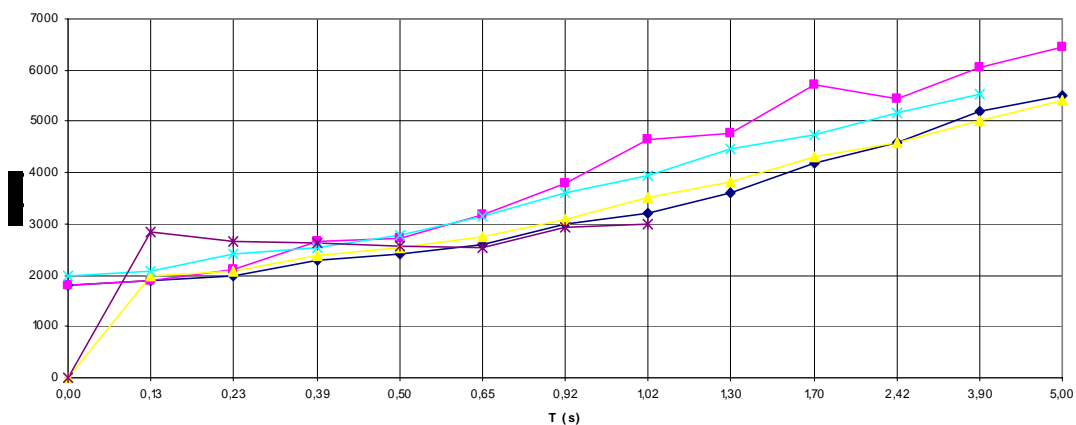


Fig. V.8. Línea OFD95-VP09 y pozo V-4

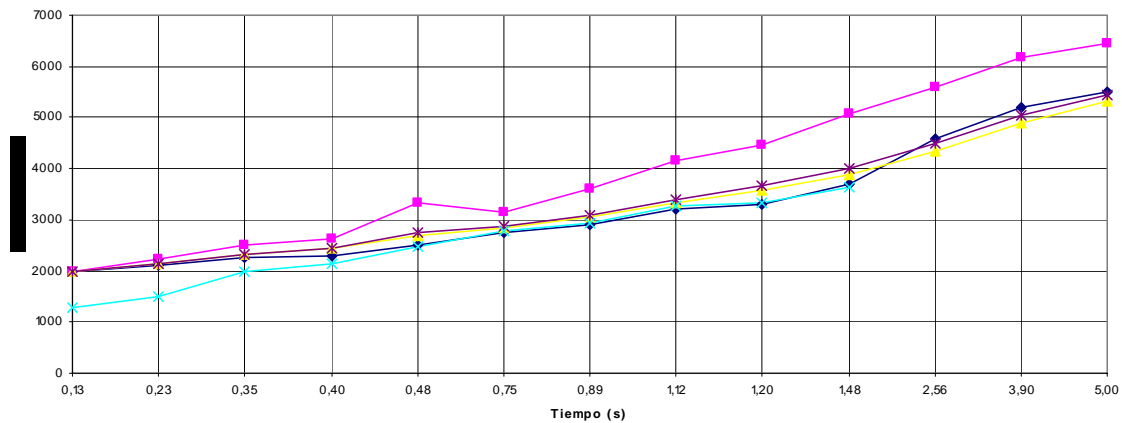


Fig. V.9. Línea OFD95-VP09 y pozo Gm-50

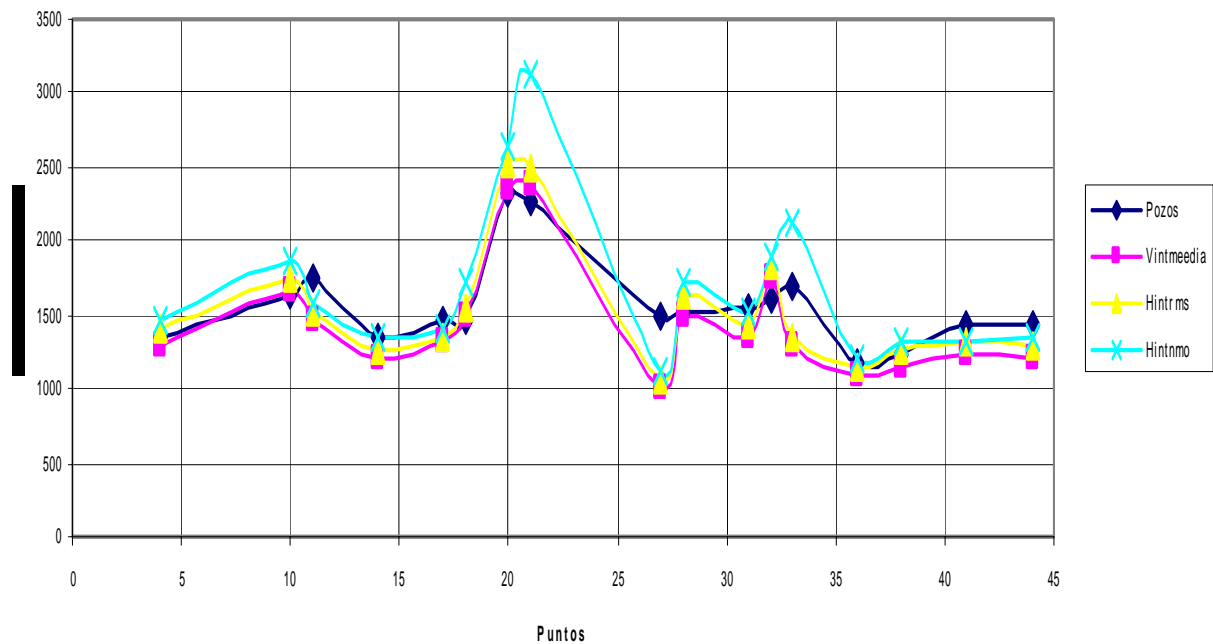


FIG 10. Gráfico de comparación de las profundidades calculadas por los datos del procesamiento y las de los pozos direccionales en el área marina

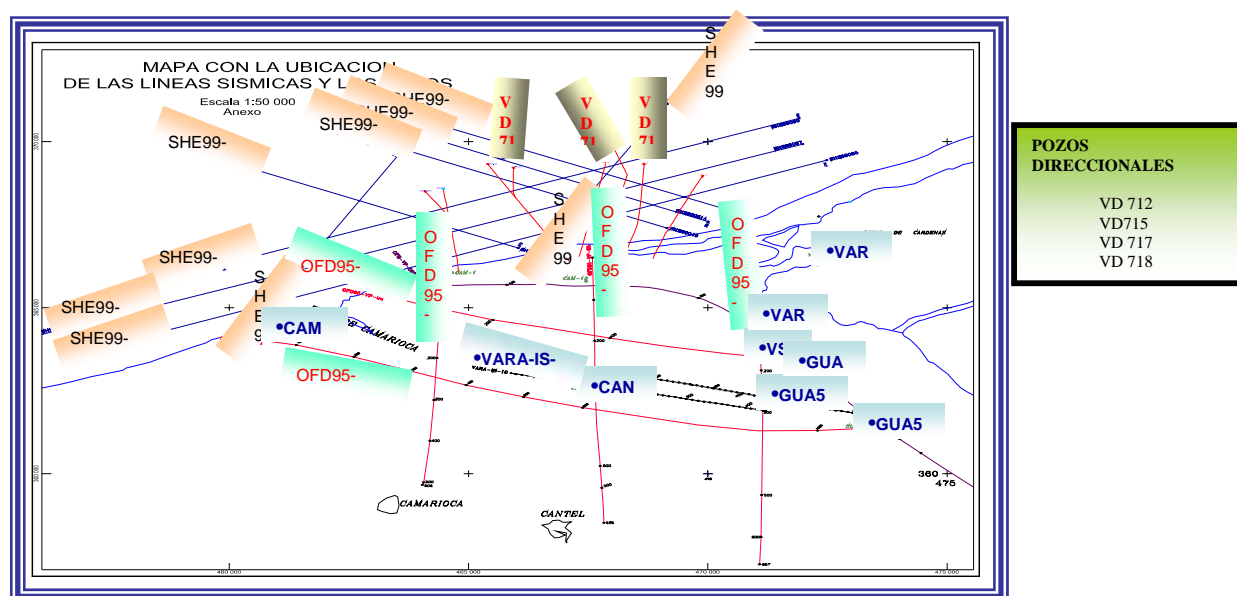


Fig. V.11. Esquema de ubicación de las líneas sísmicas, (en mar y tierra), pozos con PSV y los pozos direccionales

TABLA I. RELACION DE PERFILES Y POZOS EN EL ÁREA MARINA

Pozo	Punto	X	Y	H	Líneas
VD 712	4	466 251	367 957	1340	67
	10	465 874	368 496	1640	69
	11	465 639	368 905	1750	49
VD 715	14	468 058	367 865	1340	49
	17	468 181	368 402	1460	51A
	18	468 218	368 566	1470	67
	20	468 283	368 848	2310	53
	21	468 196	369 345	2270	69
VD 717	27	467 610	368 058	1480	49
	28	367 675	368 370	1520	67
	31	467 765	368 822	1550	51A
	32	467 808	369 054	1600	74
	33	467 843	369 215	1690	69
VD718	36	464 651	367 280	1170	67
	38	464 635	367 397	1220	43
	41	464 549	368 012	1440	69
719	44	468 546	367 660	1425	49



RETOS DE LA ADQUISICIÓN SÍSMICA EN CINTURONES PLEGADOS Y CABALGADOS. EXPERIENCIAS CUBANAS

Romel J. Ojeda César, Pilar E. Aballí Fortén, América Sorá Monroy

UCTB Inv. Geofísicas (DIGICUPET), CEINPET. Calle 23 #105, Vedado, Ciudad de la Habana, Cuba

RESUMEN

El trabajo recoge las experiencias acumuladas en Cuba sobre la adquisición sísmica en cinturones plegados y cabalgados, tanto en tierra como en el mar.

Se basa tanto en la recopilación estadística como en nuestra propia experiencia a lo largo de varios años de trabajo de campo.

En la recopilación se presentan los parámetros de adquisición sísmica empleados por CUPET y por las compañías extranjeras en diferentes escenarios geológicos dentro del cinturón plegado y sobre recorrido cubano. Estos parámetros se han ido perfeccionando a lo largo del período objeto de análisis, que abarca varios años de trabajo, persiguiendo en cada caso acercarse a una adquisición óptima o al menos adecuada para los escenarios antes mencionados. Esto ha representado un desafío para la exploración petrolera en Cuba, pues además de los retos implícitos en la complejidad de la geología, han existido otros, no menos complejos, de diferente índole.

Se analizan las ventajas y desventajas del uso de la prospección sísmica, así como de diversos parámetros de adquisición y se hacen recomendaciones para su utilización más adecuada en el futuro, de manera que puedan tomarse como referencia para un mejor diseño de adquisiciones sísmicas en zonas de plegamiento y cabalgamiento, y particularmente en el cinturón plegado y cabalgado cubano.

ABSTRACT

This paper is referring to the Cuban's experiences about seismic acquisition in fold and thrust belts, both, land and marine acquisition.

It is based on statistic compilation, as well as on our own experience during many years of field works.

In the compilation are given the parameters of seismic acquisition used by CUPET and the Foreign Companies in different geological environment of the Cuban Fold and Thrust Belt. These parameters have been improved during the period of analysis, which comprises many years of work, trying in any case to get close to an optimum or at least adequate acquisition for different areas of this belt. This has represented a challenge for oil exploration in Cuba, because to those problems related to the complex geology, it is necessary to add others, of different nature.

The advantages and disadvantages, in using seismic prospecting for this kind of geology, are analyzed. Some acquisition parameters are analyzed as well, recommending their better use for future seismic surveys in such adequate manner, that can be taking into consideration for a better design of seismic acquisition in zones of fold and thrust belt, particularly in the Cuban Fold and Thrust Belt.

INTRODUCCIÓN

La adquisición sísmica en cinturones plegados y cabalgados, con fines de exploración petrolera, constituye una tarea difícil, pero si ésta es la realidad que debemos enfrentar, pues una buena parte de la reserva conocida del país proviene de ese entorno geológico, de manera que ésta forma parte de ese aproximadamente 20 % que en varios países,



representa el total de las reservas de hidrocarburos, entonces está claro que debemos asumir los riesgos que nos impone adquirir sísmica en tales áreas geológicas, ya que lo que sí no podemos dejar de hacer es continuar con la exploración petrolera, tan vital para el país como una vía para resolver las necesidades energéticas.

En el presente trabajo pretendemos adentrarnos un poco en algunos resultados obtenidos en Cuba en un sector del cinturón plegado y cabalgado, mediante el empleo de la adquisición sísmica; así como en algunas de las limitantes de la sísmica para darle solución a la tarea de mapear una imagen adecuada del subsuelo

En fin, trataremos de llegar a algunas conclusiones que consideramos importantes y hacer algunas recomendaciones que pudieran tenerse en cuenta en adquisiciones futuras en tales áreas de nuestra geografía, sin que ello pueda tomarse como una verdad absoluta, pues somos conscientes de que, lo que es válido para un área y, en un determinado momento, no lo es para otra área; Se trata pues, de una búsqueda diferenciada que tome en cuenta las experiencias obtenidas con adquisiciones precedentes en otras áreas.

En otras palabras, trataremos de exponer de una forma lo más directamente posible, las experiencias que para Cuba ha representado el reto de adquirir sísmica en presencia de cinturones plegados y cabalgados.

En Cuba la adquisición sísmica con fines petroleros data de la década de los cincuenta, década en la que las compañías americanas hicieron algunos trabajos, pero no es hasta los primeros años de la década de los sesenta que, con la asesoría de especialistas de la antigua Unión Soviética, se realizan los primeros trabajos que podemos considerar como propios de una adquisición sísmica. Los mismos fueron realizados tanto en áreas de cuenca, como en áreas de cinturones plegados y cabalgados y si bien en esos inicios hubo resultados que podemos considerar como alentadores, los mismos no se debieron precisamente a la sísmica, pues fue mayor el peso de los campos potenciales.

En este trabajo, nos referiremos a las técnicas y tecnologías empleadas algo más tarde, es decir, a partir de los setenta del pasado siglo.

¿Por qué la adquisición sísmica en cinturones plegados y cabalgados constituye un reto?

No es un secreto que la adquisición sísmica en cinturones plegados constituye un desafío; no obstante, y a modo de recordatorio, a continuación nos referiremos a algunos factores que hacen que la adquisición sísmica en cinturones plegados y cabalgados constituya un reto:

- Los objetivos de interés para la exploración y, sobre la base de los cuales se diseña la adquisición sísmica en tal medio geológico, no son lo suficientemente expresivos para que puedan ser mapeados.
- La presencia de reflectores cortos, que no permiten darle seguimiento a una frontera de interés, es característica para este tipo de entorno geológico.
- Horizontes de interés escondidos por debajo de la envolvente de los mismos, como es el caso de pliegues escamas por debajo de una superficie de discordancia, siendo posible obtener como imagen sólo una antiforma que sigue dicha envolvente.
- Insuficiencia del modelo geológico, en el que se basa el diseño de adquisición sísmica o complejidad de éste, de manera que conspira contra la mejor estrategia de diseño, sobre todo en el caso de áreas vírgenes.
- Obsolescencia de un determinado modelo geológico o adaptación de éste, como consecuencia de un mejor conocimiento de un área que hace que una nueva adquisición en la misma, basada en un diseño previamente concebido, también devenga obsoleto o,



lo que es peor, si el modelo utilizado fue erróneo, es muy probable que el diseño de adquisición también lo sea.

- Contar con limitados recursos financieros que imposibiliten mejorar la resolución sísmica adquiriendo por ejemplo, una 3D multicomponente, que reduzca la anisotropía y la presencia de ondas laterales, así como que evite el problema de los amarres en la dirección del buzamiento, fenómenos tan comunes en estas áreas.

- Inadecuado uso de los métodos geofísicos complejos que tiene en cuenta el empleo de los campos potenciales y estudios geológicos de superficie, incluyendo la geoquímica, sobre todo, en presencia de afloramientos relacionados con las unidades tectónico-estratigráficas (UTE, presumiblemente colectoras).

- Elección inadecuada de la dirección de disparo en relación con los ángulos de buzamientos, teniendo como consecuencia una respuesta sísmica también inadecuada del medio, máxime si a ello se suma el empleo de un offset lejano insuficiente, lo que se traduce en una pobre imagen del subsuelo.

Con la presencia de esos retos y riesgos, nuestro país ha venido acumulando una experiencia de adquisición sísmica en ese medio hostil, que data ya de varias décadas, con resultados positivos y menos positivos, pero ante todo, sin que la experiencia acumulada pueda hacer desaparecer los riesgos que este tipo de adquisición implica, en el presente y también en el futuro.

En la Tabla No. I se presenta una recopilación estadística muy abreviada, por razones obvias, de las principales adquisiciones realizadas en Cuba en una de las principales áreas del cinturón plegado y cabalgado cubano, es decir, en el área de Varadero y del litoral Habana-Matanzas.

En estas áreas complejas (Ver el modelo geológico para un sector del área de estudio de la Fig.1), en Cuba se han venido realizando trabajos sísmicos desde finales de la década del 40, del siglo pasado, pero de esa época se conserva muy poca información; un trabajo sísmico más sistemático se vino realizando desde la década del sesenta, fundamentalmente con campañas exploratorias realizadas con asesoría soviética, empleándose técnicas como: Método de las Ondas Reflejadas (simple), también conocido como MOR, Recepción Dirigida (RDR) y otros métodos hasta el empleo del método del Punto Común de Profundidad (PCP o CMP, por sus siglas en Inglés)

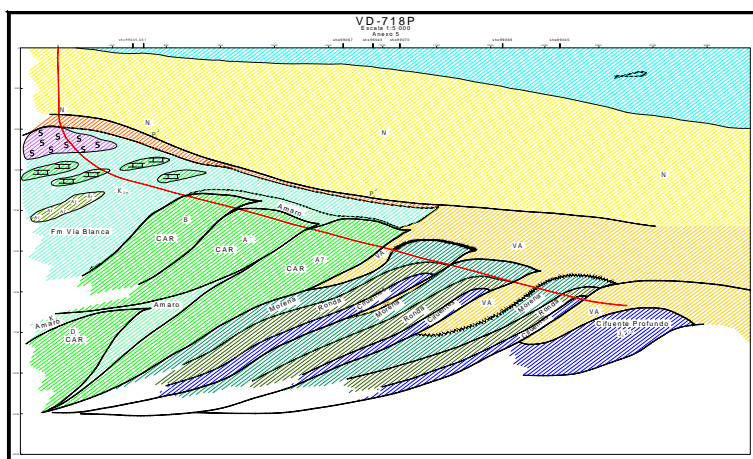


Fig. 1. Modelo geológico sobre la base de la perforación dirigida en un sector del área de estudio.



En el área que nos ocupa se han realizado varias campañas sísmicas, teniendo como denominador común, el carácter de reconocimiento o búsqueda de la mayoría de ellas. Estas campañas sísmicas comenzaron en el año 1979, extendiéndose hasta 1997, en el sector terrestre, y hasta el 2003 en el caso del sector marino, y en su mayoría fueron campañas de sísmica 2D, con la excepción de dos 3D adquiridas en la Bahía de Cárdenas, una de ellas con cable de arrastre y otra con cable de fondo (1995) que, por sus características, se asemeja más a una adquisición terrestre que marina.

La mayoría de estas campañas sísmicas fueron adquiridas en tierra, empleando como fuente de excitación, el explosivo y con una característica común: un grado de recubrimiento bajo, y empleo de offsets cortos, por lo general, en los primeros años de la década de los ochenta: 1200%, 2400%. La situación cambió después de mediados de esa década, en la que se hicieron proyectos de adquisición con cobertura 4800% y hasta 9600% (1990), aunque la longitud del offset continuó siendo relativamente pequeña, pues a veces se emplearon tendidos (**spreads**) de encuentro y no centrales (**split spreads**), en aras de suplir la insuficiencia de materiales, especialmente de grupos de geófonos, lo que implicaba una desventaja adicional,

A partir de la década de los 90, después de extenderse la exploración petrolera a las compañías extranjeras, en proyectos de exploración compartida entre Cupet y dichas firmas, nuevas adquisiciones sísmicas se realizaron en el área, empleándose fuentes vibratorias, con pequeños sectores de líneas sísmicas con explosivo, ahí donde no fue posible vibrar y, por lo general, sólo pop shots. En cuanto a la cobertura, ésta fue de un mínimo de 8000%.

Las primeras adquisiciones se hicieron empleando fuente explosiva en pozos unitarios, en su mayoría, con profundidades variables, que respondían a un patrón único: implantar las cargas de trotyl sísmico (una especie de TNT), por debajo de la zona de bajas velocidades, la cual se determinaba sobre la base de datos de micro refracción o MSC, según fuera el caso. Esos resultados de los trabajos con explosivos y con emplazamiento de la carga a la profundidad correcta, fueron aceptables como bien puede observarse en la Fig.2.

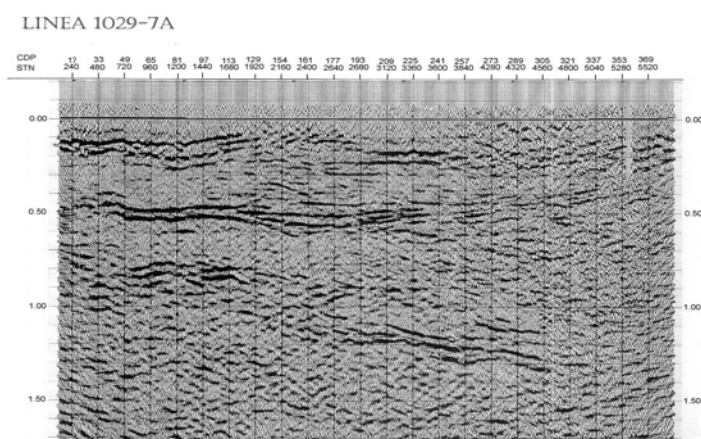


Fig.2. Sección Sísmica correspondiente a la Línea 7 del Proyecto 1029 A de Cupet, adquirida con explosivo.

De igual manera, se emplearon sistemas de registro analógico, lo que lógicamente traía aparejado las limitaciones propias de estas técnicas, en primer lugar relacionadas con el



rango dinámico, que como se sabe oscila entre 40 y 45 dB, dificultando el almacenamiento de los datos en las bandas magnéticas empleadas, siendo necesario comprimir la señal mediante el uso de amplificadores analógicos con circuitos especiales que, expandían o suprimían el nivel de ganancia durante su grabación en forma de control automático de ganancia. De igual forma, analógicos fueron los filtros empleados para la grabación y la reproducción de la información, así como los equipos de grabación magnética, que empleaban bien amplitud modulada o frecuencia moduladas. Si a ello se suma el hecho de que los cables sísmicos empleados fueron fabricados en situ por los propios técnicos de campo, sin que respondieran a estándares de la industria petrolera, con problemas de aislamientos y fuentes de ruidos aleatorios, que elevaban el reto de adquirir una buena sísmica en ese medio geológico desafiante que son los cinturones plegados y cabalgados.

Como reto principal de estas primeras adquisiciones, por un lado tenemos, el empleo de una baja cobertura que conlleva a una baja relación Señal / Ruido, pues como se sabe, la atenuación de los ruidos aleatorios, es del orden de $N^{-1/2}$, donde N es el orden del recubrimiento o cobertura empleada y el empleo de offsets cortos que en nada beneficia el cumplimiento de mapear objetivos profundos con grandes buzamientos.

A los ruidos aleatorios hay que agregar la presencia de diversos ruidos coherentes, entre los cuales los más importantes están relacionados con la presencia de ruidos pseudo Rayleigh, como es el caso del ground roll, de ondas refractadas y reflejado-refractadas, ondas múltiples o múltiplemente reflejadas y la onda sonido, fácilmente identificable en el registro, dada su velocidad de propagación. Estos ruidos en parte son cancelados mediante las técnicas de adquisición que discriminan en el número de onda (k), usando arreglos de geófonos y patrones de disparo o vibración adecuados, pero aun así, a veces el ruido es lo suficientemente fuerte como para prevalecer y en ocasiones enmascarar las señales primarias o útiles, pero ello no constituye un serio problema, pues desde hace tiempo las técnicas de procesamiento salvan ese escollo, mediante el empleo de filtros en el dominio F-K. En cuanto a las ondas refractadas, pueden ser suprimidas mediante el empleo de las técnicas de mute en el procesamiento, al igual que algunos ruidos incoherentes superficiales. Las cosas se presentan más difícilmente con las ondas múltiples, pues a diferencia de los ruidos coherentes mencionados, su hodógrafo no es lineal, por el contrario, muchas veces pueden ser confundidas con las primarias aunque su cinemática es algo mayor que la de las primarias, de modo que con un buen diseño de recubrimiento y dependiente del offset, pueden discriminarse, precisando de offsets grandes, lo cual no fue posible en las primeras adquisiciones, trayendo diversas polémicas de los interpretadores relacionadas con su naturaleza. Todavía queda como recurso el hecho de que el tiempo de arribo de una múltiple en relación con la primaria, procedente de un mismo horizonte es el doble y una discriminación en frecuencia dependiendo del material que ambas atraviesan y de la trayectoria en sí. Realmente la presencia de ondas múltiple es menos seria en las adquisiciones terrestres que en las marinas.

En el caso que nos ocupa, para objetivos situados a 3000 m, consideramos que puede esperarse una resolución vertical de unos 25 m, mientras que la resolución horizontal (R_h) esperada sería del orden de los 274 m, pudiendo ser reducida a unos 46 m con la migración. Ello explica que a pesar de los problemas y otros desafíos enfrentados por la adquisición en el medio geológico que nos ocupa, los datos hayan sido interpretables y los resultados estén en los descubrimientos conocidos en el área, que por demás están entre los mayores del país.

A esas dificultades, hay que sumar que muchos de los problemas que antes mencionamos relacionados con el reto que significa la adquisición sísmica en cinturones plegados y cabalgados, estuvieron presentes en la ejecución de estas adquisiciones del



sector terrestre de nuestro propio cinturón plegado, siendo uno de gran importancia, el relacionado con el modelo geológico que se empleaba, el cual difería mucho del actual. Una vez introducidos los sistemas digitales, con ellos aparecieron los problemas propios del muestreo digital, es decir, el aliasing, tanto de tipo temporal, como espacial, pues por razones obvias no siempre se hizo un muestreo a razón de al menos dos muestras por período, en el primer caso o dos muestras por longitud de onda (λ), en el segundo.



Sabido es que:

$\Delta T = 1/2 f \text{ max}$; $f_n = 1/2 \Delta T$; f_n = frecuencia de Nyquist para el caso del muestreo temporal ; $\Delta x = 1/2k \text{ max}$; $k = 1/\lambda$; $k_n = 1/2\Delta x$; k_{max} = frecuencia espacial máxima
 k_n = frecuencia de Nyquist

Muchas otras dificultades y problemas se presentaron en esta primera etapa, que soslayamos en el marco del presente trabajo, pero como resultado de los mismos y con un apoyo sustancial de los campos potenciales, fueron descubiertos algunos de los yacimientos petrolíferos más importantes de los hasta ahora conocidos en el país.

Una vez que comenzaron a explorar en Cuba las compañías extranjeras, mediante contratos de exploración compartida, nuevas campañas sísmicas se realizaron en el área, empleándose como fuente de excitación la de tipo vibratoria, con distintos patrones de vibración y longitud de barridos, así como distintas bandas de frecuencia. En todos los casos el tipo de barrido fue lineal, ascendente y con los vibradores alineados a lo largo del perfil (línea sísmica), vibrándose en el centro de las estacas.

Por otra parte, se usaron tendidos centrales y largos, con arreglos de geófonos adecuados, tanto para evitar problemas de aliasing espacial, como para cancelar lo máximo posible, ruidos de tipo coherente, como el ground roll. En fin, se emplearon sistemas de adquisición sísmica de 16 y 24 bits, lo que implica un considerable aumento del rango dinámico de la señal adquirida y, ahí donde no fue posible vibrar por la presencia de obstáculos naturales se utilizó fuente explosiva, mediante el uso de pop shots.

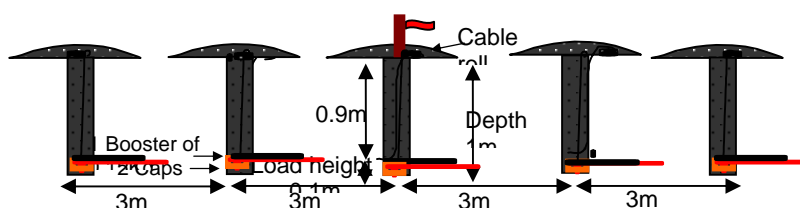


Fig. 3. Patrón utilizado para la realización de los pop shots (Cortesía de CGG)

En honor a la verdad, las mejoras obtenidas como consecuencia del empleo de nuevas técnicas, no fueron sumamente notables, lo que por una parte, según nuestro modesto criterio estuvo dado entre otras razones por el tipo de patrón de vibración, a pesar de utilizarse dispositivos electrónicos Pelton, que contribuyen a preservar los componentes de alta frecuencia, por un lado y a dirigir los rayos (**beam steering**) por otro, que tiene en cuenta los ángulos de buzamientos de las capas, todo lo cual implica la obtención de una buena resolución sísmica. A modo de recordación debemos decir que, la Resolución vertical depende de la longitud de onda (λ) y, por tanto de la frecuencia, mediante la siguiente fórmula:

$$R_v = \lambda/4 = V/4f \quad ; \quad \text{Detectabilidad} = \lambda/8 = V/8f$$

En cuanto a la Resolución horizontal, esta está dada por:

$$R_h = 2((Z + \lambda/8)^2 - Z^2)^{1/2}$$

Siendo R_h el diámetro de Fresnel, aunque la mayoría de los especialistas prefieren referirse al radio de Fresnel y z la profundidad del objetivo

De las fórmulas precedentes, resulta obvio que para detectar objetivos consistentes en capas delgadas se requiere de un gran contenido de frecuencia y en el caso de la R_h , ésta define la dispersión lateral de la señal, que se ve reducida por la zona de Fresnel, aunque sabemos que durante el procesamiento de los datos esta se ve recuperada en un orden superior a seis veces.



Creemos además que muchas veces, el pobre acoplamiento de las placas o platos de los vibroseis, favoreció la aparición de distorsión armónica y, finalmente la presencia de una compleja geología en la zona, con una gran cubierta de rocas ofiolíticas del Terreno Zaza, contribuyó grandemente a que no fueran espectaculares los resultados obtenidos como consecuencia del empleo de técnicas y tecnologías más avanzadas.

Un ejemplo del resultado de estas adquisiciones, empleando las nuevas técnicas y tecnologías se presenta en la Fig. 4.

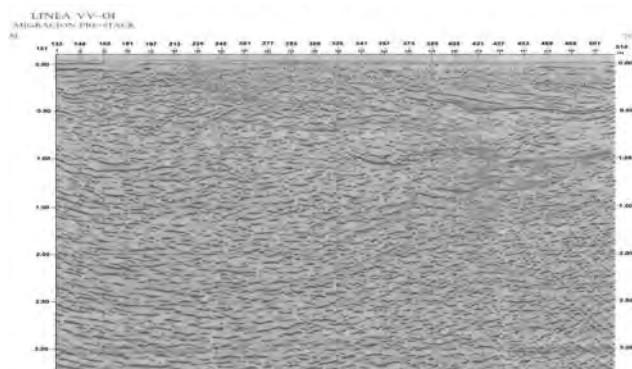


Fig. 4. Sección sísmica en la que se muestra el resultado de la introducción de nuevas técnicas y tecnologías en un sector del área terrestre, cubierto por el Terreno Zaza

En cuanto sector marino del área en la que estamos exponiendo nuestras experiencias, varias campañas sísmicas fueron realizadas. Estas van desde aguas súper someras de una bahía interior, como la de Cárdenas, en la que se realizaron dos proyectos 2D y otros dos 3D. Por las características de estas aguas y el empleo de cables de fondo y hasta explosivo en la primera etapa, los resultados son muy similares a los obtenidos en tierra. A partir de 1987, el empleo del trotyl sísmico fue sustituido por el uso de cañones neumáticos (airgun) y sólo en un caso de una 3D se empleó cable de arrastre. Hasta el momento, uno de los mejores resultados, en cuanto a resolución sísmica y penetración de la señal en dicha área se obtuvo como resultado de una adquisición sísmica 2, en un Proyecto conocido como 1044A, como resultado del mismo fue posible obtener una buena imagen del subsuelo, mapeándose los mantos de los carbonatos plegados y cabalgados de la zona.

En cuanto al área Costa Afuera del sector que hemos escogido para el análisis de este trabajo, también se llevaron a cabo varias campañas sísmicas, las cuales se muestran en la Tabla I. Estas van desde adquisiciones en aguas profundas, cuyas prolongaciones hacía el sur se extendieron hasta las aguas somero-profundas del Cinturón Plegado y Cabalgado.

A diferencia de la zona terrestre e, incluso del sector marino interior como el mencionado en la Bahía de Cárdenas, los retos de la adquisición sísmica se presentan algo diferente, pues diferentes son también las técnicas y tecnologías empleadas, y en el área está ausente la gran cubierta ofiolítica que sobreyace a las formaciones carbonatadas del Cinturón, lo que hace menos compleja la adquisición.

Algunas de estas adquisiciones tuvieron muy baja cobertura, de manera que al igual que lo que se ha descrito hasta ahora, el resultado de la relación Señal / Ruido fue bajo también. Por otra parte, la naturaleza de los ruidos es muy similar a los presentes en tierra, aunque por estar presentes con mayor fuerza que en tierra, nos detendremos un poco en las ondas múltiples. Entre éstas, las reverberaciones estuvieron presentes en todas las adquisiciones, tratándose de un fenómeno oscilatorio asociado con la



estratificación del agua, en el que sucesivas múltiples se mezclan en una oscilación más o menos continua. Esta sucesión es más discreta en aguas más profundas y puede ser resuelta con el empleo de las técnicas de deconvolución.

Las múltiples de trayectorias largas pueden ser discriminadas más fácilmente y por tanto, suprimidas o al menos atenuadas con técnicas de procesamiento antimúltiples que trabajan en el dominio tau-P, pero aquellas dependientes de offsets pequeños pueden enmascarar las ondas primarias y llevar a interpretaciones erróneas, las cuales no han estado ausentes en el área de estudio. Por lo que es recomendable usar cables de arrastre (streamers) lo suficientemente largos, aunque ello, más allá de problemas de maniobras en adquisiciones cercanas al litoral, puede agravar el problema de la deriva o ángulo de plumaje, en un área con fuertes corrientes relacionadas con los cambios de marea.

La mayor longitud de cable empleada en estas aguas ha sido de 3000 m y, los algoritmos antimúltiples empleados hasta ahora no han sido capaces de dar una solución definitiva a la supresión de las mismas, sobre todo a las procedentes del fondo marino que en nuestro caso deviene un potente generador de ondas múltiples. Hay otras de otra naturaleza y no menos dañinas, procedentes de reflectores fuertes, las conocidas como peg legs.

Las cosas se presentaron menos problemáticas con el tipo de múltiple conocida como fantasma, asociada con el emplazamiento de la fuente y los hidrófonos por debajo de la superficie del mar y la interfase agua-aire, por un diseño adecuado de estos parámetros que hacen que la fantasma y la directa, prácticamente se cancelen.

En las primeras adquisiciones se hizo un muestreo a 4 ms, sumándose el hecho de arrastrar los cables a profundidades muy grandes, atentando ambos en la preservación de componentes de alta frecuencia y comprometiendo el alcance de una buena resolución sísmica.

En las últimas adquisiciones se emplearon sistemas de 16 bits (Syntrack 480) y se muestreó a 2 ms y con un volumen del arreglo de los cañones Standard para el tipo de aguas en que se trabajó (desde someras a ligeramente profundas) y, aunque como resultado de una 3D no están presentes fenómenos relacionados con ondas laterales e información procedente de planos diferentes (Ver Fig. 6), resulta difícil aun obtener una imagen óptima de los cabalgamientos carbonatados que, según nuestros criterios se debe a la fuerte absorción a que es sometida la señal sísmica, en la discordancia del Cretácico superior; a lo abrupto de los ángulos de buzamiento de las capas asociadas con dichas rocas; y, a un volumen del arreglo de los cañones insuficiente. Por último, al uso de una geometría no óptima (Ver Fig.5)

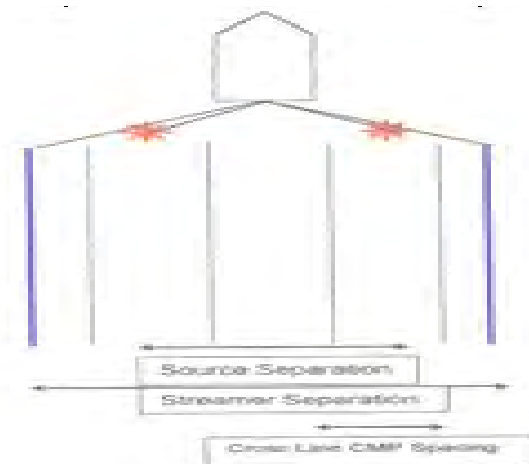
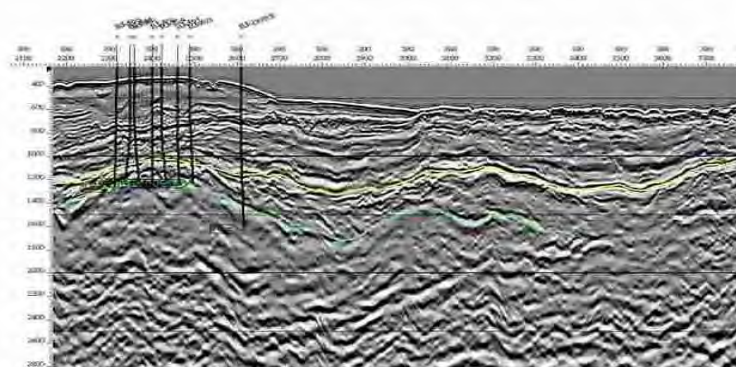




Fig. 5.

sector



Esquema de geometría 3D adquirida en el marino del Cinturón Plegado.

Fig.5. Sección sísmica in-line, correspondiente a la adquisición 3D en el Sector marino del Cinturón Plegado (Cortesía de Peberco)

Conclusiones

Nuestras principales conclusiones de este trabajo son:

- A lo largo del mismo, hemos tratado de exponer la experiencia cubana de adquisición en cinturones plegados y cabalgados, la cual entendemos debe ser similar en parte a la de otros países, salvando desde luego el nivel de desarrollo alcanzado por la geofísica en los mismos.
- Las primeras adquisiciones en las que se basa este trabajo, datan del año 1979, y se caracterizaron por el uso de explosivos y en general, por un bajo nivel de la relación señal/ruido.
- Aunque con la introducción de las nuevas técnicas, prácticamente se ha reemplazado el uso de explosivos por fuentes vibratorias, siempre se han utilizado patrones lineales de vibración, descartándose otros como el logarítmico que tendría un efecto positivo en cuanto a la resolución sísmica, pues preserva mejor los componentes de alta frecuencia.
- En el caso que nos ocupa, además de la complejidad de la geología asociada al cinturón plegado y cabalgado, se suma otro evento geológico no menos desafiante, relacionado con el hecho de que casi toda el área terrestre está cubierta por una fuerte capa de ofiolitas, que aumentan el reto de adquirir en tal entorno, pues la dispersión y absorción de la señal sísmica aumenta, amén de otras interferencias. Ello es menos severo en el área marina, aunque en esta zona aparecen fenómenos asociados a ruidos coherentes como las ondas múltiplemente reflejadas.
- Aunque en los sectores de líneas sísmicas donde no ha sido posible vibrar se ha utilizado explosivo, casi en su totalidad ha sido con el empleo de pop shots con patrones similares al mostrado en al Fig. 3, y en algunas ocasiones patrones de pozos agrupados de sólo 3m, con el evidente emplazamiento de la carga por encima de la ZBV, de manera que a pesar de usar un patrón agrupado, los resultados son inferiores a los obtenidos con el empleo del vibroseis, sin que ello



sea un resultado concluyente que obligue al abandono del empleo del explosivo como fuente de excitación.

- La adquisición sísmica en cinturones plegados y cabalgados, más allá de todos los avances que se han tenido en la técnica y tecnologías, continúa siendo un duro reto, que pone a prueba los conocimientos sísmicos con diseños cada vez más específicos para estos sectores.
- En el área de estudio se han hecho sólo tres adquisiciones sísmica 3D y, de ellas ninguna terrestre, por lo que futuros trabajos en el área terrestre, tendrán que tener en cuenta esta situación, en una zona en la que se emplea la recuperación secundaria.
- Entendemos que debe haber una mayor interacción entre los especialistas de campo y los de los centros de procesamientos, y que sus criterios se tengan en cuenta para enmendar errores durante la adquisición.
- Por último, aunque encarece la exploración, al reducir los riesgos de la perforación, habrá que pensar en la introducción de técnicas más apropiadas para este tipo de geología

Recomendaciones

- Los autores a pesar de que tienen un estudio de los parámetros a emplear en distintos escenarios del Cinturón Plegado y Cabalgado Cubano, no han querido en este trabajo traerlo como recomendación, pues ello pudiera convertirse en un boomerang, ya que forzaría a los futuros trabajos a regirse por patrones estrechos y como dijimos en la introducción, somos del criterio de no extrapolar a ciegas los resultados de un área a otra.
- Recomendamos que no se abandone el uso de explosivos en estas áreas de geología compleja, sino que se haga sobre la base de pruebas previas y con buenos emplazamientos de las cargas de Trotyl o pentolita, sea en pozos unitarios o agrupados, pues a pesar de las dificultades que trae consigo el empleo del explosivo, incluida su carestía y el impacto ambiental, si el resultado es bueno, también reducirá los riesgos de la perforación.
- Como sabemos que no basta con una buena adquisición sísmica, si el procesamiento no es el adecuado, recomendamos que en estas Zonas complejas de grandes buzamientos, se emplee el procesamiento pre- suma, preferiblemente en profundidad, conocido como PSDM, por sus siglas en Inglés
- Recomendamos que las nuevas adquisiciones que se hagan en un futuro en el área objeto de estudio sean 3D y de ser posible, multicomponente para reducir los efectos de anisotropía.

Tabla II.1 Resumen de la Adquisición Sísmica en el área de Varadero					
Proyecto	Vol.	Año	Parámetros	Compañía	Obs.
Aguas Profundas (Primera etapa)	Línea 8415 69.0 Km.	1984	Cobertura: 2400% Fuente IGP-1 ΔX : 25 m., ΔPV : 50 m. Long. Registro: 6900 ms, Intervalo de muestreo: 4 ms Tendido: 2605 m.; Flanco: 48 can. Xmin: 230 m , Xmax.: 2605 m Prof. Fuente: 8 m ; Prof. Cable:	CUPET	M



			15-20 m Sistema de adquisición: SERCEL SN-338 HR		
1044-A Bahía de Cárdenas	291.375 Km. 57 líneas	1986 -87	Cobertura: 2400% Fuente AIRGUN ΔX: 25 m., V PE: 25 m. Long. Registro: 5000 m, Intervalo de muestreo: 4 ms Tendido: 1325 m. Flanco Izquierdo 48 canales Xmin: 150 m, Xmax.: 1325 m Prof. Fuente: 1.5 m Prof. Cable: fondo Sistema de adquisición: Progreso 2	CUPET	M
Varadero Profundo (IS)	71.75 Km. 12 líneas subtotal 394.92	1997	Cobertura: 12000%, Fuente: vibroseis, 4 vibradores ΔX: 25 m., ΔPV: 25 m. Long. Registro: 5000 m, Intervalo de muestreo: 2 ms 8 barridos longitud del barrido: 12 000 ms Tendido: 6075 m. Sistema Central 240 canales Xmin: 62.5m, Xmax: 3037.5m Sistema de adquisición: ARAM 24	PEBERCAN	T
Sherritt 99 Hab.-Mtzas	130.77 Km.	1999	Cobertura: 6000% Fuente SLEEVE GUN ΔX: 12.5 m., V PE: 25 m. Long. Registro: 6000 ms, Intervalo del muestreo: 2 ms Tendido: 3107.5 m. Flanco Izquierdo 240 canales Xmin: 120 m, Xmax.: 3107.5m Longitud del cable: 3000 m. Barco: ISKATEL-3 Prof. Fuente: 4 m Prof. cable: 7m. Sistema de adquisición: SYNTRAK 480-16 MSRS	SHERRITT	M
Bloque VII (3D)	470 km ²	2003	Cobertura: 6000%. Flex-Binnig. . Flip-Flop. APE = 25 m por cable. 2 cables (streamers), Dist. entre cables = 100m Long. Registro: 5000 ms, Intervalo del muestreo: 2 ms Tendido: 3107.5 m; Xmin: 124.69 m Xmax.: 3113.19 m Longitud del cable: 2987.5 m. Prof. Fuente: 6 m Prof. cable: 8.5 m. Sistema de adquisición; SYNTRAK 960-24 MSRS	PEBERCO	M



BIBLIOGRAFIA

- Dobrin, M.B., 1988. Introduction to Geophysical Prospecting. Fourth Edition, Singapore: Mc Graw-Hill Co, 375 p.
- Pritchett, W.C., 1990. Acquiring Better Seismic, London. New York: Chapman and Hall, 248 p.
- Sheriff, R.E., 1984. Enciclopedia de Exploración Geofísica. Segunda Edición, Society of Exploration Geophysicists, 425 p.
- Sorá, A., y otros. Proyecto 2511: Incremento de la efectividad del método sísmico en el cinturón plegado y cabalgado cubano. Centro de Investigaciones del Petróleo.



HIPÓTESIS, PARADIGMAS Y VICIOS EN LA INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL DE FAJAS PLEGADAS Y CORRIDAS¹

Eduardo A. Rossello (1)

(1) CONICET - Universidad de Buenos Aires, 1428 BUENOS AIRES, Argentina.

Los pedemontes orogénicos constituyen el escenario que alberga las mayores reservas y expectativas exploratorias de hidrocarburos de la mayoría de las regiones continentales. Sin embargo, al expresar una región de transición entre diferentes ambientes sedimentarios pericratónicos previos y la superposición de una zona montañosa con importante acortamiento cortical, exhibe complejas relaciones temporoespaciales de los procesos que gobiernan los sistemas petroleros. Esta situación abona la existencia de variadas hipótesis, paradigmas y vicios que contribuyen indirectamente con la confusión.

El tratamiento integral más cuantitativo de la deformación posibilitado por: i) la aplicación de diferentes tipos imágenes interactivas con modelos digitales de elevación, ii) la consideración del comportamiento físico de los materiales en la aplicación de metodologías micro-mesoestructurales de estudios descriptivos y estadísticos, y iii) las modelizaciones físicas analógicas y numéricas contribuye con la caracterización temporoespacial y multiescalar de las estructuras producidas. De esta manera, sobre los principales trenes estructurales se reconocen variables intensidades de componentes transcurrentes que influyen sobre la interpretación y visualización de ellos en el subsuelo (Fig. 1) influyendo en la definición de las mejores condiciones de los sistemas petroleros, en particular, su migración y almacenamiento.

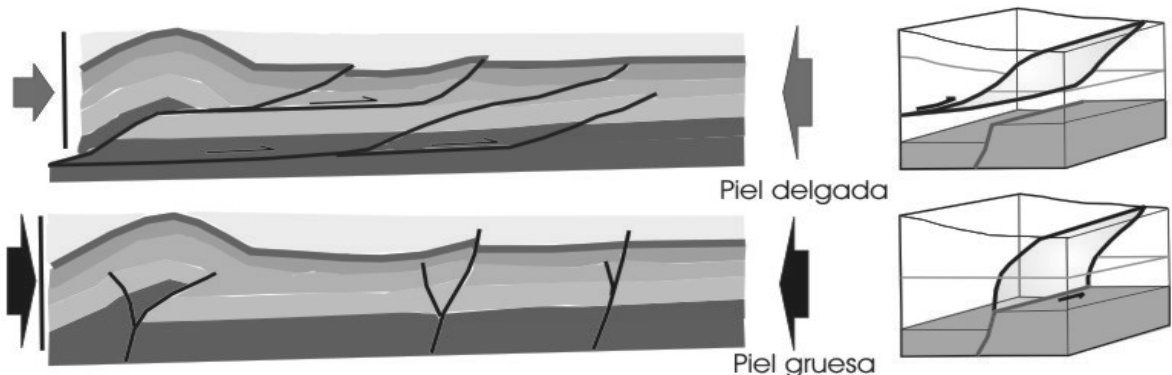


Figura 1. Proyección en profundidad de la interpretación de fajas plegadas y corridas admitiendo componentes tectónicas transcurrentes: piel delgada vs. piel gruesa.

Además, se aprecia que: i) la topografía es determinante de la vergencia del fallamiento haciendo que progresen aquellos que tienden a disipar la energía potencial que acumula, expresándose claramente en el nucleamiento de los cabalgamientos y retrocabalgamientos (Fig. 2), ii) las estructuras preexistentes heredadas de eventos tectónicos previos actúan activamente desde el punto de vista mecánico controlando la geometría y disposición propia del pedemonte, iii) el creciente desarrollo de la participación de los fenómenos transcurrentes determinan situaciones variablemente transpresivas y transtensivas y iv) la participación sintectónica del magmatismo favorece la estructuración.

¹ Primera Convención de las Ciencias de la Tierra (La Habana, Cuba, Abril 2005).

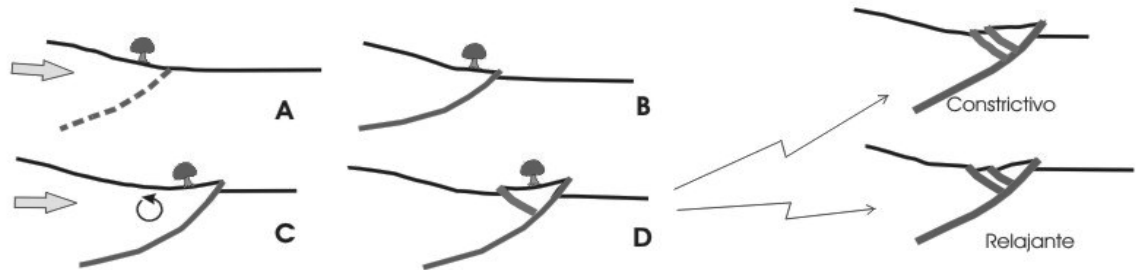


Figura 2. Influencia de la topografía en la determinación de la vergencia de cabalgamientos y retrocabalgamientos.

Estos rasgos geométricos y mecánicos contribuyen con la definición de los objetivos hidrocarburíferos al facilitar el ajuste de modelados geológicos 4D de regiones logísticamente complejas y con deficiente cobertura sísmica y hacer más predecibles los objetivos exploratorios y productivos perseguidos.



AJUSTE DEL MODELO GEOLOGO GEOFISICO CON LOS DATOS INTEGRADOS DE POZO.

Msc. Maritza Rodríguez Viera (1), ing. Bárbaro Villavicencio García (1) e ing. Juan J. Rodríguez-Loeches Díaz Díaz-Arguelles (1).

(1) Centro de Investigación del Petróleo. Washington No 169, esq. Churruga, Cerro, Ciudad de la Habana. C.P 12000.

Desde las primeras décadas del pasado siglo en el que se realizó el primer registro geofísico de pozo, se reconoció de inmediato la utilidad de los mismos para identificar y correlacionar las capas petrolíferas puesto que constituye la única información continua en profundidad.

Es por esto que para conocer el grado de acierto del Método Sísmico resulta indispensable evaluar la coincidencia o no del Modelo resultante con el real obtenido del ajuste de los Métodos Geofísicos de Pozo, especialmente los que establecen una relación directa con los eventos sísmicos y geológicos como es el Perfil Sísmico Vertical (VSP), el Método Acústico y para relacionar con los Campos Potenciales el registro de Densidad. Resulta también muy informativo y esclarecedor para la confección de los Modelos Geólogo Geofísico la definición y correlación de las Electrofacies y Modelos Petrofísicos a través de los perfiles analizados.

El sector seleccionado pertenece a la Franja Norte del Cinturón Plegado y Cabalgado en el área Varadero, el que incluye desde los yacimientos más al Sur en Cantel, Varadero Sur, Guásimas, Camarioca, Varadero en tierra hasta los pozos inclinados de los pliegues más al Norte.

En el estudio se obtuvo el Modelo Geológico resultante a través del análisis de cuatro perfiles de sur a norte determinándose las electrofacies y modelación petrofísica integrado con la sísmica y la interpretación de los Campos Potenciales. Debido a la importancia que tiene la calibración de la sísmica con el método acústico y los pocos pozos que contaban con esta información se realizó un trabajo experimental para solucionar esta deficiencia. La misma consiste en la generación de registros Acústicos simulados con el implemento de redes neuronales para las escamas norteñas, ya que en la misma se cuenta con algunos pozos donde se registró este método, VD-711 y VD-721. El método acústico conjuntamente con el Perfil Sísmico Vertical (VSP) son los más resolutivos para la calibración sísmica, de ahí la importancia para la confección de los modelos geólogo-geofísico.



PAPEL DE LOS MÉTODOS GRAVIMÉTRICO Y MAGNETOMÉTRICO EN EL CONTEXTO DE LA EXPLORACIÓN GEOFÍSICA PARA PETRÓLEO DENTRO DEL CINTURÓN PLEGADO CUBANO.

José L Prol Betancourt, Maria C Rifá Hernández

*Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET)
Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba.
Email: prol@digicupet.cu*

RESUMEN.

Las últimas investigaciones generales para esclarecer la regionalización tectónica y las perspectivas petroleras de cada Bloque de exploración incluyeron indefectiblemente sendos capítulos dedicados a los campos potenciales y a su reinterpretación geológica. En tales circunstancias, y habiendo sido desarrollado dentro de investigaciones multidisciplinarias, el estudio de los Campos potenciales (a escalas tales como 1:500000, 1:250000, 1:100000) ha alcanzado, sobre la naturaleza geológica de las anomalías, conclusiones útiles, cuya vigencia se comprueba favorablemente con los datos de las perforaciones más recientes. La generalización de los campos potenciales en el territorio Cubano y sus aguas adyacentes ha sido de gran utilidad para orientar la exploración sísmica e incluso la perforación.

ABSTRACT

The last general investigations to clarify the tectonic classification and the oil perspectives of each exploration Block always included chapters dedicated to the potential fields and their geologic interpretation. In such circumstances, and having been developed inside multidisciplinary investigations, the study of potential fields (to such scales as 1:500000, 1:250000, 1:100000) it has reached, on the geologic nature of the anomalies, useful conclusions whose validity is proven favorably with the data of the most recent perforations. The generalization of the potential fields in the Cuban territory and its adjacent waters has been of great utility to guide the seismic exploration and even the perforation.

INTRODUCCIÓN.

La información gravimétrica y magnetométrica en el territorio cubano y su plataforma sumergida es abundante. La escasez de datos en los sectores montañosos de la Sierra Maestra y de Sagua Baracoa, y en la Ciénaga de Zapata no debe tomarse como un argumento para enfatizar la falta de información, ya que, hasta el presente, estos lugares carecen de interés desde el punto de vista petrolero. Afortunadamente esta información fue conservada en sus elementos esenciales hasta donde fue posible, a la espera de que las modernas técnicas digitales pudieran aprovecharla y reinterpretarla en concordancia con la evolución de los conceptos sobre la constitución geológica del Cinturón Corrido y Plegado Cubano. El estudio de toda esta información combinada con los datos geológicos y sísmicos ha permitido establecer regularidades de acuerdo al carácter cualitativo de los campos

DESARROLLO.

La regionalización tectónica del territorio Cubano permite delimitar las siguientes zonas: Grandes máximos gravitacionales regionales ubicados en la mitad sur de la isla responden a espesores de efusivas y/o peridotitas (que afloran o se recubren por una relativamente fina cubierta sedimentaria) tan potentes que la posibilidad de encontrar sedimentos bajo ellos es prácticamente nula. (Zona A). En esa categoría se encuentran los máximos Guanahacabibes (a),



Batabanó (b), Bolondrón(c), Jagüey Grande (d), Rodas (e), Fomento (f), Gaspar (g), Caoba (Santa Cruz) (h), Jobabo (i), Levinston(j), Holguín(k) e Imías(m) para mencionar sólo los más conocidos. La perforación en muchos de estos máximos ha entrado (Guanal, Fomento y Caoba) en rocas ígneas densas, bien bajo las rocas efusivo-sedimentarias o bajo la cubierta sinorogénica, a profundidades que van desde los primeros cientos de metros hasta los primeros Km. sin alcanzar en ningún caso los sedimentos de margen continental que supuestamente debía encontrar. (Figs 1 y 2).

La zona A se compone además de mínimos gravitacionales regionales que son generados por un aumento de los espesores post-orogénicos, sinorogénicos y efusivo-sedimentarios del denominado "preorogénico", que pueden superar con mucho los 3 Km. Estos complejos yacen sobre las rocas del Arco Volcánico o de la Corteza Oceánica. Aquí la referencia obligada señala a las conocidas cuencas de los Palacios (ñ), Cochinos (p), Ensenada de la Broa(o), Mercedes (q), Central(r), Vertientes(s), Amancio(t), Cauto- Guacanayabo(u) y San Luís- Guantánamo(v) (Figs 1 y 2), donde los datos sísmicos o la perforación confirman potentes espesores de sedimentos terciarios y del Cretácico Superior.

La cadena de máximos gravitacionales regionales que se extiende sobre el Archipiélago de Sabana Camagüey, y al norte de las provincias de Villaclara, Sancti Spiritus, Ciego de Ávila, Las Tunas y Holguín está generada por calizas de banco extremadamente densas cuyo espesor supera los 5 km. (Zona B). Los pozos Cayo Coco, Fragoso, Romano, Blanquizar y el más reciente Felipe 1x, (Figs 1 y 2) apoyan lo expresado acerca de esta zona. En general el campo magnético en esta región presenta muy bajos gradientes horizontales, lo que se explica por un potente corte carbonatado.

Entre ambas regiones, el denominado Mínimo Norte Cubano (Figs 1 y 2) que se extiende desde la Bahía de Nipe hasta la Bahía de Cabañas, se explica por una sección sedimentaria de ambiente deposicional profundo que se dispone en la forma de mantos tectónicos superpuestos, cubiertos por sedimentos sinorogénicos y por ultrabásitas muy fracturadas. El espesor de todo este paquete supera los 5 Km. (Zona C). La coincidencia con un mínimo regional gravitacional, de los afloramientos de pliegues oblongos y estrechos que se clasifican dentro de las denominadas Unidad Tectono-estratigráfica de Placetas y Unidad Tectono-estratigráfica de Camajuaní, unida a la presencia comprobada de al menos 4 Km de aplilamientos de estas rocas en numerosos pozos de explotación sobre los yacimientos Varadero, Cantel, Canasí, Puerto Escondido y Boca de Jaruco, validan el origen propuesto para estas anomalías regionales. Al mínimo está contribuyendo el hundimiento del basamento

Aún dentro de esta región (Zona C) subsisten máximos gravitacionales y magnéticos regionales de menor envergadura y menos intensos que sus homólogos del sur; pero asociados a grandes cuerpos ultrabásicos en posición casi vertical, intensamente serpentizados en sus contactos tectónicos con los sedimentos que los rodean. La base de las ultrabásitas en estos lugares se encuentra a una profundidad mayor de 5 Km. Tal es el caso de Motembo cuyo yacimiento homónimo, se asocia posiblemente al contacto tectónico de las serpentinitas con los sedimentos de las Formaciones Carmita, Santa Teresa y Veloz que afloran al este del mismo.

En el año 1969 quedaba clara la existencia de dos mínimos regionales gravimétricos sobre la denominada entonces Cuenca Central. Norita, al sur oeste y Cristales al noreste. De no existir el máximo Jatibonico entre ambas anomalías, éstas formarían un solo mínimo desde la desembocadura del río Zaza en la costa sur hasta la localidad de Pina. De acuerdo con la información que se posee actualmente un lóbulo y otro del gran mínimo responden a naturalezas geológicas diferentes. Por un lado el pozo Sancti Spíritus perforado al sur oeste de Jatibonico cortó 3 Km de sedimentos terciarios sin alcanzar el Cretácico; por otro en Pina algunos pozos alcanzan a los basaltos a 1 km de profundidad. Una simple inspección al Mapa de anomalías en Reducción Bouguer es suficiente para comprobar que la intensidad de los dos lóbulos es aproximadamente la misma. En ese sentido hay que considerar la posibilidad de existencia de sedimentos bajo los basaltos para que los dos mínimos puedan igualarse. De ser así, entonces estos sedimentos pertenecerían con mucha probabilidad a las UTE Placetas y Camajuaní. Al parecer este tipo de relación existe entre los mínimos



regionales adyacentes: Mercedes-Sierra Morena y Flamenco-Camaguey Norte. Así mínimos regionales como Norita pertenecen a la zona A; en tanto que el mínimo Cristales cae en la zona C.

El norte de la Provincia de Pinar del Río (Zona D), incluyendo las sierras de Los Órganos y Rosario y la llanura costera, se manifiestan en el campo gravitacional como un enorme máximo. Si las causas que supuestamente generan al Mínimo Norte Cubano son correctas, entonces hay que admitir que existe una marcada diferencia entre las grandes estructuras que generan el campo gravitacional en una y otra zona. Así, el máximo magnético regional que cubre el norte de Pinar del Río estaría dado por el efecto de un basamento más elevado. Según se verifica en registros sísmicos de Punto Común de Profundidad, en esta zona aparecen reflexiones profundas a 8 Km, en tanto que, en la Cuenca de Los Palacios ubicada al sur, el método de Correlación de Ondas Refractadas reporta profundidades del basamento de 10 a 11 Km.

Los macizos metamórficos se reconocen por mínimos regionales gravitacionales (Zona E) y magnéticos que indican un hundimiento del basamento en estas regiones. Sin otros datos que apoyen esta opinión, queda también la duda acerca de si existen sedimentos menos metamorfizados debajo de las metamorfitas que afloran. Estudios geológicos de superficie sobre el macizo metamórfico de la cordillera de Guamuhaya describen la disposición de las metamorfitas formando mantos sobrecorridos. Es evidente que una tarea mediata para la exploración petrolera en Cuba sería estudiar la posible yacencia de sedimentos del Jurásico Superior sin metamorfizar bajo las metamorfitas que posiblemente las recubren.

Especialmente, la Sierra Maestra (ver máximos I, n en Fig. 2) presentan un campo gravitacional anómalo cuyos valores de anomalía en Reducción Bouguer ascienden bruscamente hacia el oriente desde la denominada Falla Cauto-Nipe. En efecto, en la Sierra Maestra se reportan intensidades del campo gravitacional de 160 mGal. Si a estos valores se le adiciona la corrección por el efecto del relieve alcanzarían 230 a 250 mGal; lo que resulta totalmente inusual en regiones montañosas. Máximos como Levinston y Nipe parecen ser generados por enormes fragmentos, elevados, de una capa basáltica. En general, los datos del campo gravitacional expresan la presencia de una corteza con características oceánicas en esta región.

Como regla los máximos locales cuya intensidad supera los 3mGal son, en la zona A, originados por cuerpos casi verticales del Arco Volcánico Cretáceo, o por potentes espesores de ultrabasitas densas serpentinizadas en sus contactos con las rocas contiguas. Así se interpretan los máximos de Madruga y Basilio en la provincia Habana, y Jatibonico en la provincia de Ciego de Ávila. Las bases de estos cuerpos yacen a profundidades mayores de 4 Km. El campo magnético sobre estas estructuras se comporta de acuerdo con la respuesta de una placa vertical magnetizada bajo un campo inductor inclinado como el de Cuba (54°). La respuesta de este tipo de cuerpo en la circunstancia indicada se manifiesta como un máximo paralelo a un mínimo. Este último se ubica más al norte que aquél; de manera que la posición horizontal del tope del cuerpo se encuentra en algún lugar del gradiente entre las dos anomalías. Estos cuerpos pueden aflorar o (su tope) yacer bajo espesores del Terciario y/o el Cretácico Superior a profundidades de 1 o 2 Km.

En las cuencas Terciarias de la zona A, máximos gravitacionales débiles cuya intensidad no alcanza los 3 mGal, pueden explicarse por elevaciones de los sedimentos del Cretácico Superior, o de las variedades efusivas y efusivo-sedimentarias que lo subyacen. Esta relación ha sido comprobada en la Cuenca del Cauto mediante mediciones gravimétricas sobre las líneas sísmicas. En ocasiones el Terciario presenta plegamientos heredados de los sedimentos más antiguos; en cuyo caso el pandeo de los sedimentos más jóvenes contribuye también al máximo gravitacional local. Ejemplos de este tipo son las estructuras encontradas en la Cuenca Vertientes

Máximos gravitacionales locales muy intensos en la zona B representan el efecto de pliegues de calizas y dolomitas de ambiente deposicional somero que yacen bajo sedimentos terciarios; lo que fue confirmado recientemente en el pozo Felipe 1.X y en los trabajos sísmicos que lo antecedieron.



Mínimos gravitacionales locales aparecen, dentro de la zona B y eventualmente en la zona C en las áreas donde se han reportado grandes afloramientos de evaporitas dispuestas en forma diapírica. Así se comporta el campo en la localidad de San Adrián, Punta Alegre, Turiguanó y Cunagua.

También las depresiones Terciarias cuyos sedimentos descansan sobre las calizas de banco pueden generar mínimos gravitacionales locales.

Máximos gravitacionales locales muy débiles ocurren en la zona C en aquellos sectores donde existen elevaciones de los sedimentos de talud profundo bajo mantos de serpentinitas o de sedimentos más jóvenes. Esto se comprueba en los yacimientos de Varadero y Cantel. En este último se reportan las calizas del Aptiano-Albiano a la profundidad de 1Km bajo serpentinitas y sedimentos sinorogénicos.

Las estructuras petrolíferas en la zona C pueden generar mínimos gravitacionales locales débiles si están en contacto con rocas de mayor densidad, ya sean grandes espesores del Arco Volcánico Cretáceo al sur o calizas y dolomitas al norte. Ejemplos de este tipo se encuentran en el mar al norte de la provincia de Matanzas, en las estructuras conocidas como Puerto Escondido y Yumurí. Aquí contribuyen a los mínimos las cúpulas fracturadas de las estructuras donde disminuye aún más la densidad.

Máximos locales en la zona C del orden de 1 o 2 mGal se expresan a veces en regiones donde se cortan los basaltos apenas a la profundidad de 1 Km. En estos lugares el campo magnético adopta un carácter suave. La explicación de este fenómeno puede estar en el tectonismo al que han sido sometidas esas rocas efusivas, o en un contenido bajo de magnetita en las mismas; sin embargo dichas rocas conservan una densidad suficiente para crear contrastes positivos con las efusivo sedimentarias y sedimentarias más jóvenes que las recubren. El área de Pina constituye la localidad por excelencia para describir este tipo de coincidencia. El levantamiento gravimétrico de alta resolución a la escala 1:25000 en el sector posibilitó arribar a estas conclusiones.

De interés para la búsqueda son las zonas de mínimos gravitacionales locales dentro de mínimos regionales, cuando se alinean paralelamente a grandes fallas. La coincidencia típica se encuentra en el denominado yacimiento Cristales que según muchos investigadores se asocia a la falla homónima.

Máximos locales que se manifiestan en el Mapa de anomalías en Reducción Bouguer sin necesidad de transformación son, en la zona D, generados por elevaciones de la UTE Rosario bajo sedimentos más jóvenes y bajo el denominado "Melange". El ejemplo típico de esta coincidencia se encuentra en el yacimiento de Martín Mesa.

Los criterios expresados arriba tienen utilidad fundamentalmente durante el diseño de las estrategias de la exploración sísmica para contribuir a argumentar los posibles "leads" en un territorio. Por otra parte, a la hora de programar la exploración sísmica, la reinterpretación previa de los campos potenciales conduce a la ubicación óptima de las líneas donde con mayor seguridad cortarán las estructuras de interés, evadiendo además el paralelismo de aquellas con las zonas de fallas. Un ejemplo de la aplicación consecuente de este principio se remonta al levantamiento realizado por Alturas Resources en el Bloque 8. En esa oportunidad esta empresa solicitó al Grupo de Campos Potenciales de Digicupet un informe sobre la interpretación compleja de los datos geofísicos. Basado en las conclusiones del informe fue proyectada la red de perfiles sísmicos. Precisamente donde había sido pronosticada por la interpretación compleja, fue revelada la estructura América en un máximo local débil dentro de un mínimo más regional. Los trabajos del levantamiento sísmico incluyeron en su programación la medición gravimétrica a lo largo de sus líneas, lo que permitió estudiar detalladamente el carácter del campo gravitacional sobre las estructuras que se habían revelado. Así sobre la estructura América se detectó un máximo extremadamente débil dentro del máximo local causado por la estructura; de donde se infiere que la cúpula presenta una gran fracturación que disminuye la densidad, con el consiguiente mejoramiento de las propiedades colectoras.

Si se toman en cuenta las conclusiones que durante años se han venido acumulando con



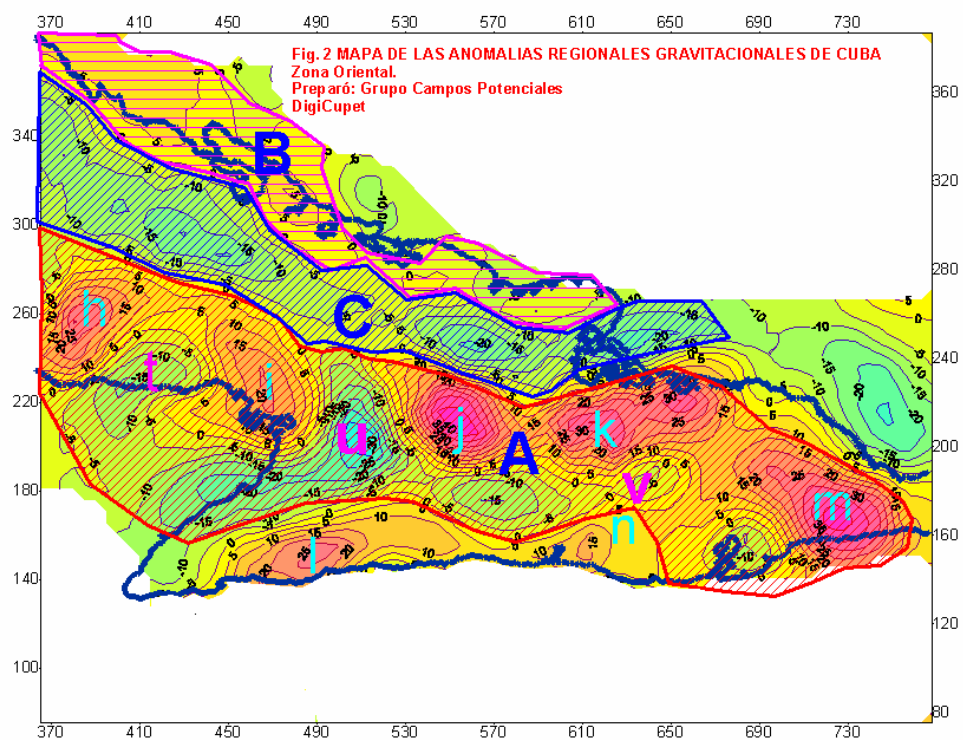
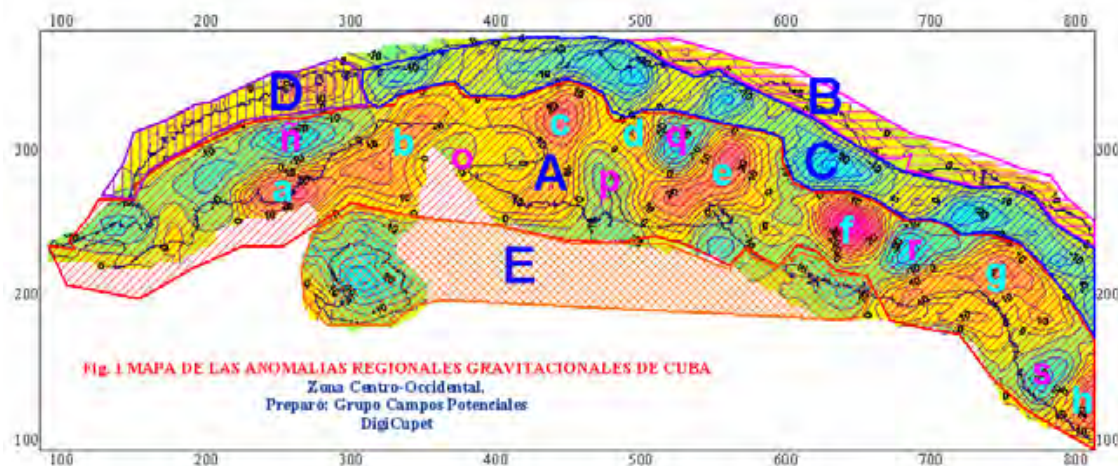
relación a los campos potenciales en el Cinturón Plegado Cubano, se pueden diseñar líneas estratégicas que optimizarían la aplicación de la prospección sísmica en primer lugar y de la exploración petrolera en su conjunto; y que pueden resumirse de la siguiente forma:

La acumulación de conocimientos acerca de los campos potenciales en Cuba, es suficiente para sugerir una secuencia de estadios que debe optimizar la exploración geofísica. Tal secuencia contribuiría a la toma de decisiones como argumentos basados en la experiencia acumulada, y no como reglas rígidas. Las etapas o estadios de la exploración sísmica pueden definirse como reconocimiento, búsqueda y detalle cada uno de los cuales debe ir acompañado de un conjunto de acciones relacionadas con el estudio de los campos potenciales. En ese sentido puede sugerirse la táctica a seguir en cada caso concreto de la manera que se expresa a continuación:

El hábito de encontrar regularidades en los datos que contribuyan al hallazgo de zonas favorables para la acumulación de petróleo, crea elementos de juicio novedosos, muy útiles por cierto, para corregir la estrategia de la exploración enfocada a territorios tan grandes como el que ocupa el Cinturón Plegado Cubano. Con el nombre de generalización se conceptualiza el proceso según el cual la información nueva se incorpora a la anterior tratando de interpretarla de manera que constituya un sistema armónico de ideas. La generalización no es la yuxtaposición de la nueva información a la ya adquirida, sino el reanálisis imparcial de todo el conjunto de datos, que conduzca al hallazgo de nuevas regularidades o al enriquecimiento de las ya establecidas. De una manera u otra, desde el año 1961, este tipo de investigación ha venido desarrollándose periódicamente en las instituciones estatales que se han sucedido en la dirección de la exploración petrolera.

CONCLUSIONES.

Gracias a la abundancia de datos gravimétricos y magnetométricos en todo el territorio nacional ha sido posible su interpretación unificada, lo que ha repercutido en la clasificación de las grandes anomalías regionales según su naturaleza geológica. Por otra parte, al estudiar detalladamente el campo gravitacional sobre los yacimientos conocidos, se han podido establecer patrones para identificar la constitución de nuevos prospectos revelados por la sísmica. Siguiendo la secuencia descrita en el artículo se han obtenido elementos de juicio que han contribuido a la toma de decisiones en la perforación.





BIBLIOGRAFÍA.

- Álvarez Castro, José. et al, 1998 Proyecto 2132. Etapa 1. Evaluación de leads para la exploración Bloques 6,7.9 y 10. Ceinpet..
- Arriaza G. J. Prol, 1994. Modelo de la corteza terrestre para la región oriental de Cuba. E.G.
- Cuevas J, M. Pacheco, (1994) Influencia del efecto gravitacional del relieve topográfico sobre las Anomalías de Bouguer hasta la zona de Hayford en Cuba Oriental. Geofísica Internacional, Vol. 33. num.3, pp. 385-397.
- Domínguez Garcés R, Sonia T, J. Prol, 2000. Generalización Geólogo- Geofísica de los trabajos ejecutados en los bloques 23 sur, 22, V, VA, VII, VIIA y 20.
- Domínguez Garcés R, J. Prol, 1999. Interpretación geólogo-geofísica de los trabajos sísmicos de la 2^{da} Etapa en el Bloque 20. Digicupet.
- Domínguez R., J.L. Prol, E. Martínez, A. Sorá et al, 2001 Generalización de los bloques del Norte-Centro Oriental. (12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21 y 21A). Digicupet. E.G.
- Gladisko P., M. Rodríguez, 1976 Trabajos gravimétricos y magnetométricos en los perfiles regionales VIII y XIII (Parte sur de Oriente).
- Martínez E. C. E. Sánchez, 2000 Interpretación Geólogo- Geofísica de las líneas sísmicas adquiridas y procesadas por la Cia Braspetro en el bloque L. Digicupet.
- Mesko Attila, 1982 Digital Filtering For Oil. Academia de Ciencias de Hungría.
- Millan G., M. Somin, 1976 Algunas consideraciones sobre las metamorfitas Cubanas. Serie Geológica N^o 27. Academias de Ciencias de Cuba. I.G.P.
- Prol J. G. Rodríguez, 1997 Interpretación Compleja de los datos Geólogo- Geofísicos en el Bloque 8 y Sectores aledaños. Digicupet..
- Prol J, G. Arriaza, R. Otero, 1993 Nota informativa sobre la confección de los mapas en profundidad del basamento y espesor de la corteza terrestre en el territorio Cubano. Archivo E.G. Nota 18.
- Pról. J. Motembo en los Campos Potenciales. Inédito.
- Prol J, M. Rifá, 2001 Reporte sobre la metodología para un mapa unificado tierra- mar del área Varadero. Digicupet- Ceinpet.
- Prol J. R Gómez, 2000 Mapas de Anomalías en Reducción Bouguer, reprocesados a partir del levantamiento gravimétrico marino de Fugro para Sherritt. Digicupet.
- Prol J. M. Rodríguez, 1990 Trabajos gravimétricos y magnetométricos de alta precisión en escala 1:25 000 en la región Camarioca-Cantel-Varadero del Proyecto 1053. E.G..
- Sánchez Alarcón C. E, José Prol, 2004 Informe gravimagnetométrico bloque 6. Digicupet.
- Sazhina I B y otros, 1969 Mapa Gravimétrico de Cuba a escala 1: 500 000. Ministerio de Minería Combustible y Metalurgia. Dirección de Petróleo. Archivo E.G.
- Socorro R, C.E Sánchez et al, 2004 Informe de viabilidad del sector Cupey-Chapelín-Marbella. Digicupet- Ceinpet.
- Sorá A, et al, 2000 Reinterpretación Geólogo- Geofísica en el norte de la Cuenca Central Área Jatibonico Cacahual. Digicupet.
- Toucet S, R. Domínguez, 1999 Interpretación geólogo-geofísica de los trabajos sísmicos en el Bloque 22. Digicupet.



CONTRIBUCION DE LA EXPLORACION GEOFISICA AL ESTUDIO DE LOS SECTORES DE ALTA INTERACCION TECTONICA DE CUBA CENTRO-ORIENTAL

B. René Domínguez Garcés.

DIGICUPET. Calle 23 # 105 e/ O y P. Vedado, C. Habana. C.elec digicupet@cupet.minbas.cu.

En el mapa geológico de Cuba, así como en los mapas regionales obtenidos a partir de la sísmica y los campos potenciales se puede observar claramente que el avance hacia el norte, de los complejos alóctonos no fue parejo en todas las regiones del país. Esto debió estar condicionado por factores físicos y tectónicos, tales como el paleo-relieve sobre el cual las secuencias de cuenca tuvieron que cabalgar. En las zonas donde aflora la plataforma de Remedios, reconocidas por grandes máximos gravimétricos, los cabalgamientos quedaron mucho más rezagados, mientras que en otros lugares donde esta se hunde, los mantos avanzaron mucho más. A lo largo de todo el litoral norte de la isla las deformaciones se observan con mayor intensidad.

Al sur de los promontorios se observan formas geométricas que involucran a todos los mantos. Tal nivel de tectonismo indica que las secuencias que fueron movidas hacia el norte colisionaron fuertemente y durante un periodo más o menos, prolongado contra los formidables promontorios que se habían ya formado al norte. Entender el proceso de formación de estos bloques elevados reviste una gran importancia para la exploración petrolera tanto en el mar como en tierra firme.

Últimamente, con los datos sísmicos obtenidos en la ZEE de Cuba en el Golfo de México, hemos elaborado la idea de que los tres promontorios de la plataforma que afloran en Cuba Centro _ Oriental están relacionados en su formación con los knolls que se han estudiado en aguas profundas.



PROCESAMIENTO SÍSMICO 2D EN EL ÁREA VÍA BLANCA

Edenia C. Camejo⁽¹⁾, Méricy Lastra⁽²⁾ y Grisel Amejeiras⁽³⁾.

(1)Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET)
Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba.
Email: edenia@digicupet.cu

(2)Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET)
Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba.
Email: mericy@digicupet.cu

(3)Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET)
Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba.
Email: grisel@digicupet.cu

RESUMEN.

El presente trabajo tiene como objetivo la presentación del procesamiento de una de las líneas sísmicas ubicada en el área de Vía Blanca. Los pasos fundamentales fueron:

- Sustracción de la influencia de la fuente.
- Deconvolución.
- Análisis de velocidades.
- DMO.
- Migración.

Se aplicaron después de la suma varios procesamientos como:

- Filtrado FK.
- Ecualización dinámica de amplitudes.
- Finalmente se obtuvo una migración post suma.

En el apilamiento pudimos observar que en el dato primario hay presencia de ondas múltiples, Se comprobó que el proceso de suma actuaba como un filtro antimúltiple, por lo tanto solo fue necesario hacer un mute interno para eliminar en los offset cercanos la parte de la onda múltiple que es asintótica con la primaria.

El proceso DMO aplicado se realizó a partir de datos agrupados en planos offset común con espaciamiento de 125 m, posteriormente se realizó la suma DMO, observándose una buena relación señal- ruido.

A continuación del procesamiento post suma se aplicaron los siguientes procedimientos:

- Eliminación de ruido aleatorio.
- Filtro FK.
- Filtro variable en tiempo.
- Ecualización dinámica de amplitudes.

Como resultado final de este procesamiento se realizó una migración de Stoll con velocidad constante y posteriormente una de diferencias finitas en el dominio FX, con un paso de 20 mseg y velocidades RMS, suavizadas entre un 70% y 100%, donde se obtuvo buena dinámica y resolución a lo largo del corte sísmico.

ABSTRACT

The present work has as objective the presentation of the sequence of one of the seismic lines located in the area of Via Blanca. The fundamental steps were:

Subtraction of the influence of the source.

Deconvolution.

Analysis of velocity.

DMO.

Migration.

They were applied after the sum several procedures like:

Filtered FK.



Dynamic Equalization of widths.

Finally a migration was obtained post sum.

In the stack we could observe that in the primary data there is presence of multiple waves, she was proven that the sum process acted as a filter and multiple, therefore alone it was necessary to make an internal mute to eliminate in the near offset the part of the multiple wave that is asymptotic with the primary one.

The process applied DMO was carried out starting from data contained in plane offset common with spacing of 125 m, later on she was carried out the sum DMO, being observed a good relationship signal - noise.

After the processing post sum the following procedures were applied:

Elimination of random noise.

Filter FK.

Filter variable in time.

Dynamic Equalization of widths.

As a result final of this prosecution she was carried out a migration of Stoll with constant velocity and later on one of finite differences in the domain FX, with a step of 20 msec and speeds RMS, softened between 70% and 100%, where it was obtained good dynamics and resolution along the seismic migration.

INTRODUCCIÓN.

La Franja Norte de Crudos Pesados es, indudablemente, un objetivo estratégico para nuestro país. El presente trabajo está encaminado a la presentación de la secuencia de procesamiento que sobre una de las líneas sísmicas, ubicada en el área de Vía Blanca (Boca de Jaruco), desarrollaron varios especialistas de nuestro Centro. Este trabajo resolvió, según nuestra opinión, la tarea que nos fue encomendada.

DESARROLLO.

Los datos fueron registrados según un levantamiento 2D, con recubrimiento 1200%, un paso de muestreo de 2 msec y un total de 4096 msec de registro.

Los pasos fundamentales, después de la lectura de datos, en la secuencia de procesamiento fueron:

- Deconvolución.
- Análisis de velocidades.
- DMO.
- Migración Residual.

Se aplicaron después de la suma varios procesamientos como:

- Filtrado FK.
- Ecualización dinámica de amplitudes.
- Finalmente se obtuvo una migración post suma.

Para realizar la sustracción de la influencia de la fuente se utilizó la señal de campo lejano conocida como farfield enviada por el fabricante de la fuente.

Se realizó la conversión a fase mínima usando una deconvolución de tipo determinística consistente en la convolución de las trazas con la inversa de la signatura.

Este procedimiento aportó muy buenos resultados.

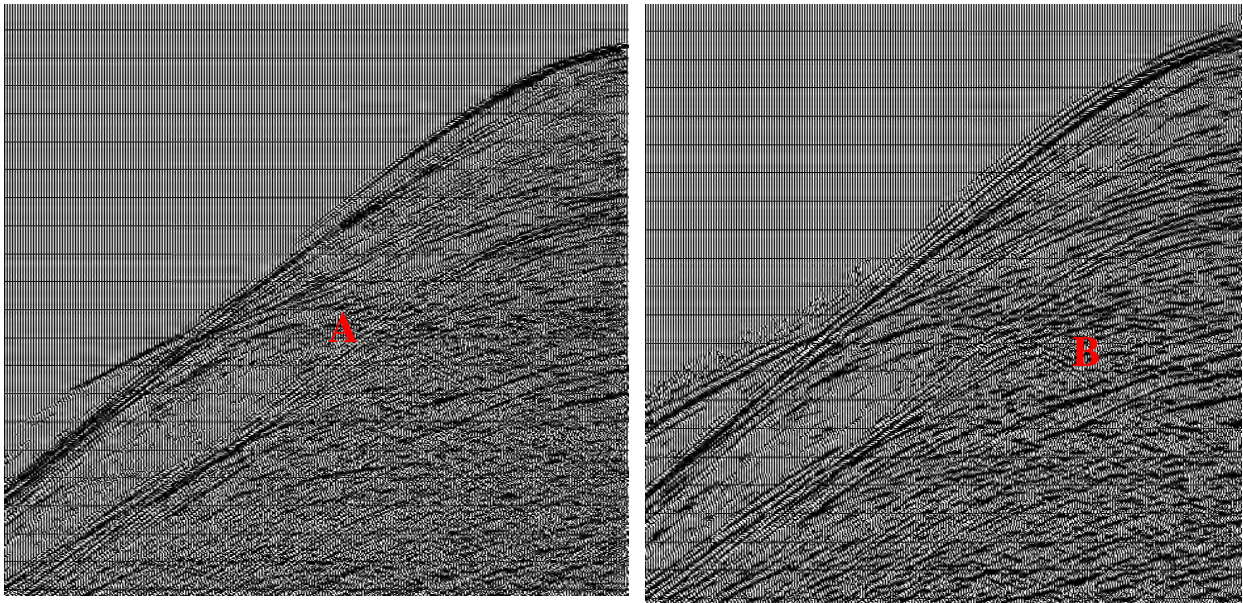


Fig. 2 Sismogramas: A -inicial, B -después de la sustracción de la influencia de la fuente

En el apilamiento pudimos observar que en el dato primario hay presencia de ondas múltiples. Se comprobó que el proceso de suma actuaba como un filtro antimúltiple, por lo tanto solo fue necesario hacer un mute interno para eliminar en los offset cercanos la parte de la onda múltiple que es asintótica con la primaria.

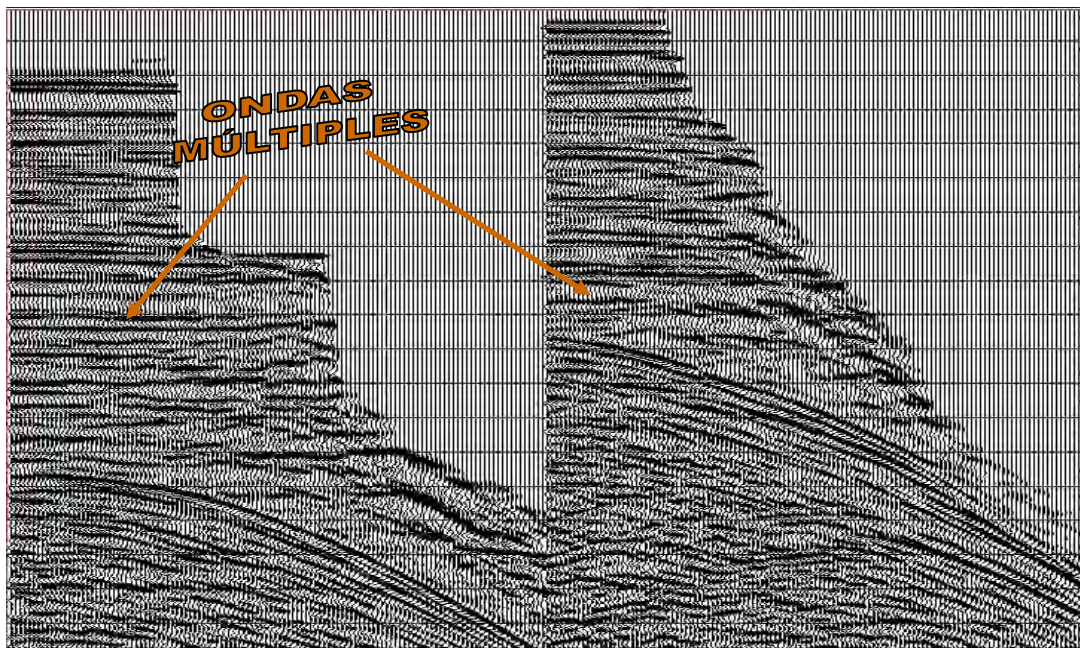


Fig. 3 Presencia de las ondas múltiples en el sismograma

Antes de la deconvolución (predictiva monocanal variable en el tiempo) se realizó un restablecimiento de amplitudes para compensar el efecto de la divergencia esférica.

El proceso de DMO aplicado se realizó a partir de datos agrupados en planos offset común con espaciamiento de 125m.



Para ello se empleó el método integral de Kirchhoff sobre magnetogramas cdp con corrección dinámica previamente aplicada.

Posteriormente se aplicó una corrección inversa NMO y se realizó un 2do análisis de velocidad cada 50 cdp y una vez obtenida esta 2da corrección dinámica se volvió a aplicar el proceso de DMO con salida a suma, observándose una buena relación señal ruido.

A continuación del procesamiento post suma se aplicaron los siguientes procedimientos:

- Eliminación de ruido aleatorio.
- Filtro FK.
- Filtro variable en tiempo.
- Ecualización dinámica de amplitudes.

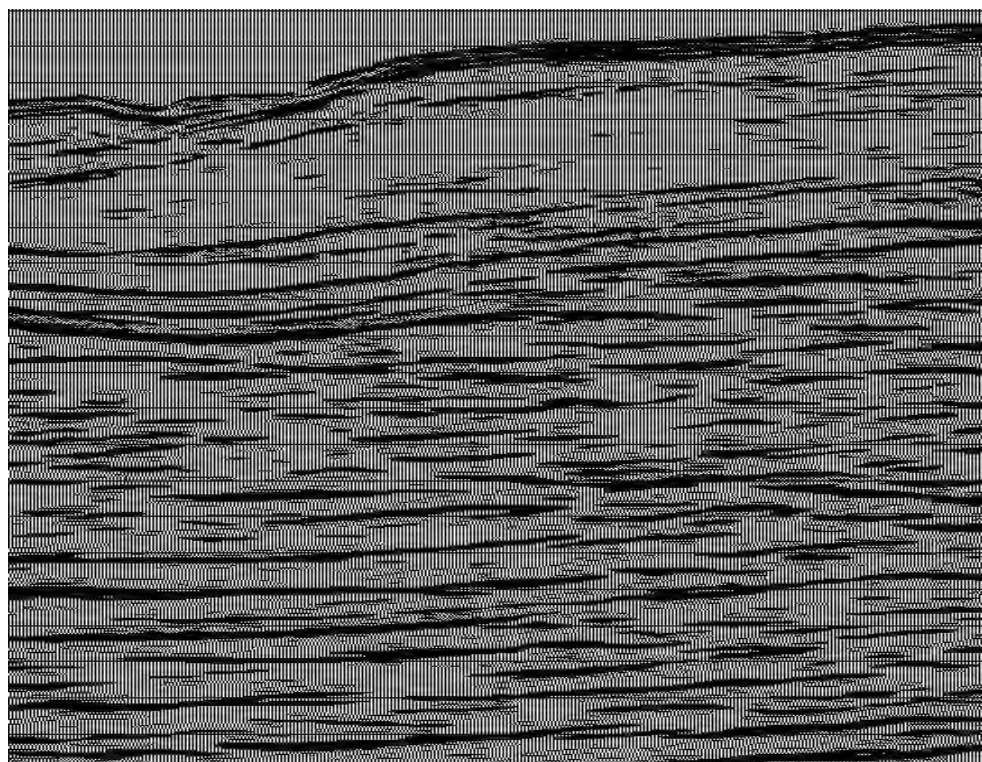


Fig. 5 Migración post suma

Como resultado final de este procesamiento se realizó una migración de Stoll con velocidad constante y posteriormente una de diferencias finitas en el dominio FX, con un paso de 20 mseg y velocidades RMS, suavizadas entre un 70% y 100%, donde se obtuvo buena dinámica y resolución a lo largo del corte sísmico.

CONCLUSIONES.

Consideramos que los resultados obtenidos cumplieron con los objetivos del procesamiento que nos fueron planteados al inicio, tales como la obtención de las estructuras esperadas con buena dinámica y resolución.

Dada las difíciles características geológicas del área, consideramos que debe hacerse un procesamiento con técnicas más avanzadas, como son la migración Pre-Stack y su conversión a profundidad, procedimientos estos con los cuales contaremos el próximo año.



BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Bancroft, J., A Practical Understanding of Pre and Post-stack Migrations.
- [2] Stark, A., Principles of Seismic Processing.



CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS CAMPOS MAGNÉTICO Y GRAVIMETRICO EN EL SECTOR PUERTO ESCONDIDO-BACUNAYAGUA.

Ing. María Rifá, Ing. José L. Prol

Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET)
Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba.
Email: rifa@digicupet.cu

RESUMEN.

La interpretación de los campos potenciales ha significado una herramienta importante en la exploración petrolera. En ese sentido es necesario dar una respuesta convincente en cuanto a localizar sectores prospectivos, en el área de estudio. En el caso que nos ocupa la investigación se ha enfocado a estudiar el entorno geológico en el sector donde se conocen prospectos por la exploración sísmica para aclarar su naturaleza geológica. Fueron filtrados los datos del campo gravitacional y magnético con el objetivo de obtener las anomalías locales y proceder a su interpretación cualitativa. Máximos locales intensos coincidentes con afloramientos de serpentinitas fueron interpretados como potentes cuerpos de ultrabasitas.

ABSTRACT.

The interpretation of potential fields has been an important tool in the oil exploration. For this reason it is very necessary to give a reliability response in order to find new sectors for drilling. In this case the research has been focused towards studying the geological environment, in that places where there are known prospects from the results of seismic exploration, in order to clear its geological nature. The gravity and magnetic data were filtered in order to obtain local anomalies, and then to do its qualitative interpretation. Strong local highs coincident with outcrops of serpentinite were interpreted as huge bodies of igneous rocks.

INTRODUCCIÓN.

Por el interés que reviste la zona de estudio se realiza una reinterpretación gravimétrica con el objetivo de aumentar las probabilidades de éxito para la sísmica de prospección en el hallazgo de estructuras favorables a la acumulación de petróleo. Se pretende a partir de los datos que se tienen del levantamiento terrestre extender el área hacia el mar para no perder información con la utilización de filtrados y de esta forma obtener un mapa unificado preliminar de anomalías en Reducción Bouguer. La interpretación de las anomalías gravimétricas locales permitió hacer una valoración del entorno geológico donde se encuentran objetivos revelados por la prospección sísmica, teniendo en cuenta además el comportamiento del campo magnético, la existencia de algunos pozos en el área y la información geológica.

DESARROLLO.

Como material primario se utilizó el levantamiento terrestre dirigido por la Empresa de Geofísica en Septiembre de 1986, "Sobre los resultados de los trabajos Gravimagnetométricos en la región Habana- Matanzas". El error medio cuadrático del valor de anomalía en reducción Bouguer alcanzó un valor de ± 0.11 mGal. Las mediciones fueron enlazadas a la red nacional de 1969, se utilizó la Fórmula Internacional de Cassini de 1930 para realizar la corrección por latitud, para la



corrección de Bouguer se tiene en cuenta la densidad de una capa homogénea e infinita igual a 2.3 g/cm^3 . Para no perder información a la hora de realizar los filtrados se incorporó al estudio, una franja cubierta por datos correspondientes a diferentes levantamientos marinos que constan en nuestra base de datos, Dicha información tiene las siguientes características:

- Todo parece indicar que las mediciones no fueron enlazadas a la Red Nacional, pues el valor dado no coincide con el de los catálogos.
- La corrección de Bouguer presenta dudas, al ser los mapas reducidos según dicha corrección, dependientes del relieve marino.
- La corrección del Campo Normal se realizó según la fórmula de Helmert, y no por la internacional de Cassini (1930), la cuál es la que usualmente se utiliza para confeccionar los mapas de anomalías en Reducción Bouguer.
- No obstante, los valores de gravedad constituyen la mejor información de ese tipo obtenida en el sector marino.

Como anteriormente ha sido explicado, los datos gravimétricos marinos de a bordo presentan una visible dependencia de sus isolíneas con el relieve marino. Para corregir esa deficiencia J.Prol y Raúl Gómez en el año 2000, reprocesaron los datos de ese levantamiento para introducir correcciones por el efecto del volumen de agua que se sustituye por roca. En el momento en que se realizaron estos cálculos, el objetivo de estos autores era demostrar que el mapa necesitaba de correcciones especiales antes de ser utilizado para la interpretación. De esa manera no se consideraron los efectos del volumen de agua en los puntos terrestres más cercanos a la costa; ni el efecto del relieve terrestre tanto en los puntos marinos como terrestres. Un procedimiento completo ha sido diseñado recientemente por José Prol y María Rifá y aplicado en un pequeño sector aledaño al yacimiento Varadero Por ese motivo el enlace entre los mapas marino y terrestre del presente trabajo es sólo preliminar.

Se utilizó además, para apoyar la interpretación cualitativa de las anomalías gravitacionales locales, la hoja "Matanzas 3885-II" del mapa magnetometrico correspondiente al informe "Resultados del levantamiento Aerogeofísico Complejo en los territorios de las Provincias Habana y Matanzas" a escala 1:50 000

Antes de realizar el procesamiento de los datos, se hizo un análisis del mapa marino con respecto al terrestre. Como fue expresado en el apartado anterior, cada uno de estos levantamientos fueron ejecutados con metodologías diferentes. Aunque existe coherencia entre las isolíneas de los mapas marino y terrestre, se comprueba la presencia de un desnivel entre ambos levantamientos. Para llevar los mapas a un nivel único se determinó la diferencia entre los valores de las isolíneas al nivel de la línea de costa; y se obtuvo un valor promedio de dicho desnivel de -27 mGal , el cual fue restado al levantamiento marino para de esta forma lograr el enlace preliminar entre ambos. Una vez reducidos al mismo nivel, se interpolaron los valores de Anomalía en Reducción Bouguer en una red cuadrada ("grid") a un intervalo de 250 m. A partir de esta red regularizada se obtuvo el Mapa Unificado Preliminar en Reducción Bouguer (Fig1)

Una vez obtenido el Mapa de Anomalías en Reducción Bouguer unificado, los datos fueron sometidos a diferentes filtrados, con el fin de enfatizar las anomalías locales de interés.

En el mapa residual obtenido con una media móvil de 3 km se manifiestan las siguientes cadenas de anomalías locales: Máximos A-A', C-C', E-E' y Mínimos B-B', D-D', F-F'.



La cadena C-C' está generada con mucha probabilidad por un cuerpo enorme de ultrabasitas. Esta hipótesis está sustentada en el hecho de que en el área que ocupa la anomalía afloran serpentinitas y efusivas en contacto tectónico con sedimentos sinorogénicos. Por otra parte, la presencia de un campo magnético variable, donde se alternan máximos y mínimos dentro de los límites del máximo gravimétrico local, indica que el cuerpo ultrabásico se encuentra parcialmente alterado a serpentinita. A juzgar por el pozo Basilio ubicado al sur de Boca de Jaruco en un máximo local similar el cuerpo de ultrabasitas debe tener un espesor mayor de 4 Km. Dada la coincidencia de los máximos E-E' con otro gran afloramiento de serpentinitas, y con un campo magnético de gran variabilidad, se puede asumir para estas anomalías una naturaleza geológica similar a la asignada a los máximos C-C'.

La cadena de mínimos D-D' coincide con un gran afloramiento de sedimentos de la Formación Vía Blanca y con un mínimo magnético que se orienta en la misma dirección. Estas circunstancias inclinan a suponer que estamos en presencia de una cuenca rellena de sedimentos sinorogénicos. No se excluye la posibilidad de que al mínimo estén contribuyendo los efectos generados por evaporitas muy tectonizadas; ya que en el borde norte de esta anomalía afloran los conocidos yesos de San Adrián. Al norte de C-C' se extiende el mínimo alargado B-B que debe estar generado por fuentes similares a las que originan el mínimo D-D'.

La zona de máximos A-A' abarca un amplio sector donde el campo magnético cambia de signo. Mientras que al sur del máximo gravitacional local se manifiesta un máximo magnético, al norte de aquél aparece un mínimo magnético. Esta coincidencia hace suponer la existencia de un cuerpo de ultrabasitas bajo un espesor relativamente grande de sedimentos sinorogénicos y postorogénicos.; lo que se justifica por la intensidad de la anomalía en relación con sus homólogos que se ubican más al sur. Inmediatamente al norte se encuentran las rocas de la UTE Placetas que han sido cortadas en los pozos Yumurí y Puerto Escondido. Entonces el máximo local se justificaría por un efecto gravitacional sumario donde los contrastes de densidad de las ultrabasitas alteradas a serpentinita y los sedimentos de talud profundo presentan contrastes de densidad similares con las rocas que los rodean.

Las anomalías a las cuales nos hemos referido hasta el momento orientan sus ejes mayores hacia el oeste-noroeste, Una alineación rompe esta monotonía y se extiende hacia el este-noreste. Se trata del mínimo F-F' que está generado con mucha probabilidad por una cuenca sinorogénica similar a las que han sido mencionadas con anterioridad. El gradiente que limita por el noroeste al mínimo parece tener relación con la falla de desplazamiento por el rumbo conocida con el nombre de "Hicacos."

CONCLUSIONES.

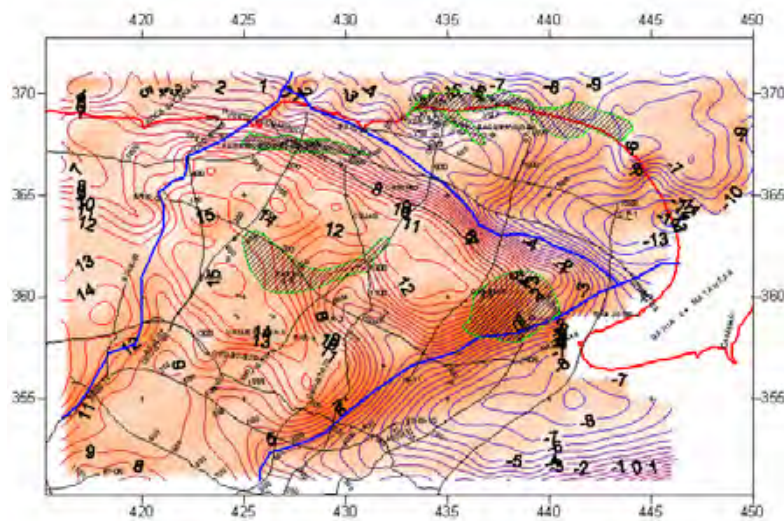
Dado el carácter de los campos gravitacional y magnético es muy poco probable la existencia de rocas de la UTE Placetas a profundidades menores de 4 Km en el sector ubicado al sur del máximo A-A'.

Los resultados de la perforación en Yumurí demuestran que, al menos, la parte frontal del máximo A-A' está generado por rocas de esta Unidad Tectono-estructural.

No se excluye que en las cuencas sinorogénicas, las que están caracterizadas por mínimos gravitacionales contengan elevaciones locales al nivel del terreno Zaza que las subyace, las que generarían anomalías locales de menor envergadura si fueran mapeadas con levantamientos gravimétricos de mayor escala.



Fig. 1 Mapa Unificado Preliminar de Anomalías en Reducción Bouguer extraído a 1 km
Autores: María C. Rúa Hernández y José G. Prof. Botancourt
Año 2003





BIBLIOGRAFÍA.

- Corbea L,L. Lufriú, 1986 Resultados del levantamiento Aerogeofísico Complejo en los Territorios de las Provincias Habana y Matanzas. Empresa de Geofísica.
- Domínguez René, Pilar Aballí, J Prol, 2002 Reporte estructura Geológica del Bloque 6 y de los Bloques 7,9,10 y Varadero Oeste.
- Mirónov V, 1977 Curso de Prospección Gravimétrica, Editorial Reverté, S.A, España.
- Prol J.L, Minerva Rodríguez, 1986 Sobre los resultados de los trabajos Gravimagnetométricos en la región Habana- Matanzas. Empresa de Geofísica.



NUEVOS PROSPECTOS REVELADOS POR SISMICA 2D EN LAS ALTURAS MADRUGA-BEJUCAL.

Ing. Ivonne Delgado Justiz, Dr. Rafael Socorro, Ing. América Sora, Ing. Noemí García.

DIGICUPET, Calle 23 No. 105 e/ O y P, Vedado, Plaza, Ciudad de la Habana, Cuba, CP 10400, Email ivonne@digicupet.cu

RESUMEN

Es conocido que nuestros yacimientos de hidrocarburos, la mayoría han sido detectados en la "Región Gasopetrolífera Habana Matanzas". En los últimos años se han realizado adquisiciones sísmicas en esta área, con el objetivo de aumentar el potencial de hidrocarburos, importante para el desarrollo de nuestra economía. Del resultado integrado de la interpretación de: líneas sísmicas, datos de pozos y campos potenciales, se detectaron varias estructuras de interés en Madruga-Bejucal. Se correlacionó un horizonte guía (verde), asociado a rocas del Cretácico Superior (estructura América) y otro horizonte, solo correlacionable en la zona donde se encuentra la estructura Managuaco, más viejo que el horizonte verde, asociado al tope de las rocas cretácicas sinorogénicas.

El sector donde se encuentra la estructura Managuaco, las fallas aflorantes poseen una dirección sintética a la falla "Hicacos" relacionándose esto con las minas de asfalto (que existen en el lugar), constituyendo evidencia de la migración de hidrocarburos. Afloramientos vivos (hidrocarburos) cerca del pozo Baldspot, sugiere una migración actual, con la probabilidad de cargas a estructuras más recientes.

En el área se desarrolla la cuenca "Vegas", con edad de formación basal anterior a las cuencas Campestres y Aguacates (por encontrarse mas sureña) permitiendo inferir la presencia de sedimentos pertenecientes a un Cretácico Medio, que pudieran ser rocas madres (aquí se observan innumerables afloramiento de petróleo) y en los núcleos cortados en los pozos aledaños se descubrieron clastos de calizas, edad Cretácico Medio.

La profundidad de las estructuras: 300 y 700m, sus espesores entre 300 y 500m, cierre: 600 y 1200m.

ABSTRACT

It is well-known that our locations of hydrocarbons, most has been detected in the "Region Gasopetrolífera Havana Matanzas." In the last years they have been carried out seismic acquisitions in this area, with the objective of increasing the potential of hydrocarbons, important for the development of our economy. Of the integrated result of the interpretation of: seismic lines, data of wells and potential fields, several structures of interest were detected in Madruga-Bejucal. A horizon was correlated it guides (green), associated to rocks of the Superior Cretácico (America structures) and another horizon, single correlacionable in the area where is the structure Managuaco, older than the green horizon, associated to the end of the rocks cretácicas sinorogénicas.

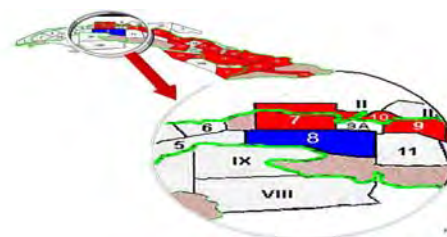
The sector where is the structure Managuaco, the faults possess a synthetic address to the fault "Hicacos" being related this with the asphalt mines (that exist in the place), constituting evidence of the migration of hydrocarbons. Alive outcrops (hydrocarbons) near the well Baldspot, suggests a current migration, with the probability of loads to more recent structures.

In the area the basin is developed "Vegas", with age of basal formation previous to the Campestre basins and Aguacates (to be but southerner) allowing to infer the presence of silts belonging to a Half Cretácico that could be rocks mothers (here they are observed countless outcrops of petroleum) and in the core cut in the wells bordering they were discovered clastos of calcareous, age Half Cretaceus.

The depth of the structures: 300 and 700m, their thickness between 300 and 500m, close: 600 and 1200m.

INTRODUCCION.

El área de los trabajos se encuentra ubicado en las provincia La Habana y Matanzas (Bloque 8) (Fig. 1), en el cinturón sobrecorrido y cabalgado norte cubano.



En Septiembre de 1998, la CIA Alturas Resources realiza su primera campaña sísmica, donde adquiere 145,7 Km de líneas sísmicas.

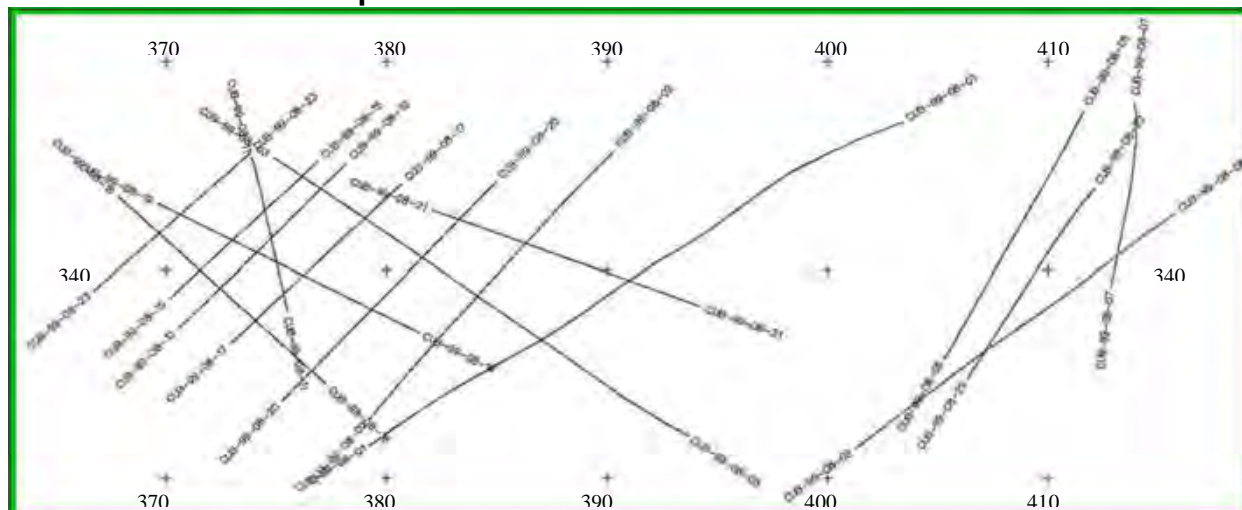
De acuerdo a los resultados de la interpretación de esta primera campaña, Alturas adquiere en su segunda campaña 95 Km de líneas sísmicas con la misma metodología utilizada en la primera campaña.

Los materiales de estas dos campañas fueron procesados en DIGICUPET e interpretado en el mismo centro.

Alturas procesó las líneas sísmicas de la segunda campaña en Canadá, con la firma Dinamic Geophysical. Este procesamiento fue utilizado en conjunto con el realizado en DIGICUPET para la interpretación de los resultados finales.

En el área han sido perforados alrededor de 25 pozos de los cuales sólo el pozo Vegas-1 posee trabajos de Perfilaje Sísmico Vertical.

Mapa de ubicación de las líneas sísmicas.



DESARROLLO.

- **Estudio de los campos potenciales.**

Del estudio complejo de la interpretación de los campos potenciales se delimitaron dos zonas. La primera ocupa el Sector Norte- Extremo (S.N.E.) del Bloque, y se ubica en el flanco sur del Gran Mínimo Norte Cubano, "donde es más probable la existencia de sedimentos silíceo-carbonatados en alguna posición del corte geológico". La segunda, cubre el "Sector Centro-Sur (S.C.S.), donde la potente corteza oceánica excluye la existencia de sedimentos a profundidades económicamente alcanzables con la perforación, aún suponiendo que los mismos existieran bajo dicha corteza.

Al menos, de forma general, el S.N.E representa la zona de recubrimiento tectónico de las ofiolitas sobre sedimentos de cuencas; en tanto el S.C.S coincide con la denominada cuenca Vegas, la que a su vez, descansa sobre rocas del arco volcánico y la corteza oceánica.

Entre estas dos regiones, una franja estrecha desde Madruga hasta San Miguel de los Baños representa el contacto tectónico compresivo entre ambas regiones. De esa manera las serpentinitas que afloran en Madruga son el tope de un cuerpo en posición casi vertical, cuya base se encuentra a 4 Km. de profundidad.



Considerando el asunto sólo en sus implicaciones geofísicas, una elevación local de calizas bajo las serpentinitas debe producir un máximo gravitacional local muy débil en un entorno regional donde predominen mínimos gravitacionales y magnéticos. Estos últimos quedarían justificados por la disminución del espesor ofiolítico en el corte, con el aumento consecuente del paquete sedimentario. No existen en el Bloque 8 ejemplos que comprueben ese comportamiento; no obstante, salvando las diferencias que puedan existir, entornos geofísicos similares se encuentran en la costa norte de las provincias de la Habana y Matanzas, donde como es sabido, se concentra actualmente la explotación petrolera de nuestro país. Si estos argumentos son correctos entonces “en toda la región del Bloque 8 sólo hay dos sectores que presentan cualidades similares. El primero, en los alrededores de Bejucal, y el segundo al oeste de Güines” Como resultado de la campaña sísmica efectuada por Alturas quedó clara en ese lugar la existencia de una estructura visible en la intersección de las líneas 01 y 02 con la 03 (estructura América).

- **Calidad de la información.**

La calidad de la información es buena. Desde la etapa de control se destaca en los cortes preliminares reflexiones fuertes que se siguen a lo largo del área.

El procesamiento realizado en DIGICUPET mejora la calidad de la información sísmica, sobre todo en la parte inferior del corte, donde en los materiales preliminares era poca la información.

El material correspondiente a la última campaña fue procesado también en Canadá por la firma Dinamic Geophysical la cual obtuvo dos cortes finales migrados, prestack y poststack. Podemos constatar que en los procesamientos se revelan bien las discordancias principales del Eoceno Medio (horizonte naranja) y del Cretácico (horizonte verde) pero para hacer una descripción de los diferentes paquetes sísmicos en que se divide el corte nos apoyamos fundamentalmente en el procesamiento realizado en DIGICUPET aunque hay que destacar que en los cortes de tiempo migrados Prestack procesados por Dinamic Geophysical se revelan con gran claridad los horizontes principales logrando coherencia dentro de las reflexiones que lo componen.

- **Características del cuadro ondulatorio.**

Se interpretaron todas las líneas del área, identificándose en el área (según el cuadro ondulatorio) 4 paquetes fundamentales:

I paquete: Se caracteriza por poseer extensos horizontes con buenas características dinámicas, los cuales se correlacionan por toda el área. Dentro de este paquete se revelan dos discordancias principales mediante los top lap y down lap, que son las discordancias del Mioceno (horizonte amarillo) y la del Eoceno Medio (horizonte naranja) la cual resulta la base de este primer paquete.

II paquete: Al igual que el 1er paquete los elementos de reflexión se destacan con claridad diferenciándose por la continuidad de los mismos y la presencia dentro del paquete de elementos de reflexión curvos, obsérvese la línea 12 (Fig. III.4.2). La base de este paquete es el horizonte verde y se amarra con la discordancia del Cretácico según datos de pozos.

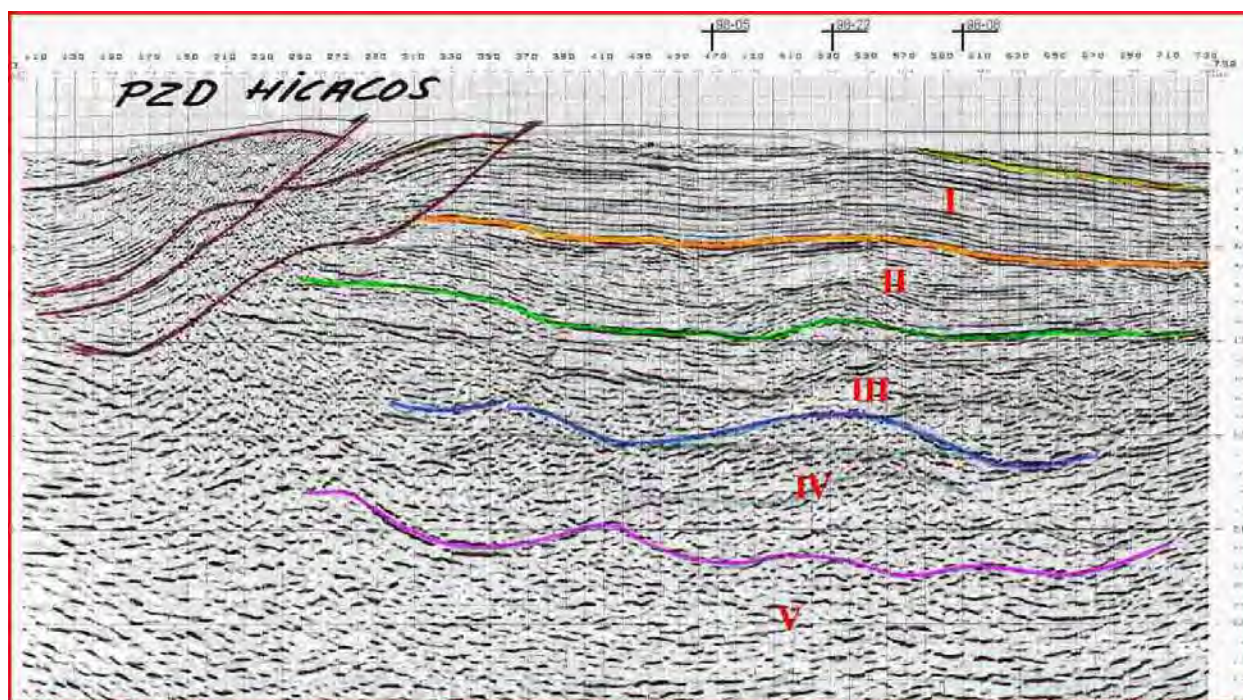
III paquete: En este paquete hay una marcada diferencia según sus características sísmicas respecto a los paquetes anteriores, pues realmente el horizonte verde separa las zonas con elementos de reflexión continuos bien expresados sísmicamente de las zonas donde el cuadro de ondas se caracteriza por poseer reflexiones no tan extensas, en ocasiones es caótico, la base de este paquete lo constituye el horizonte azul.



IV paquete: Este no se revela en toda el área, solo en algunas líneas sísmicas y diferencia zonas donde existen anomalías sísmicas respecto al medio encajante. Ejemplo en las líneas 22 y 12 (Fig. III.4.1, III.4.2) donde se caracterizan por elementos de reflexión en forma de cúpulas, las cuales terminan en forma de dow lap respecto al horizonte violeta que lo subyace y el cual según la calibración del pozo Vegas-1 constituye el tope de Zaza. En la línea 3 podemos observar un paquete donde sus características sísmicas lo diferencian del medio.

V paquete: Cuadro de ondas caótico con algunos elementos de reflexión.

Corte en tiempo de la línea CUB 98-12.



• Aspectos geológicos que se tuvieron en cuenta para la interpretación.

En el sector donde se encuentra el área Madrugas-Bejucal, las fallas detectadas y aflorantes poseen una dirección sintética a la PZD Hicacos y a la vez, éstas probablemente se relacionan con las minas de asfalto, quedando en evidencia la migración de los hidrocarburos. A la vez los afloramientos vivos de hidrocarburos (cerca del pozo Baldspot y en el contacto del Mioceno, al norte del poblado de Madruga) nos sugiere una migración actual y la probabilidad de cargar a las estructuras más recientes. Aquí debemos recordar que, hasta la actualidad, los yacimientos descubiertos en Cuba, todos están contenidos en estructuras jóvenes; por ello para la interpretación, éstas, son las de mayor importancia.

El modelo geológico regional parte de la concepción del desarrollo en el área, de zonas de triángulo y de cuencas de antepaís, evolucionando en el tiempo geológico de acuerdo a las etapas de la compresión, tanto la frontal como la oblicua, formándose estructuras positivas, durante el Cretácico-Reciente. El modelo geológico de interpretación se confeccionó sobre la base de una serie de evidencias.

- a) Según los datos de las descripciones de los núcleos en los pozos Madruga y en el pozo Vegas-1 se observó fauna del Cretácico Medio redepositada, sugiriendo la existencia de una paleocuenca en aquel tiempo.

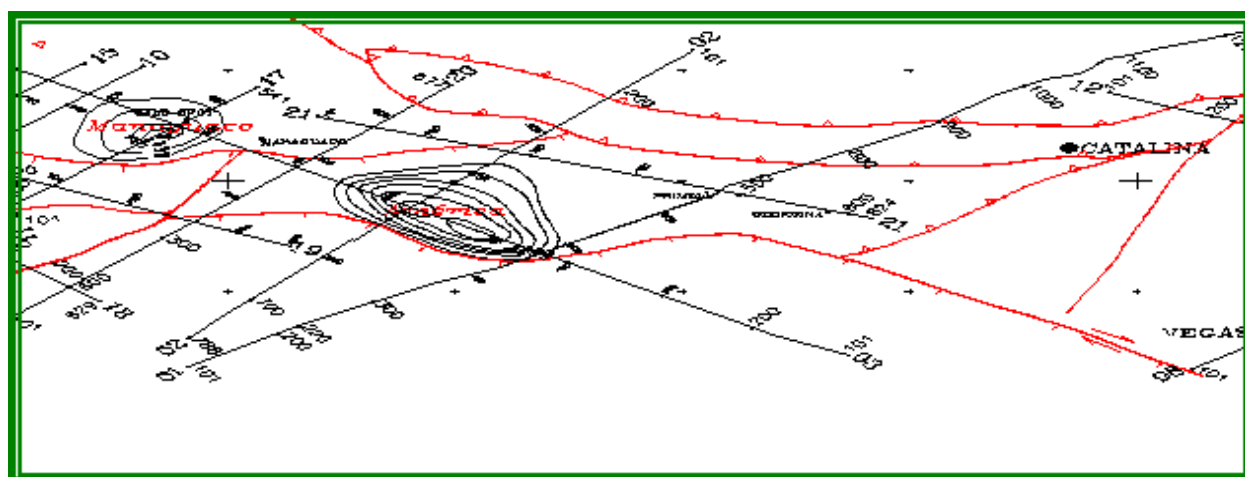


- b) Del estudio e interpretación de las secciones sísmicas, muy especialmente en las líneas 08 y 22 donde infrayacente a la base de los sedimentos del K₂ cp-m se observan reflexiones interpretándose como sedimentos del Cretácico Medio encima del tope del Terreno Zaza, donde éste es calibrado por el VSP del pozo Vegas-1.
- c) Del comportamiento de los campos potenciales, donde el campo magnético al suroeste de los afloramientos del terreno Zaza (volcánico + ofiolitas), localizadas en el área de Madruga es negativo con altos valores, evidenciando el desarrollo de una potente cuenca, la cual se extiende en dirección sureste y localizado su depocentro entre el pozo Vegas-1 y los pozos Madruga 3 y 3A. El campo gravimétrico posee valores regionalmente negativos con la presencia de máximos locales de poca intensidad como se observa en el cruce de los perfiles 08 y 22.
- d) Los innumerables afloramientos de petróleo, en forma de minas de asfalto, como los de Bejucal y de Madruga y las de petróleo vivo, como el afloramiento situado al suroeste del pozo Baldspot (Línea 17) descritos por Jorge Broderman y otros (1943). Las minas de asfalto del coto Bejucal, de donde se realizó la extracción de asfalto, que fue utilizado en la pavimentación de las calles de New York. Al igual se presentan estas asfalteras en el área de Madruga, aunque no se han realizado explotaciones mineras.

Estas evidencias fueron integradas jugando un rol muy importante en la idea geológica regional, y sobre todo en la reconstrucción palinspástica de las diferentes cuencas de antepaís, comenzando por la más conocida y que es Campestre, la cual, como ya se ha mencionado, sus horizontes basales poseen una edad de Cretácico Superior Maestrichtiense. Esta cuenca se encuentra en el norte. En dirección suroeste, después de atravesar las montañas del litoral de Habana-Matanzas nos encontramos con otra cuenca denominada Aguacate cuya edad debe ser más antigua que la Campestre y donde se encuentra perforado el pozo Sta Rita, cuyos sedimentos basales se han datado como K₂cp-m.

Consecuentemente, al encontrarse más al sur la denominada cuenca Vegas, presentó una edad de formación basal anterior, lo que nos permite postular la presencia de sedimentos pertenecientes a un Cretácico Medio, que bien pudieran ser las rocas madres y a la vez productoras de los innumerables afloramientos de hidrocarburos en el Bloque.

RESULTADOS GEOLOGOS-GEOFISICOS.



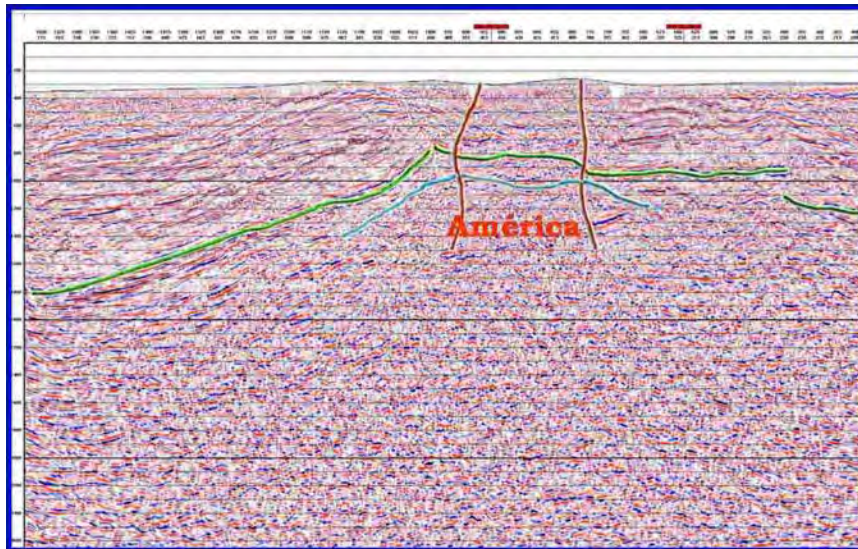
Se confeccionó un mapa estructural regional, por el horizonte verde, destacándose 2 estructuras principales: América y Managuaco.

Del resultado integrado de la interpretación de las líneas sísmicas, los datos de pozos y los datos de campos potenciales, en el área Madruga Bejucal, se correlacionaron 2 horizontes: un horizonte guía (verde), asociado a las rocas del Cretácico Superior y otro horizonte, solo



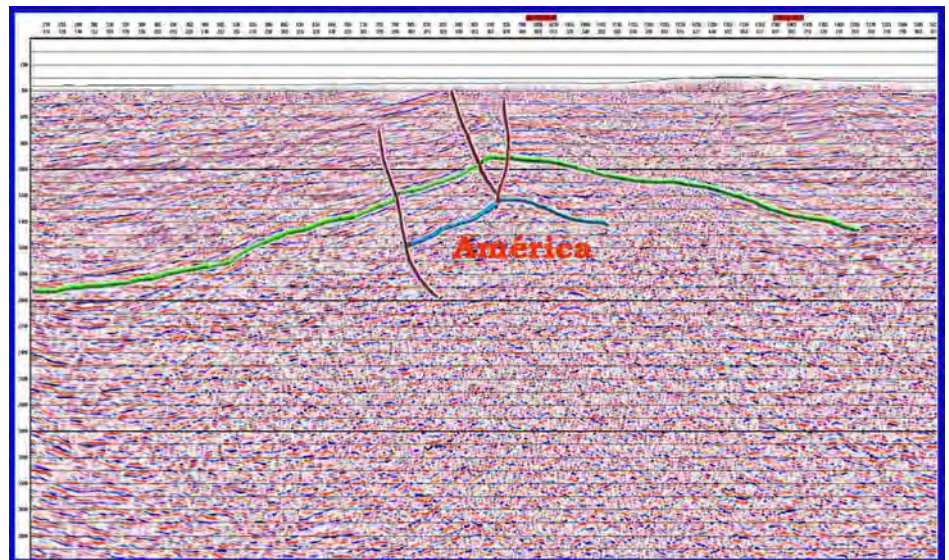
correlacionable en algunas partes del área objeto de estudio, más viejo que el horizonte verde, asociado al tope de las rocas cretácicas sinorogénicas.

Se confeccionó un mapa estructural regional, por el horizonte verde, Del resultado integrado de la interpretación de las líneas sísmicas, los datos de pozos y los datos de campos potenciales, en el área Madruga Bejucal, se correlacionaron 2 horizontes: un horizonte guía (verde), asociado a las rocas del Cretácico Superior y otro horizonte, solo correlacionable en algunas partes del área objeto de estudio, más viejo que el horizonte verde, asociado al tope de las rocas cretácicas sinorogénicas.



Línea CUB08-02

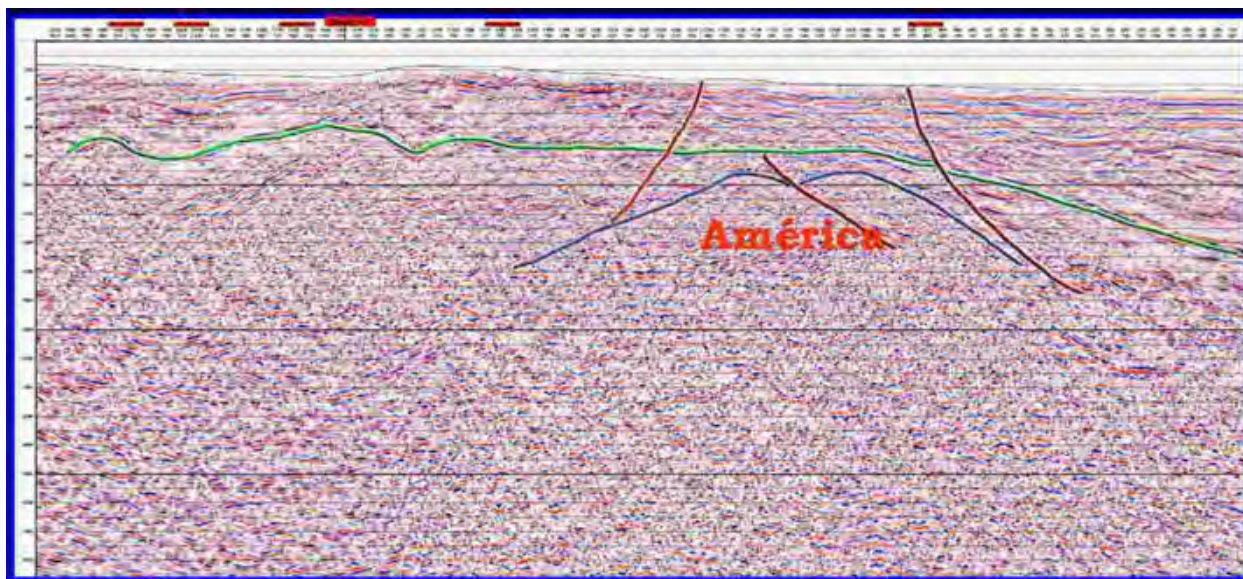
Línea CUB08-01



Estructura América: Se considera un prospecto al estar cortada por 3 líneas (01, 02 y 03), se le estima un área de 12 Km². En la intersección de las líneas 02 y 03 se propone un pozo a 1800 m. La estructura se ubica en la yuxtaposición de dos cuencas (Vegas y Aguacate), donde se espera descubrir sedimentos infrayacentes al tope Cretácico.



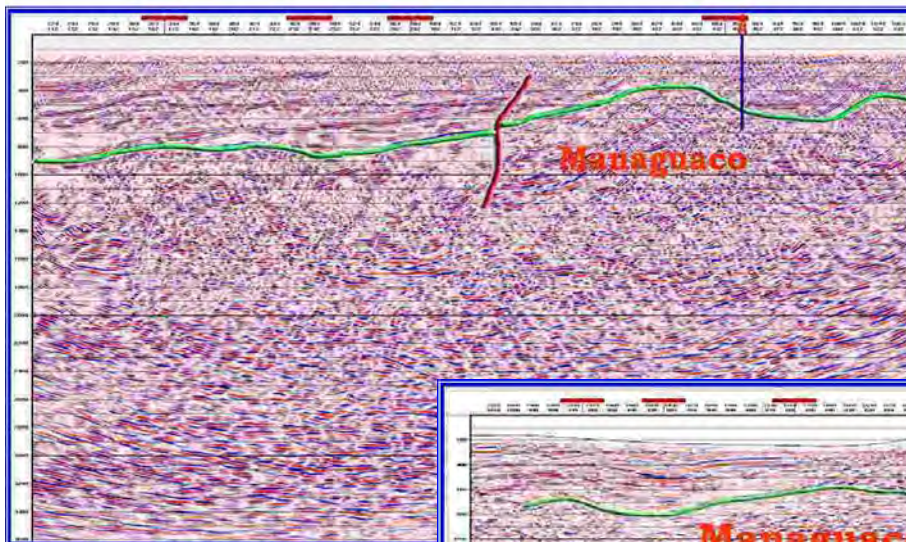
Línea CUB08-03





Estructura Managuaco: Esta estructura clasifica como objetivo, ya que solo es cortada por dos líneas sísmicas (03 y 17), posee su punto mas elevado a 400m, con un área de 10 Km². Se propone un pozo a 700m en la línea 17 (SP 400) con el fin de descubrir las rocas infrayacentes al tope del Cretácico que según una interpretación del pozo Managuaco pueden ser sedimentos carbonatados.

Línea CUB08-17



Línea CUB08-03



CONCLUSIONES.

1. Los parámetros de adquisición son adecuados y la realización de las líneas rectas fue una decisión acertada para evitar la influencia de ondas ruidos y laterales.
2. Los cortes finales obtenidos en DIGICUPET en la segunda campaña muestran una mayor limpieza respecto a los procesados por Dynamic Geophysical aunque es de destacar que en estos últimos las reflexiones correspondientes a las fronteras principales se destacan con claridad.
3. Los levantamientos realizados por Alturas tanto gravimétricos como magnetométricos presentan una calidad buena al igual que el procesamiento de sus datos.
4. Se han detectados 2 áreas que constituyen objetivos para la exploración petrolera. Estas son América y Managuaco.
5. En vista a que la estructuración actual en el sector de Madruga-Brjucal se debe a la tectónica reciente y tomando en cuenta que los yacimientos actuales en la región Habana-



Matanzas, también se reflejan en la tectónica reciente, esto puede constituir un índice directo de búsqueda y prioriza las estructuras recientes sobre otras.

BIBLIOGRAFIA

1. Interpretación compleja de los datos Geologo-Geofísicos en el bloque 8 y sectores aledaños. Empresa de Geofísica. José L. Proll Betancourt, Gisela Rodríguez Pérez, Minerva Rodríguez Pérez. Sept. 1997.
2. Prospección Gravimétrica detallada para petróleo y gas (en ruso). Editorial Nedra. Moscú. A. K. Malovichko, B. I. Kostutsin, O. I. Tarumina.
3. High Sensitivity Aeromagnetic Survey. Reduction to the Pole of Total Magnetic Intensity. Scale 1: 100 000. Surveyed. Compiled by Geoterrex for Alturas Resources Ltd.
4. Mapa del campo ΔT de Cuba a escala 1: 500 000. O. Soloviev. 1963.
5. Exploración Magnética. Editorial Reverté. S. A. A.A Logachev. V.P. Zajarov. 1978.
6. Sobre la ubicación del yacimiento Motembo en los campos potenciales y su relación con la tectónica local. Inédito. José L. Prol Betancourt. 30 de Marzo 1994.
7. Motembo area, Block 9, Cuba. Total Magnetic Survey by Exel Geophysical INC for Sheritt International Corporation.
8. Gravity Prospecting for Reefs: Effects of sedimentation and Differential Compaction. Effects of sedimentation and Differential Compaction. S. Yungul. Geophysics.
9. Use of Gravity, Magnetic and Electrical methods in Stratigraphic Trap Exploration. L. L. Nettleton. American Association of petroleum Geologists. Memoir 16. Edited by Robert E. King. Copyright 1972.
10. Boletín de la Asociación Canadiense de Geólogos Petroleros. Vol. 44 N0 2. Junio 1996.
11. Mapa Geológico de Cuba en escala 1: 250 000. ACC IGP. 1985.
12. Informe de Generalización de los bloques 6, 7, 9, 10 y Varadero Oeste. Inédito. Archivo Empresa de Geofísica. R. Socorro et al. 1998.



RESULTADOS DE LA EXPLORACION GEOFISICA EN EL SECTOR MARINO MARIEL-CABAÑAS.

Autores: Ing. Noemi García Martínez (1), Ing.R. Domínguez(1), Ing. S. Toucet (1), y otros.

(1)Centro de Investigaciones del Petróleo CEINPET – DIGICUPET
Calle 23 #105 e/ O y P, Vedado. Ciudad de Habana.
E-mail: noemí@digicupet.cu

RESUMEN.

El área costera Mariel- Cabañas ocupa una zona marina desde la Provincia de Pinar del Río (Cabañas) hasta La Habana (Mariel). Fueron adquiridos datos sísmicos, cuyo procesamiento se realizó en DIGICUPET.

Los precedentes que hicieron posible llevar a cabo la exploración geólogo-geofísica fueron: 1.- Los resultados de los trabajos del bloque 36 de la ZEE de Cuba (al norte del bloque 6A), donde se revelaron los altos estructurales asociados a los apilamientos tectónicos similares a los conocidos en las regiones de Yumurí y Puerto Escondido; 2.- Presencia de un yacimiento en Martín Mesa que produce petróleo ligero; 3.- Las campañas sísmicas soviéticas del 84-86 y de la CGG-2000, que revelaron una cadena de altos estructurales en los extremos sur de las líneas de aguas profundas, indicando la presencia de nuevas zonas de apilamientos similares a las descubiertas en la zona nororiental de Habana-Matanzas; 4.- la obtención de buenos resultados en las perforaciones dirigidas hacia el mar en la región vecina Habana-Matanzas que ha hecho posible la exploración de las estructuras del sector pre-costero.

La tarea geológica de la campaña sísmica consistió en determinar los altos estructurales asociados a las rocas del margen continental; el espesor sedimentario que sobreyace las rocas de cuenca profunda del margen continental y definir los mejores objetivos para continuar la exploración y encontrar la posibilidad de perforar un pozo en este bloque.

El área presenta condiciones sismogeológicas muy complejas, por lo que se trabajó cuidadosamente tanto en la adquisición, como en el procesamiento de los datos sísmicos. Como resultado se pudo caracterizar en el corte tres intervalos de arriba hacia abajo que corresponden a: Postorogénico, Sinorogénico y cabalgamiento del margen continental, como tope del intervalo inferior se correlacionó la envolvente de los mantos, una superficie que une el tope de las escamas de la UTE Rosario. Para las construcciones estructurales se realizó el estudio de las velocidades por los datos de procesamiento.

Se realizó una extrapolación (amarre tierra-mar) y se construyeron los cortes de profundidad. Se construyó un mapa estructural por la envolvente de las escamas del margen continental y por el tope de los pliegues, donde se delimitan las escamas presentes en este bloque. Se delimitaron preliminarmente 35 topes de pliegues escamas, las cuales ratifican las perspectivas del bloque.

ABSTRAT

The coastal area Mariel - Cabañas squatter a marine area from the County of Pinar of Río (Cabañas) to Havana (Mariel). seismic data were acquired whose processing was carried out in DIGICUPET.

The precedents that made possible to carry out the exploration geologist-geophysics were: 1. - the results of the works of the block 36 of the ZEE of Cuba (to the north of the block 6A), where the high ones structural associated to the similar tectonic piling up were revealed to the acquaintances in the regions of Yumurí and Puerto Escondido; 2. – The presence of a location in Martin Mesa that produces slight petroleum; 3. - The campaigns seismic Soviets of the 84-86 and of the CGG-2000 that revealed a chain of high structural in the south ends of the lines of deep waters, indicating the presence of new areas of similar piling up to the discovered ones in the north-eastern area of Havana-Matanzas; 4. - The obtaining of good results in the perforations directed toward the sea in the neighbouring region Havana-Matanzas that has made possible the exploration of the structures of the pre-coastal sector.

The geologic task of the seismic campaign consisted on determining the high ones structural associated to the rocks of the continental margin; the sedimentary thickness that overlies the rocks of deep basin of the continental margin and to define the best objectives to continue the exploration and to find the possibility to perforate a well in this block.



The area presents conditions very complex seism geologic, for what one worked carefully so much in the acquisition, like in the processing of the seismic data. As a result you could characterize in the cut three intervals of up down that correspond to: Postorogénico, Sinorogénico and thrust and folds of the continental margin, like end of the inferior interval was correlated the encircling of the mantels, a surface that unites the top of the sheets the UTE Rosario. For the structural constructions it was carried out the study of the speeds for the processing data.

It was carried out an extrapolation (it ties earth-sea) and the cuts of depth were built. A structural map was built by the encircling of the sheets of the continental margin and for the end of the folds, where the present sheets were defined in this block. They were defined 35 tops of folds sheets preliminarily, which ratify the perspectives of the block.

INTRODUCCION.

El objetivo de esta investigación es realizar la interpretación geólogo – geofísica de las líneas sísmicas adquiridas en el área al norte del Bloque 6 (terrestre), que se extiende a lo largo de la franja costera Mariel-Cabañas, en el límite entre las provincias Pinar del Río y La Habana, para determinar los altos estructurales asociados a las rocas del margen continental; el espesor sedimentario que sobreyace las rocas de cuenca profunda del margen continental y definir los mejores objetivos para continuar la exploración y encontrar la posibilidad de perforar un pozo en este bloque.

Se conoce que en la zona de Mariel –Cajayabos –Martín Mesa existen innumerables manifestaciones de petróleo ligero tanto en pozos como en superficie, por ejemplo el pequeño yacimiento de Martín Mesa. Existe la posibilidad de mejoría de los reservorios en la zona hacia el mar, lo que nos permite pronosticar la localización de trampas petroleras que se localicen en el Bloque 6-A y que éstas tengan buenas posibilidades de aportar hidrocarburos en cantidades industriales. Los datos sísmicos adquiridos nos ofrecen una imagen alentadora que permite suponer la existencia de tales condiciones.

La interpretación se llevó a cabo a partir de la calibración hecha con los pozos Mariel 1 y 2, y Martha 1 siguiendo un grupo de reflectores que según nuestra interpretación representan estructuras que envuelven a los pliegues correlacionables con las rocas del margen continental.

MATERIALES UTILIZADOS.

Líneas sísmicas 2D y trabajos realizados con anterioridad relacionados con el tema dentro del área de investigación. Fig.1.

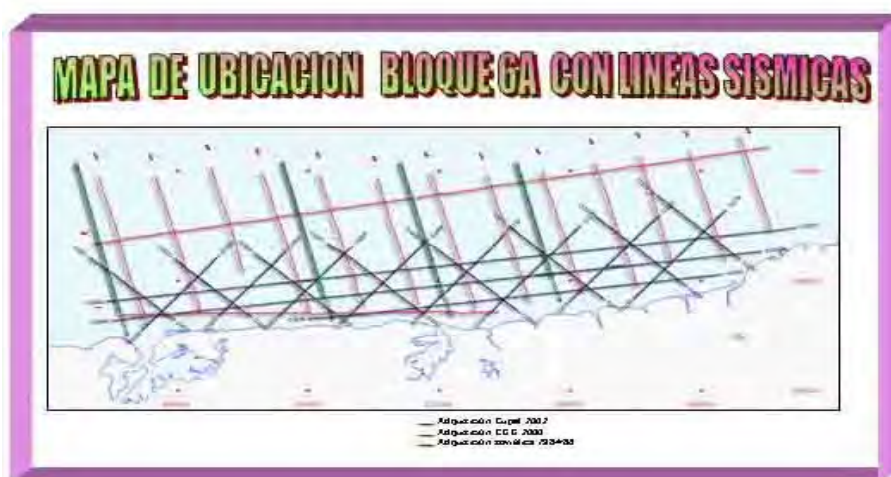


Fig.1 Ubicación del área de los trabajos con líneas adquiridas en el 2002 y en campañas anteriores.



Además otros materiales que se tuvieron en cuenta para su investigación:

- Los resultados de los trabajos del bloque 36 de la ZEE de Cuba (el cual se encuentra al norte del bloque 6-A), donde se revelaron los altos estructurales asociados a los apilamientos cabalgados de las UTE Colorados y Rosario.
- Los apilamientos de la UTE Rosario que han sido revelados por los pozos Martín Mesa a lo cual se asocia un yacimiento homónimo de petróleo ligero.
- La cuenca frontal asociada a los apilamientos se encuentra rellena de depósitos sinorogénicos de carácter caótico de edad K2m-P22-3 el cual según los pozos Mariel 1 y 2 revelan un aumento en su espesor hasta más de 2000m hacia la costa noroccidental y donde se describen las secuencias asociadas al terreno Zaza.
- Las campañas sísmicas soviéticas del 84-86 y de la CGG-2000 revelaron una cadena de altos estructurales en los extremos sur de aguas profundas, indicando la presencia de una nueva zona de apilamiento similar a la zona nororiental de Habana-Matanzas.

METODOLOGÍA DEL TRABAJO.

Se tomaron todas las

1. líneas sísmicas del área migradas en tiempo.
2. Se amarraron con los pozos perforados verticales, inclinadas – dirigidos y horizontales. Fundamentalmente del área Mariel 1 y 2, Martha 1, y Foyo 1. Se realizó la interpretación se realizó tanto manual como con el apoyo del software integrado Seis X para hacer la correlación y el mapa estructural por la envolvente del tope de las rocas del margen continental.
3. Se llevó a cabo el amarre tierra – mar y hacer el seguimiento de las estructuras detectadas en el bloque de tierra. Fig. 2.
4. Se tomaron tramos de líneas para una mejor vista de las estructuras. Fig. 3.

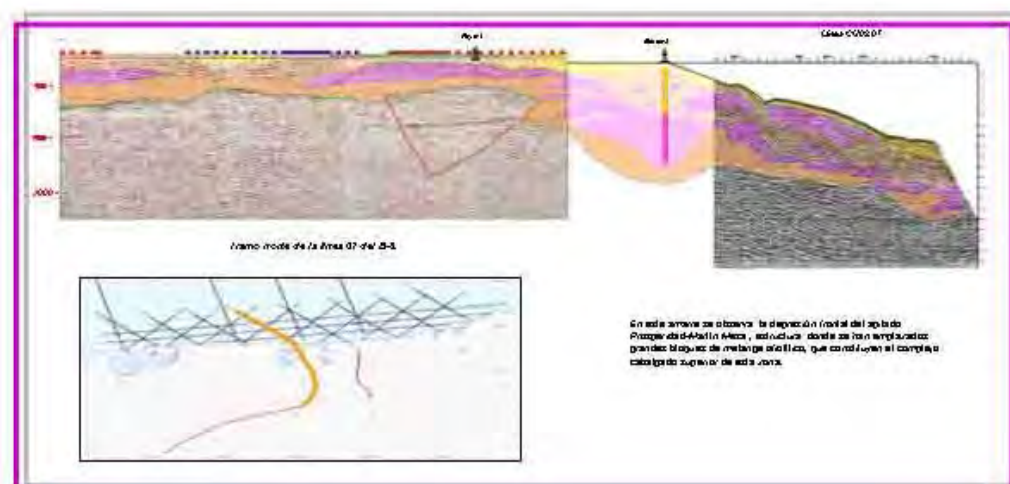


Fig. 2 Amarre Tierra – Mar de los pozos Foyo 1, Mariel 2 con una línea cercana a la costa CU02-07.

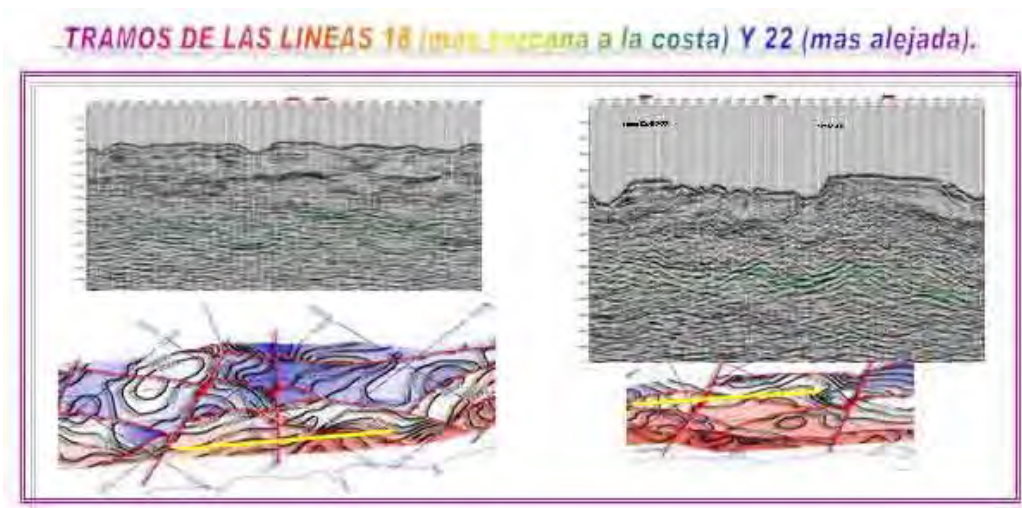


Fig.3. Tramos de líneas escogidos para una mejor visión de las estructuras.

DESARROLLO

ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO SÍSMICO.

El área abarcó una franja costera de aguas someras de profundidades entre 15m, cerca de la costa afuera desde los 700m hasta los 1200m. Sus límites fueron, en el Este, la zona de Marina Hemingway, y al Oeste, las inmediaciones de las Bahías de Orozco y Cabañas. Se utilizaron además, durante la interpretación, 12 líneas de las campañas realizadas en los años 1984 y 1986 103.75 Km., y 4 líneas de la campaña CGG del año 2000, 26.25 Km. El procesamiento se llevó a cabo en la UCTBIG DIGICUPET con el software GEOVECTEUR-PLUS versión 6.1., obteniéndose registros migrados en tiempo después de la suma.

CALIDAD DE LA IMAGEN SÍSMICA.

Para calibrar la información sísmica la realizamos con los pozos ubicados en la costa, a distancias de 2-3 Km. del extremo sur de las líneas 07, 08 y 13. Podemos considerar que la calidad de la información obtenida fue aceptable, ya que nos permitió diferenciar el corte verticalmente y contornear la distribución del Horizonte I de interés. Fig. 4.

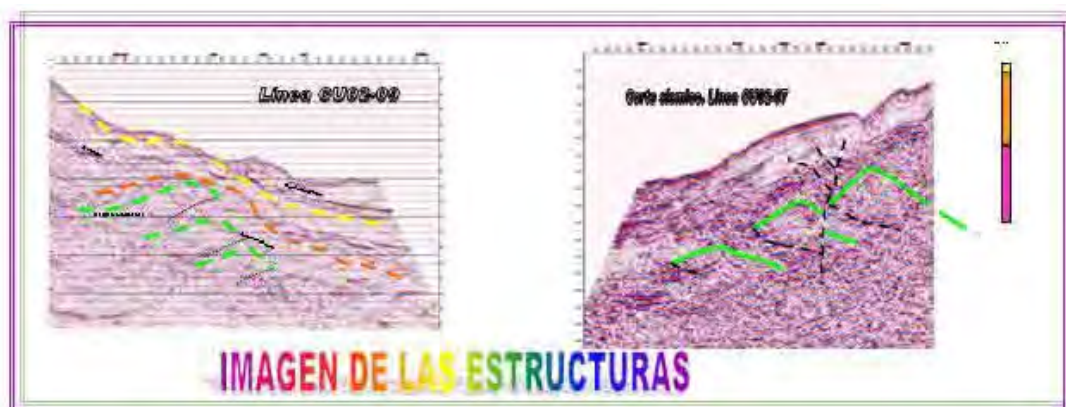


Fig. 4. Muestra según la correlación la imagen de las estructuras.

CARACTERÍSTICAS DEL CUADRO DE ONDA.



Se delimitaron tres intervalos esenciales:

1. El superior, de relativas altas frecuencias presenta un ΔT entre 100 y 300 milisegundos (desde el fondo marino). Hacia el sur disminuye su espesor o se acuña contra el fondo.
2. El segundo presenta un espesor variable y su configuración interna también es variable. Aparecen sectores atenuados y otros con paquetes de reflexiones de alta amplitud, frecuencias y otros caóticos o mudos, que caracterizan en su conjunto la variabilidad de las rocas, de este intervalo que se asocia al Sin-orogénico; su espesor varía entre 200 a 250 milisegundos; mientras que su tope en ocasiones coincide con el fondo marino.
3. En el tercer intervalo solo se define su tope, que se identifica por un cambio de frecuencia y en ocasiones con una reflexión de frecuencia media y alta amplitud. Este evento se denominó Horizonte I; y se asocia como la envolvente a los pliegues carbonatados del margen continental, constituyendo la base del segundo intervalo descrito. Los elementos que ella recubre presentan una constitución interna caótica de alta amplitud conformando secciones cóncavas que en opinión de los autores se asocian a la parte superior de los pliegues. Este Horizonte se sigue a lo largo de todas las líneas desde 0.7 a 0.9 segundos al sur y hasta 1.9-2.7 segundos al norte.

ESTUDIO DE LAS VELOCIDADES.

En las inmediaciones del bloque 6A, cerca de la costa se encuentran 3 pozos Mariel 1, Mariel 2 y Martha 1 que no presentan estudios de velocidades. Por lo tanto para el análisis de las velocidades del área contamos con las velocidades medias del procesamiento, las que difieren de los resultados obtenidos en tierra del bloque 6 y de los resultados de los VSP de los pozos terrestres ubicados más al suroeste de los pozos Mariel. Se ha partido de la suposición de que las rocas que se cortaron en estos últimos son similares estratigráficamente a los que componen el corte geológico del Bloque 6. Esta semejanza se comprueba cuando se comparan los modelos geológicos de ambas zonas.

El mapa estructural se obtuvo a partir de los cortes migrados en tiempo utilizando el software integrado de interpretación de los datos sísmicos SeisX. Fig. 5.

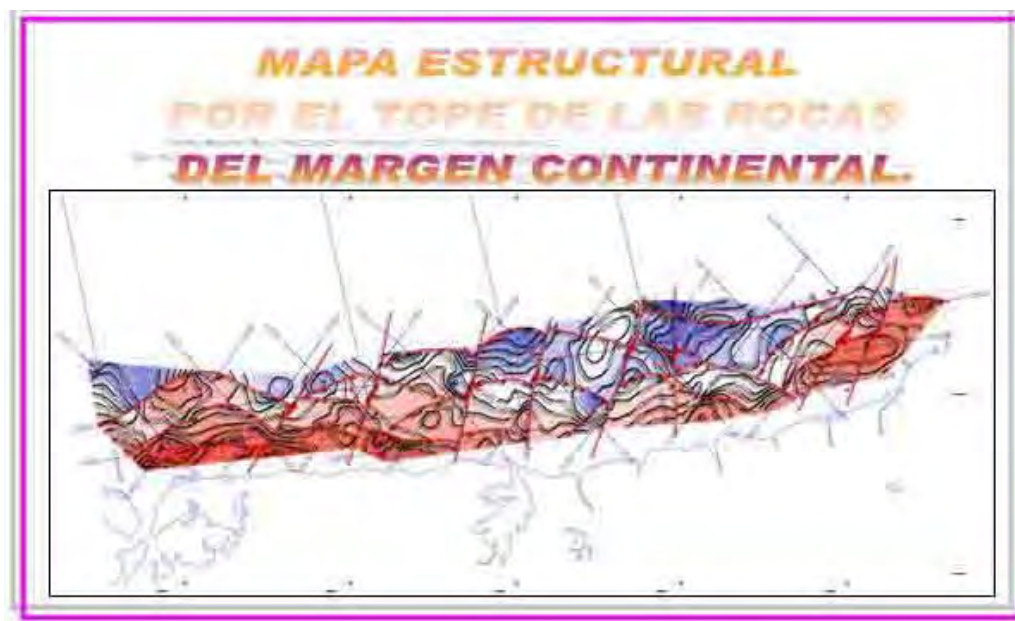




Fig.5. Mapa estructural de la zona investiga

CONCLUSIONES

- La calidad de los resultados del procesamiento cumplió con los requisitos planteados por el modelo esperado.
- Existen cuatro niveles tectono-estratigráficos al igual que en tierra: Post-orogénico, Melange ofiolítico, Olistostroma Manacas, y cabalgamiento de las secuencias del Margen Continental.
- Las secuencias de cuenca que se elevan al norte de los pozos Mariel deben ser las que se cortaron en el manto más profundo de los pozos M. Mesa, y pudieran corresponder a la UTE Sierra del Rosario.
- En el mapa estructural construido por el tope de los pliegues escamas del margen continental se delimitaron objetivos geológicos, correspondientes a las escamas tectónicas.
- Estos objetivos no cumplen aún todos los requisitos para llegar a la categoría de prospectos.
- En la mitad norte del bloque se observan plegamientos, en ocasiones muy claros, pero fuera del alcance de las perforaciones dirigidas desde tierra.

BIBLIOGRAFÍA.

- Domínguez R. y Toucet S. Reporte geólogo-geofísico sobre los resultados de los trabajos sísmicos en el sector offshore. Pinar del Río (ZEE de Cuba en el Golfo de México), 2001
- Domínguez R. Prol J, Informe Sobre los Trabajos Gravimétricos en el Área Habana-Cabañas, 1987.
- Domínguez R., Aballí P. y Prol J. Reporte. Estructura Geológica del Bloque 6 y de los Bloques 7, 9, 10 y Varadero Oeste. (para Bloque 6). 1998



TÉCNICAS ESPECIALES DE PROCESAMIENTO SÍSMICO 2D EN EL CINTURÓN SOBRECORRIDO NORTE CUBANO

Ing. Mericy Lastra Cunill

Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET)
Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba.
Email: mericy@digicupet.cu

RESUMEN

A partir del procesamiento post suma realizado a 3 líneas ubicadas en la zona del cinturón sobrecoorrido norte cubano, nos dimos a la tarea de hacer un estudio de los procedimientos matemáticos que más influyeron en el éxito de los resultados finales.

Teniendo en cuenta que los datos iniciales tenían una relación señal / ruido que puede considerarse de regular diseñamos una secuencia de procesamiento capaz de obtener un corte final con buena resolución sísmica.

Para lograr nuestros objetivos hicimos énfasis en:

- Aplicación de un filtro bidimensional en el dominio FK en el sísmograma inicial, debido a la fuerte presencia del ground roll .
- Aplicación de una deconvolución predictiva monocanal consistente en superficie debido a que esta maneja mejor los ruidos
- Una vez terminada la migración y para obtener una mejor calidad del resultado final pasamos a probar diferentes procedimientos.
 - Mezcla de trazas, la cual alargaba los horizontes, falseando la información para su posterior proceso interpretativo.
 - Filtrado FK, el cual atenúa horizontes con alto grado de inclinación.
 - Filtro predictivo en el dominio FX, que aplicándolo débilmente logró eliminar los ruidos aleatorios que aún persistían en el dato.

Como resultado de este trabajo concluimos que deben aplicarse técnicas especiales de atenuación de ruidos, y solo debemos aplicar con cautela la deconvolución FX para eliminar ruidos aleatorios, y así las grandes pendientes que caracterizan el área no sean afectadas y también consideramos imprescindible la implementación de la migración pre stack.

ABSTRACT

Starting from the post stack processing section carried out to 3 lines located in the area of the belt Cuban north thrust, we gave ourselves to the task of making a study of the mathematical procedures that more influenced in the success of the final results.

Keeping in mind that the initial data had a relationship sign / noise that can be considered of regulating designs a processing sequence able to obtain a final stack migration with good seismic resolution.

To achieve our objectives we made emphasis in:

Application of a two-dimensional filter in the domain FK in the initial sísmograma, due to the strong presence of the ground roll.

Application of a deconvolución predictiva consistent monocanal in surface because this it manages the noises better

Once finished the migration and to obtain a better quality of the final result we pass to prove different procedures.

1. Traces mixing, which lengthened the horizons, falsifying the information for their later interpretive process.
2. Filtered FK, which I attenuate horizons with high grade of inclination.



3. Filter predictivo in the domain FX that applying it weakly was able to eliminate the random noises that still persisted in the data.

As a result of this work we conclude that they should be applied technical special of attenuation of noises, and alone we should apply with caution the deconvolución FX to eliminate random noises, and the big slopes that characterize the area are not affected this way and we also consider indispensable the implementation of the migration pre stack.

INTRODUCCION

Partimos de datos iniciales adquiridos con vibraseis con una relación señal / ruido que puede considerarse regular debido a:

- Fuerte presencia de ruido coherente (ground roll), de muy alta amplitud.
- Un ruido aleatorio caracterizado por una señal cizallante que complicaba todo el registro con un fondo ruidoso alto y constante.
- También se observó contaminación del registro por spikes individuales.

MÉTODOS.

La secuencia de procesamiento fue la siguiente:

- Lectura y reformato de los datos.
- Aplicación de la geometría.
- Edición de trazas malas y mute preliminar.
- Obtención de la fase mínima de la señal.
- Filtrado FK.
- Ordenamiento de los datos por CDP.
- Análisis de velocidad 1 (cada 1000m).
- Corrección NMO y mute.
- Corrección por divergencia esférica.
- Aplicación de la estática de refracción.
- Deconvolución predictiva monocanal.
- Aplicación de la estática residual 1.
- Análisis de velocidad 2 (cada 500m).
- Corrección NMO y mute.
- Aplicación de la estática residual 2.
- Ordenamiento de los datos por planos offset.
- DMO (dominio de offset común).
- Análisis de velocidad 3 (cada 500m).
- Corrección NMO y mute.
- Suma.
- Migración (diferencias finitas).
- Atenuación de ruidos aleatorios en el dominio FX.
- Filtrado de banda variable en tiempo.
- Ecualización.

RESULTADOS

De esta secuencia de procesamiento debemos destacar la importancia de algunos procesos aplicados.



- Debido a la fuerte presencia de ground roll se aplicó un filtro bidimensional en el dominio FK que permitió atenuar ese tipo de ruido coherente caracterizado por una relativa baja frecuencia y muy alta amplitud y que por ser tan fuerte estaba apantallando la señal útil.(ver Figura 1)

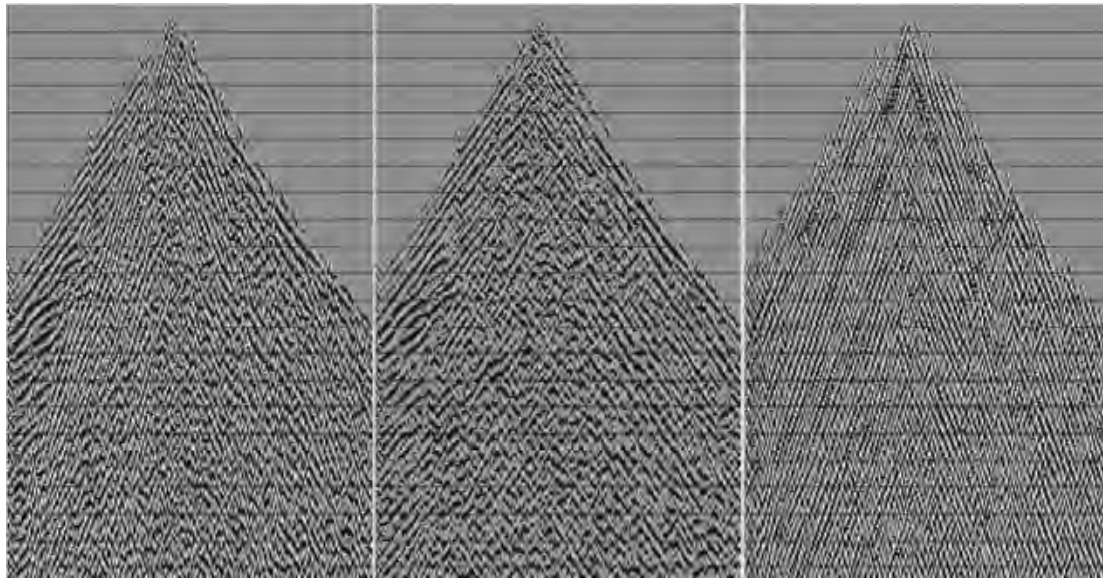


Figura 1 – a. PT con presencia de ruido coherente, b. PT después de aplicado el filtro FK, c. Ruido coherente que fue eliminado.

- Después de muchas pruebas de deconvolución se escogió una deconvolución predictiva monocanal , ya que en esta área como en otras fundamentalmente de tierra, donde la relación señal / ruido es pobre esta aporta mejores resultados que la consistente en superficie porque maneja mejor los ruidos (no los propaga), debido a que construye un operador de deconvolución para cada traza.
- Se realizaron 2 análisis de velocidad antes de DMO con sus correspondientes pasos de estáticas residuales y otro análisis de velocidad post DMO y aún así no se han podido eliminar todos los conflictos de velocidades que aparecen en las secciones en tiempo debido a la presencia de eventos que se entrecruzan, lo cual solo podrá ser resuelto con la implementación de las técnicas de migración pre stack, ya que el estudio de las velocidades en tiempo migrado es mucho más certero que incluso post DMO.
- Una vez terminada la migración y para obtener una mejor calidad del resultado final, pasamos a probar diferentes procedimientos:
 - mezcla de trazas.
 - eliminación de ruidos aleatorios.
 - eliminación de ruidos coherentes.
 - filtrado de banda.
 - ecualización.



En la Figura 2 podemos observar que:

- La mezcla de trazas nos alargaba los horizontes, falseando la información para su posterior proceso interpretativo.
- El filtrado FK puede eliminar o atenuar horizontes con buen grado de inclinación que aparentemente puedan ser interpretados como ruidos coherentes.
- Solo obtuvimos mejoría con un filtro predictivo en el dominio FX, aplicado débilmente para eliminar los ruidos aleatorios que aún persistían en el dato final.

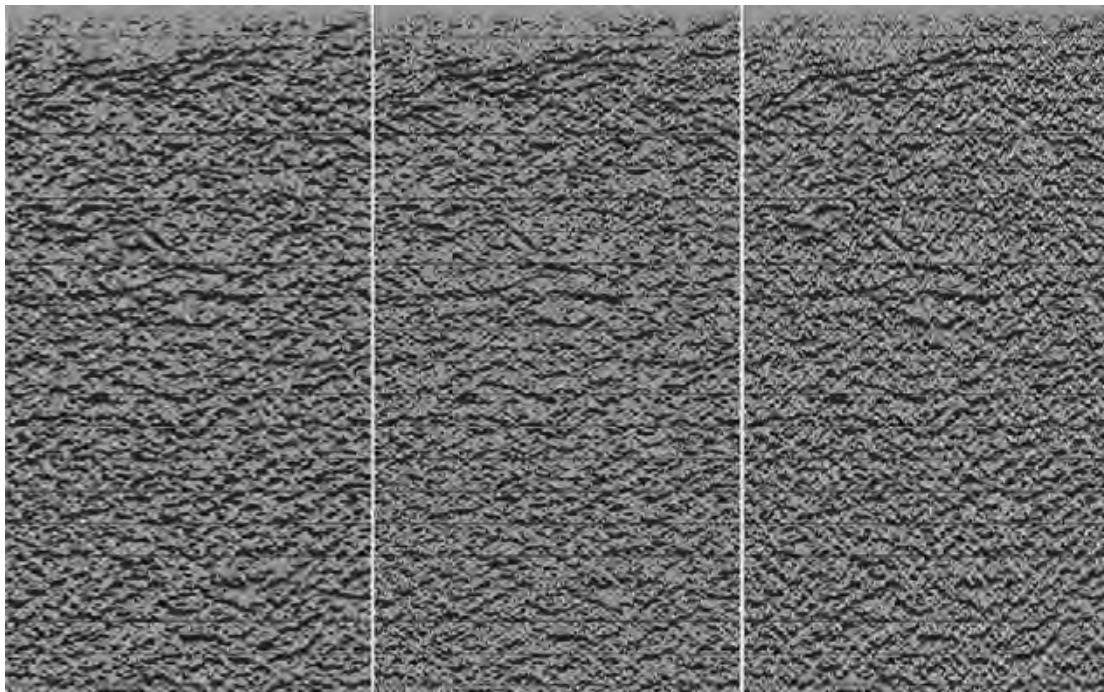


Figura 2 –Post procesamiento , con mezcla, filtro FK y deconvolución predictiva FX.

En la Figura 3 podemos valorar el resultado de la secuencia de procesamiento presentándose diferentes estadios de esta.

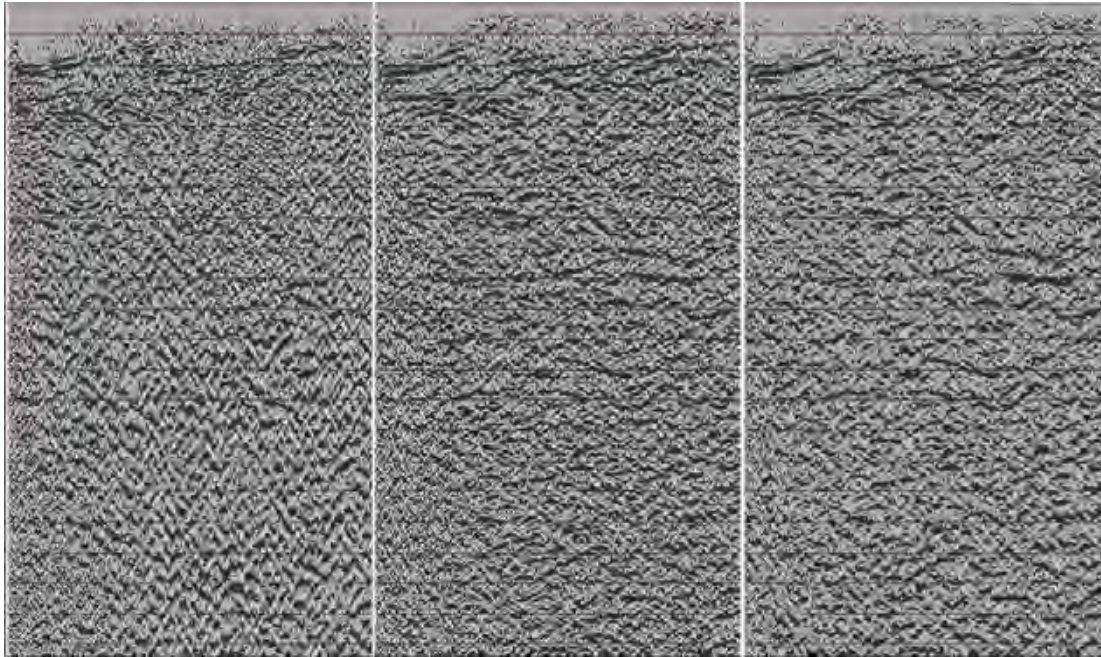


Figura 3 a-Suma Preliminar, b-Suma DMO, c-S

CONCLUSIONES

1. En áreas de pobre relación señal / ruido debemos aplicar una deconvolución monocanal.
2. Debido a la complejidad área de estudio, consideramos imprescindible la implementación de la migración pre stack para corregir los problemas que el DMO no puede solucionar y de esta forma hacerse más claro el análisis de velocidad.
3. Teniendo en cuenta que estamos trabajando en el cinturón sobrecorrido tenemos que tener cuidado especial al aplicar la mezcla de trazas y el filtrado FK como procedimientos finales y también ser cuidadosos con la aplicación de filtros en el dominio FX para eliminarlos ruidos aleatorios ya que estos buscan la coherencia en sentido horizontal y por tantotas grandes pendientes también pueden ser afectadas.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar técnicas especiales de atenuación de ruidos para mejorar la eficiencia de otros procesos.
2. En áreas donde la relación señal / ruido es pobre no debe usarse deconvolución multicanal para no propagar los ruidos.
3. En el cinturón sobrecorrido no deben aplicarse en el post procesamiento la mezcla de trazas, ni el filtrado FK, y de ser necesario debe hacerse con extremo cuidado.



4. Aplicar los procedimientos de pre stack para obtener velocidades más certeras ya que serían obtenidas a partir de tiempo migrado y posteriormente obtener su correcta migración en profundidad.

BIBLIOGRAFÍA

Bancroft, J., A Practical Understanding of Pre and Post-stack Migrations.
Stark, A., Principles of Seismic Processing.



NUEVAS ESTRUCTURAS PETROLERAS REVELADAS A PARTIR DE LA SÍSMICA 2D AL OESTE DE LA REGIÓN GASOPETROLÍFERA HABANA – MATANZAS

Alberto H. Domínguez Gómez ⁽¹⁾, Gerardo Arriaza, Rafael Socorro, Sofía López, Nancy Sterling, Mércy Lastra, José Álvarez, Jesús Ríos, Héctor Zambrana y Blanca Sosa.

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo. UCTB Investigaciones Geofísicas (DIGICUPET)
23 No105 e/c O y P, Vedado, Ciudad de la Habana, Cuba. E-mail:
alberto@digicupet.cu

RESUMEN

Con la necesidad de aumentar las reservas probadas y probables, así como poder mantener el consumo de gas y energía eléctrica a la población, en la Región Gasopetrolífera Habana – Matanzas se realizaron en los últimos años nuevas campañas sísmicas 2D. Del resultado de la interpretación de las líneas, con la utilización del software integrado de interpretación de los datos sísmicos Seis X, se reveló al oeste del yacimiento de petróleo Boca de Jaruco nuevos prospectos “Vía Blanca Norte, Veneciana, Guanabo Norte, Tarará y Celimar”, como parte del cinturón plegado y cabalgado, dentro de la UTE.Placetas, correlacionable con los carbonatos del Grupo Veloz, y posiblemente coronándolas conglo-brechas, conglo-brechas más grauvacas arenosas y grauvacas arenosas con matriz de cretas radiláricas Terciarias que son las que producen el mayor porcentaje de petróleo.

Tomamos como patrón el modelo gráfico de velocidad para la línea más representativa y los nuevos resultados paleontológicos, petrográficos y geofísicos en los pozos BJ ochocientos horizontales productores industrialmente, realizados en el yacimiento de Boca de Jaruco, que sirvió de apoyo para la representación del cuadro ondulatorio presente, dividido en grupos de ondas, observados en los perfiles sísmicos que ilustran los prospectos.

La profundidad de las estructuras oscila entre los 1300 y 1450m, sus espesores entre 150 y 250m, el cierre de las estructuras o punto de fuga esta entre los 1550 y 1600m lo que permite que mantenga la carga del fluido entrampado.

Se utilizaron en la interpretación geólogo - geofísicas las líneas migradas en profundidad, disminuyendo el riesgo y aumentando la efectividad en la exploración.

ABSTRAT

Because of the needs of increasing proven and probable reserves for maintaining people's and electric power consumption levels in the last year was carried out new seismic 2D campaigns. As interpretation result of seismic data using Seis X software, new prospects were revealed at west of Boca de Jaruco oil field, named Vía Blanca, Veneciana, Guanabo Norte, Tarara y Celimar, related to Veloz carbonate in Placetas TSU and situated inside folded and overtrused belt and probably to unconformity (onlapping) conglo-breaches, conglo- breaches plus grauvacas sandy, grauvacas sandy with radiolarite marls matrix of Tertiary age witch are the ones that produce the biggest percent of oil.

INTRODUCCION.

El objetivo de esta investigación es realizar la interpretación geólogo – geofísica de las nuevas líneas sísmicas adquiridas en el área para determinar los prospectos existentes.

El área se encuentra ubicada al noroeste de la región gasopetrolífera Habana- Matanzas.

La interpretación se llevó a cabo a partir de la calibración hecha con los pozos VB-34, 100,101,102,103,104 y 400 siguiendo un grupo de reflectores que, según nuestra interpretación representan una estructura que envuelve a los pliegues correlacionables con los carbonatos del Grupo Veloz, pertenecientes a la UTE Placetas.

El pozo Guanabo 19 perforado en tierra dio petróleo pero a la profundidad de 3150 m por la vertical, no industrial por la profundidad y la entrada, lo cual este resultado se busca con más grado de acierto en las estructuras reveladas en este trabajo.

En la elaboración del perfil se tuvieron en cuenta los modelos realizados anteriormente por los especialistas de DIGICUPET.

En la interpretación como apoyo se empleó el software integrado Seis X para hacer la correlación y el mapa estructural por la envolvente.

MATERIALES UTILIZADOS

Líneas sísmicas 2D migración postsuma (tiempo) y presuma (profundidad) y trabajos realizados con anterioridad, relacionados con el tema dentro del área de investigación. Fig.1 y 2.

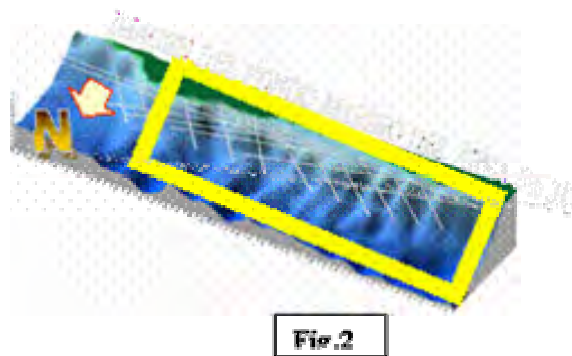


Fig.1 Ubicación del área de trabajo desde el oeste de Boca de Jaruco hasta Celimar.
Fig. 2 Imagen 3D muestra la irregularidad del fondo marino (azul).

METODOLOGÍA DE TRABAJO

1. Se tomaron todas las líneas sísmicas del área migradas en tiempo y profundidad.
2. Se amarraron con los pozos perforados verticales, inclinados – dirigidos y horizontales. Fundamentalmente del área Vía blanca y Boca de Jaruco que cortaron los carbonatos del Grupo Veloz y Terciario sin orogénico (colector).
3. Se realizó la interpretación se realizó tanto manual como con el apoyo del software integrado Seis X para hacer la correlación y el mapa estructural por la envolvente.

4. Todos estos pasos se realizaron posteriormente con las líneas migradas en profundidad y el apoyo del modelo de velocidad. Fig 3- 4



Fig.3 Ejemplo de modelo de velocidad de una de las estructuras revelada.

Fig.4 Mapa estructural por la envolvente usando el software integrado Seis X (ejemplo de una de las estructuras).

DESARROLLO

Adquisición y Procesamiento Sísmico

El volumen interpretado fue de 140km. Los trabajos de adquisición fueron realizados en fechas diferentes.

El procesamiento de estas diferentes campañas se realizó en diferentes centros en el 2000 y 2003 respectivamente, obteniéndose registros migrados en tiempo después de la suma y migrados en profundidad antes de la suma. DIGICUPET también obtuvo la migración en tiempo después de la suma de las líneas.

Calidad de la imagen sísmica.

En términos generales se puede expresar que la calidad de la información es aceptable hasta los 1.5 s; a tiempos de registro mayores se observan grandes buzamientos de las reflexiones obtenidas en los cortes de profundidad.

El cuadro ondulatorio de forma general presenta 3 grupos de ondas como se aprecia en el gráfico. En el primer grupo de ondas se observa por debajo del fondo marino (horizonte sísmico azul) que va desde los 200m hasta 1150m de profundidad, corresponde a los sedimentos del Neógeno - Cuaternario, la zona más cercana al fondo marino va a presentar reflectores coherentes con alta amplitud y en su parte baja reflectores paralelos de media amplitud. El segundo grupo por debajo del horizonte sísmico amarillo que va desde los 600m hasta 1700m de profundidad aproximadamente, corresponde a los sedimentos Terciarios, donde se destacan reflexiones fuertes y extendidos, con alta frecuencia en sus extremos e interrumpidas en su parte media. El tercer grupo de ondas se observa por debajo del horizonte sísmico verde claro, que va desde 1500m hasta 1750m de profundidad, corresponden a las rocas del Grupo Veloz, y lo conforma una serie de reflexiones de baja frecuencia las cuales en profundidad se inclinan con grandes ángulos en dirección a la costa. Fig. 5 y 6.

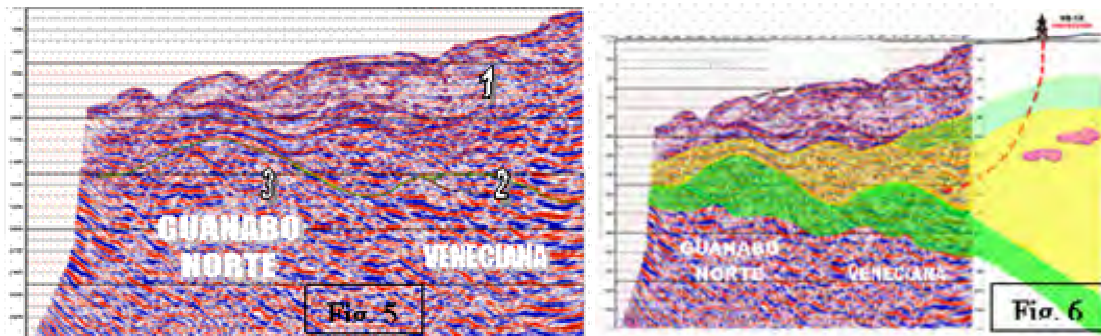


Fig. 5 Cuadro ondulatorio presenta tres grupos principales de ondas.

Fig. 6 Perfil correlacionado con el pozo VB-1X y las estructuras reveladas pertenecientes a los carbonatos del Grupo Veloz, existe la posibilidad que estas rocas esten coronadas por las conglobrechas, conglobrechas más gravuacas arenosas, gravuacas arenosas y cretas con pedernal con sellos internos de edad terciaria (verde).

Las estructuras reveladas en la zona más oeste fueron las de Tarará y Celimar, las que se correlacionaron (para un amarre mejor con las líneas sísmicas) con los pozos más cercanos y profundos perforados en tierra. De estos pozos el de mayor profundidad y que corto los carbonatos del Grupo Veloz a la profundidad de 3150m por la vertical fue el Guanabo 19, pozo que resulto petrolífero a esta profundidad, pero con petróleo no comercial. Fig. 7,8, y 9.

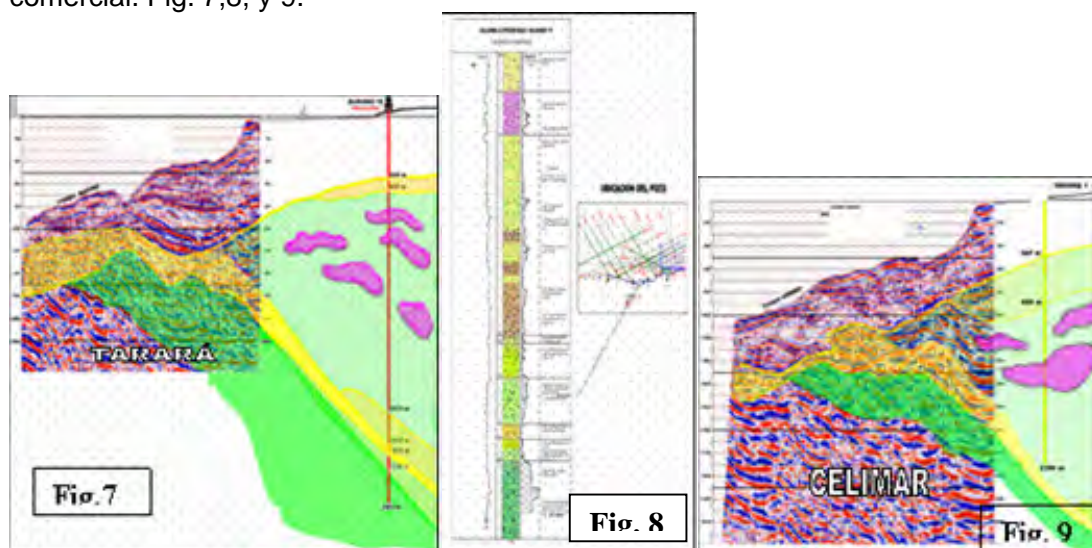


Fig. 7 Perfil correlacionado con el pozo Guanabo 19, estructura Tarará.

Fig. 8 Corte del pozo Guanabo 19. Carbonatos del Grupo Veloz reservorios de petróleo (verde) la parte superior entrampada con su cierre, y en amarillo suproyace discordantemente el sello Vega Alta.

Fig. 9 Perfil correlacionado con el pozo Tarará 1, estructura Relimar, observese parte superior de color verde dentro del perfil sísmico.

Correlación sísmica y calibración.

Se correlacionaron dos horizontes: uno correspondiente al fondo marino de color azul claro y otro (como grupo de reflectores) asociado a la envolvente del Grupo Veloz de color verde claro, la cual se calibró a partir de los pozos direccionales VB-34, 101, 103 y 104 que cortaron los carbonatos del Grupo Veloz. Se utilizaron en la interpretación las líneas sísmicas en la versión de migración en profundidad antes de la suma, en su conclusión final.

El mapa estructural hecho por la envolvente a estos carbonatos, revela las distintas estructuras denominada Vía Blanca Norte; Veneciana, Guanabo Norte, Tará y Celimar.

El mapa final se obtuvo a partir de los cortes migrados en profundidad utilizando el software integrado de interpretación de los datos sísmicos Seis X. Se observa el hundimiento de los carbonatos de este pliegue a profundidades mayores de 1.8 Km.

Hacia el extremo norte, ésta levanta hasta 1.45 Km. aproximadamente y distan de la costa a una distancia no mayor de 2 a 4km. Fig. 10.

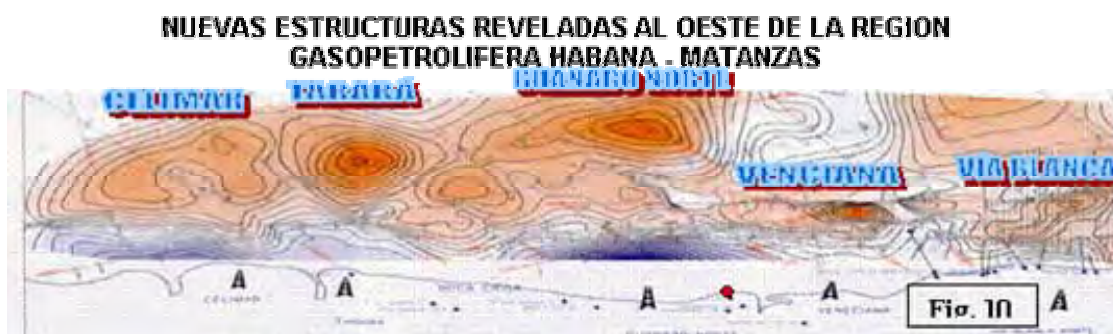


Fig. 10 Mapa estructural final por la envolvente de los distintos prospectos, tope de las estructuras en rojo más oscuro y parte hundidas en blanco y más hundidas azul oscuro.

RESULTADOS GEOLOGO-GEOFISICOS.

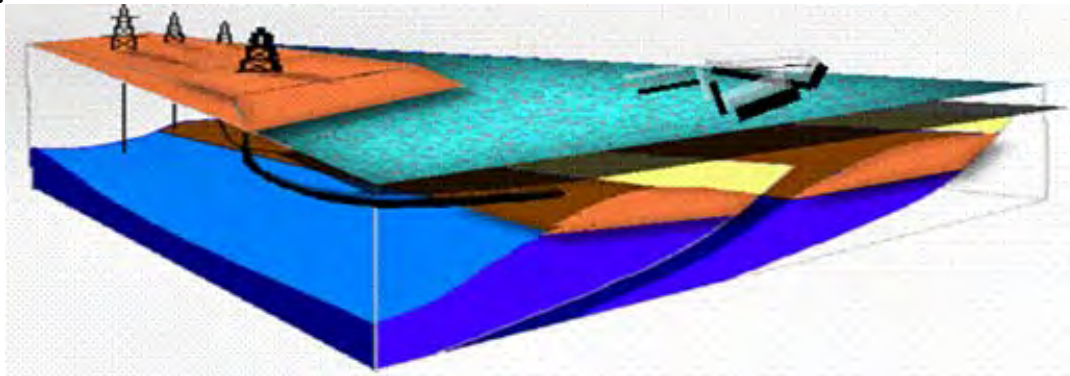
1. Se determinó el prospecto Vía Blanca Norte, Veneciana, Guanabo Norte, Tará y Celimar perteneciente a la UTE Placetas, productora en los pozos VB-20, 100 y 101. El mapa de las estructura fue realizado por la envolvente. Las estructuras están tectónicamente apantallada por fallas que se entierra en dirección sur y que delimita este objetivo por el flanco septentrional.
2. En los pozos verticales perforados en tierra tanto verticales como direccionales la secuencia principal correlacionada alcanza espesores desde 135 hasta 520 m, a profundidades desde 1648 al norte y 2430m al sur, y datado como perteneciente al Grupo Veloz, coronado por los sedimentos sinorogenicos de edad Terciaria, horizonte productor en los pozos "ochocientos" en el yacimiento de petróleo Boca de Jaruco.
3. De acuerdo con los resultados del pozo Vía Blanca 20, el más productivo del área con una producción total mayor de 50000 barriles a 1878m de profundidad y una distancia de 200m de la costa, donde se obtuvo un petróleo de una densidad $0,933 \text{ g/cm}^3$ (más bajos que los otras áreas similares)

CONCLUSIONES

Se determinaron los prospectos Vía Blanca Norte, Veneciana, Guanabo Norte, Tarará y Celimar como parte del cinturón plegado y cabalgado, dentro de la UTE Placetas perteneciente a la Región Gasopetrolífera Habana – Matanzas. Cinco estructuras reveladas al oeste del yacimiento de petróleo Boca de Jaruco en explotación.

RECOMENDACIONES

Seguir perforando los restantes pozos con la dirección y guía de este trabajo, para mejorar el éxito alcanzado hasta el momento.



Perfil 3D esquemático donde ilustra la perforación de los pozos inclinados dirigidos y horizontales para lograr alcanzar el objetivo deseado.

BIBLIOGRAFÍA

- Socorro R. y López S. Modelos geólogo – geofísicos elaborados en la faja septentrional de Habana – Matanzas, 1988,1989 y 2000.
- Socorro R. y Domínguez A. “Renovación del yacimiento de petróleo Vía Blanca”, discutido en la EPEP.Occidente, 2000.



TRABAJOS EXPERIMENTALES SÍSMICOS EN CUBA.

Pilar E. Aballí⁽¹⁾, Romel Ojeda⁽¹⁾, América Sorá⁽¹⁾, Ariel Pérez⁽²⁾

(1) UCTB Investigaciones Geofísicas (DIGICUPET), CEINPET, Calle 23 No. 105 e/. O y P, Plaza, Ciudad de La Habana, Cuba, Email: pilar@digicupet.cu, romel@digicupet.cu, america@digicupet.cu

(2) Dirección Técnica, Empresa de Servicios Petroleros (GEOSERV), Calle 19 No. 910 esq. 8, Plaza, Ciudad de La Habana, Cuba, Email: ariel@geoserv.cupet.cu

RESUMEN

El objetivo del trabajo es hacer un balance de los trabajos experimentales que efectuados en Cuba con la finalidad de obtener los parámetros para los trabajos de adquisición sísmica de reflexión en las investigaciones geofísicas para la búsqueda de hidrocarburos en diferentes regiones de estudio.

Los trabajos experimentales para los trabajos sísmicos ejecutados en colaboración con la Unión Soviética realizados estaban encaminados a obtener parámetros como: profundidad óptima de colocación de la carga, peso óptimo de la carga, cantidad de receptores en el grupo y base del mismo, teniendo en cuenta las principales ondas ruidos y útiles presentes en el cuadro ondulatorio.

La importancia del mismo está determinado por la buena selección de los parámetros de trabajo con la fuente no explosiva: Vibroseis; para obtener buenos datos sísmicos adquiridos para la interpretación y obtención objetivos geológicos mejor definidos para exploración petrolera en el país.

ABSTRACT

The objective of the work is to make a balance of the experimental works that made in Cuba with the purpose of obtaining the parameters for the works of seismic acquisition of reflection in the geophysical investigations for the search of hydrocarbons in different study regions.

The experimental works for the seismic works executed in collaboration with the carried out Soviet Union were guided to obtain parameters like: good depth of placement of the lauds, good weight of the lauds, quantity of receivers in the group and bases of the same one, keeping in mind the main waves noises and useful present in the field of waves.

The importance of the same one is determined by the good selection of the working parameters with the source non plosive: Vibroseis; to obtain good acquired seismic data for the interpretation and defined better obtaining geologic objectives for oil exploration in the country.

INTRODUCCION

A partir de los años 90 con la entrada al país de las compañías petroleras occidentales se produjo un vuelco en las investigaciones sísmicas con la introducción de técnicas y tecnologías más avanzadas que las utilizadas hasta el momento en el país. Esto trajo como resultado el avance en el desarrollo de los trabajos de adquisición sísmica y con ello la realización de trabajos experimentales propios para la nueva técnica. Ahora el interés de los mismos venía dado para estudiar y analizar parámetros como son: cantidad de vibradores, longitud del barrido, frecuencias del barrido, cantidad de barridos por punto de vibración entre otras.

MATERIALES Y METODOS

En todos las zonas que se realizaron los trabajos experimentales con el fin de seleccionar los parámetros de trabajo para la adquisición. Estos se llevaron a cabo con fuente no explosiva (vibradores), y explosiva para realizar los LVL, y los pop shot).



Estas pruebas fueron las mismas, de forma general, para todos los bloques. Los tipos de trabajos experimentales fueron:

- Prueba para las altas y bajas frecuencias.
- Cantidad del barrido de los vibradores y longitud del barrido
- Análisis de los vibradores en movimiento y sin movimiento y cantidad de vibradores.
- En el caso de la utilización de explosivos se probaron agrupaciones de pozos con diferentes profundidades y cargas.

Prueba para las altas y bajas frecuencias.

Se probaron para las frecuencias altas los valores comprendidos entre 30-100 Hz. y para las bajas, los valores dentro del rango de 7-14 Hz.

Cantidad del barrido de los vibradores y longitud del barrido.

En este bloque se hicieron pruebas con:

- Número de barridos 2-6.
- Longitudes de barrido: 5-24 s.

Análisis del trabajo con explosivo:

En este caso se hace este trabajo para los sectores de terreno que no se puedan utilizar los vibradores, y fuera necesario emplear explosivo como de fuente de energía para obtener los puntos de tiro (PT); ya que los vibradores no pueden trabajar en zonas tales como:

- cenagosas
- elevaciones abruptas
- muy afectadas por la presencia de lluvias.
- de acceso difícil

Se probaron agrupaciones de pozos con diferentes profundidades y cargas.

No.	Descripción	Fuente	Carga
1	Patrón 1	1 x 9.0 m.	1 x 3000 g.
2	Patrón 2	1 x 9.0 m.	1 x 2000 g.
3	Patrón 3	1 x 9.0 m.	1 x 1500 g.
4	Patrón 4	2 x 5 m.	2 x 500 g.
5	Patrón 5	2 x 5 m.	2 x 800 g.
6	Patrón 6	2 x 5 m.	2 x 1000 g.
7	Patrón 7	3 x 3 m.	3 x 500 g.
8	Patrón 8	3 x 3 m.	3 x 800 g.
9	Patrón 9	3 x 0.5 m.	3 x 100 g.
10	Patrón 10	3 x 1.3 m.	3 x 150 g.
11	Patrón 11	3 x 1.3m.	3 x 300 g.
12	Patrón 12	5 x 0.5 m.	5 x 100 g.
13	Patrón 13	5 x 1.3 m.	5 x 150 g.
14	Patrón 14	5 x 1.3 m.	5 x 300 g.

La fuente de energía con explosivos también fue utilizada para la realización de las microrrefracciones (LVL) y para ello se realizaron las pruebas siguientes:

- Pozos a distancia de 1 m del tendido: 4 detonadores con pesos de cargas: 50 g, 100 g, 150 g.



- Pozos a distancia de 75 m del tendido: con pesos de cargas: 100 g, 150 g, 200 g, 250 g, 300 g.

RESULTADOS

Prueba para las altas y bajas frecuencias.

Fueron elegidos como los resultados mejores:

Para las bajas frecuencias: 10 Hz.

Para las altas frecuencias: 60 y 70 Hz.

Cantidad del barrido de los vibradores y longitud del barrido.

Se eligieron como mejores:

- Número de barridos 6 para la mayoría de los sectores, excepto para el sector norte central que se escogió 4 barridos.
- Longitudes de barrido: 5-24 s.

Análisis del trabajo con explosivo:

Para realizar los trabajos de adquisición sísmica con explosivo, en los lugares donde fuera necesario se seleccionaron los siguientes parámetros (Figuras 1 y 2):

Numero de Pozos:	5
Distancia entre pozos:	3-5 m.
Profundidad de los pozos:	1.0, 1.3 y 3 m.
Carga de los pozos:	150, 300 g

Para la realización de las microrrefracciones (LVL)

Se eligió para:

- Pozo a 1 m., 1 detonador y peso de carga 150 g.
- Pozo a 75 m., 1 detonador y peso de carga 300 g.

Con la utilización de los diferentes parámetros seleccionados se obtuvo un resultado de los datos sísmicos bastante aceptable en las diferentes regiones. (Figuras 3,4)

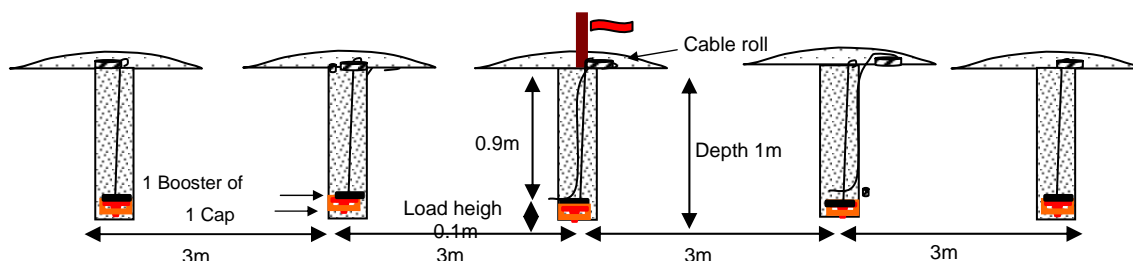


Fig. 1. Patrón utilizado en la región norte y central del país

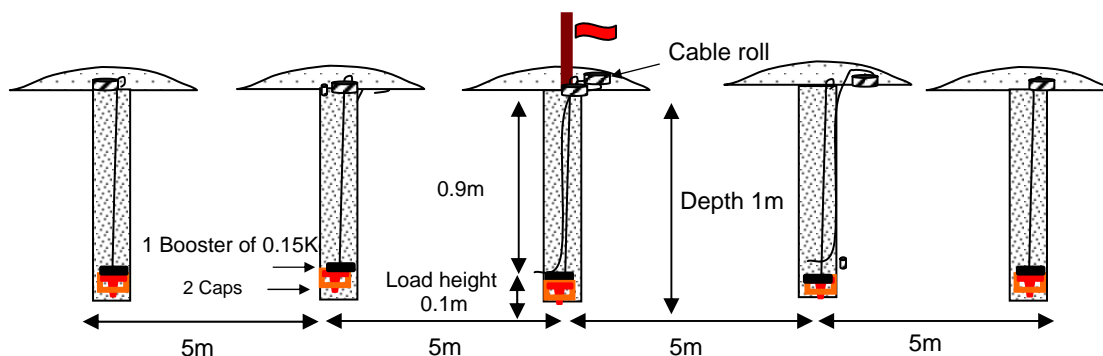


Fig. 2. Patrón utilizado en la región centro norte

CONCLUSIONES.

- En todas las regiones se efectuaron los trabajos experimentales solicitados por los clientes con la utilización de parámetros que fueron propuestos por ellos.
- Los resultados obtenidos con los parámetros seleccionados, de forma general satisfacen el grado de estudio alcanzado porque se obtuvo una imagen sísmica favorable en los cortes sísmicos obtenidos en las diferentes etapas del procesamiento.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aballí P., Informe Temático. Trabajos Experimentales en Tierra. DIGICUPET.
- Arriaza G., P. Aballí, 2004. Reporte sobre los resultados de los trabajos de la adquisición sísmica en el cinturón plegado cubano en el período 2003-2004. DIGICUPET.
- Sorá A. y otros, 2003-2004. Incremento de la efectividad del método sísmico en el cinturón plegado cubano. DIGICUPET.



CONSIDERACIONES ACERCA DE LAS POSIBILIDADES PETROLÍFERAS DE LA BAHÍA DE CÁRDENAS.

Dr. Rafael Socorro Trujillo⁽¹⁾, Ing. Angel Sony Gercey⁽²⁾, MSc. Hilda E. Amador Longoria⁽¹⁾, Ing. Alberto Domínguez Gómez⁽¹⁾, Ing. Carlos E. Sánchez Alarcón⁽¹⁾.

(1) DIGICUPET, Calle 23 No. 105 e/ O y P, Vedado, Plaza, Ciudad de la Habana, Cuba, CP 10400,
Email amador@digicupet.cu

(2) EPEP Centro, Varadero, Matanzas, Cuba, Email ASony@epepvar.minbas.cu

RESUMEN

En la región de la Bahía de Cárdenas se estudió el Sector Marbella-Cupey-Chapelín con el objeto de delimitar prospectos petroleros dentro de la UTE Camajuaní. Se analizaron los datos de los pozos en el área y se llevó a cabo la reinterpretación de varias líneas sísmicas en ella comprendidas y del levantamiento gravimétrico existente para la misma. La correlación se realizó por el tope de los carbonatos de la UTE Camajuaní, calibrado por los datos de los pozos del área, lográndose cartografiar cuatro anticlinales de rampa, denominados de la siguiente forma:

- 1- Siboney, donde se encuentran perforados los pozos Marbella Mar 1 y 2
- 2- Chapelín, que incluye los pozos homónimos
- 3- Cupey 2X, donde está perforado el pozo del igual nombre y su re-entrada
- 4- Cupey 1X, que incluye el pozo de igual nombre

Para buscar una mayor seguridad en los pliegues detectados se combinaron los datos del campo gravimétrico con los del campo ondular lográndose una correspondencia que avala positivamente las estructuras delimitadas.

En el sector estudiado, para las rocas de la UTE Camajuaní se ha cartografiado la estructura denominada Siboney; el tope del pliegue se mapea a la profundidad de 1 800 mbnm.

Sin embargo, se recomienda no acometer trabajos de perforación de exploración, hasta tanto no se reprocese la sísmica 3D que se posee en el área con el interés de cartografiar prospectos donde el riesgo sea menor y la recompensa mayor en comparación con los hasta ahora descubiertos.

ABSTRACT

The Marbella-Cupey-Chapelín Sector in Cárdenas Bay was studied with the purpose of delimitating oil prospects for Camajuaní TSU. Reinterpretation of seismic lines, gravimetric information and well data in the area was carried out. Camajuaní TSU carbonates top was correlated by calibrating with well data in the area, and then it could be possible mapping four ramp anticlines, denominated as:

- 1- Siboney, where Marbella Mar 1 and 2 wells are localized
- 2- Chapelín, where wells with the same name are sited
- 3- Cupey 2X, where the homonymous well and its re-entry are localized
- 4- Cupey 1X, where the homonymous well is sited

In order to get more confidence in detected folds, gravimetric and seismic data were combined and was obtained correspondence in detected structures.

As a result of the studies in the sector, was delimited Siboney structure for Camajuaní TSU; fold top was mapped at depth of 1 800 m ssl.

However, the recommendation was not to perform exploration drilling works unless 3D seismic data in the area had been reprocessed in order to map prospects with lower risk and better recompense comparing with the ones obtained up to the present time.



INTRODUCCIÓN

En la Bahía de Cárdenas se encuentra ubicado el Sector Marbella-Cupey-Chapelín (Fig. 1), en el mismo están comprendidos los pozos Marbella Mar 1 y 2, Chapelín 1 y 2, Cupey 1X, 2X, 2XR y Litoral Pedraplén Norte 1 perforados desde 1971 hasta el 2004, de ellos, los siete primero alcanzaron rocas de la UTE Camajuaní con saturaciones variables de hidrocarburos, el último según las interpretaciones casi llegó hasta dicha UTE. El pozo Hicacos situado en la misma bahía y perforado en 1948, también cortó rocas de la UTE mencionada. La necesidad de aumentar las reservas de hidrocarburos en Cuba hace que esta zona adquiera gran interés por lo que se renuevan los esfuerzos en su estudio que incluyen la investigación de las posibilidades petrolíferas de la UTE Camajuaní.

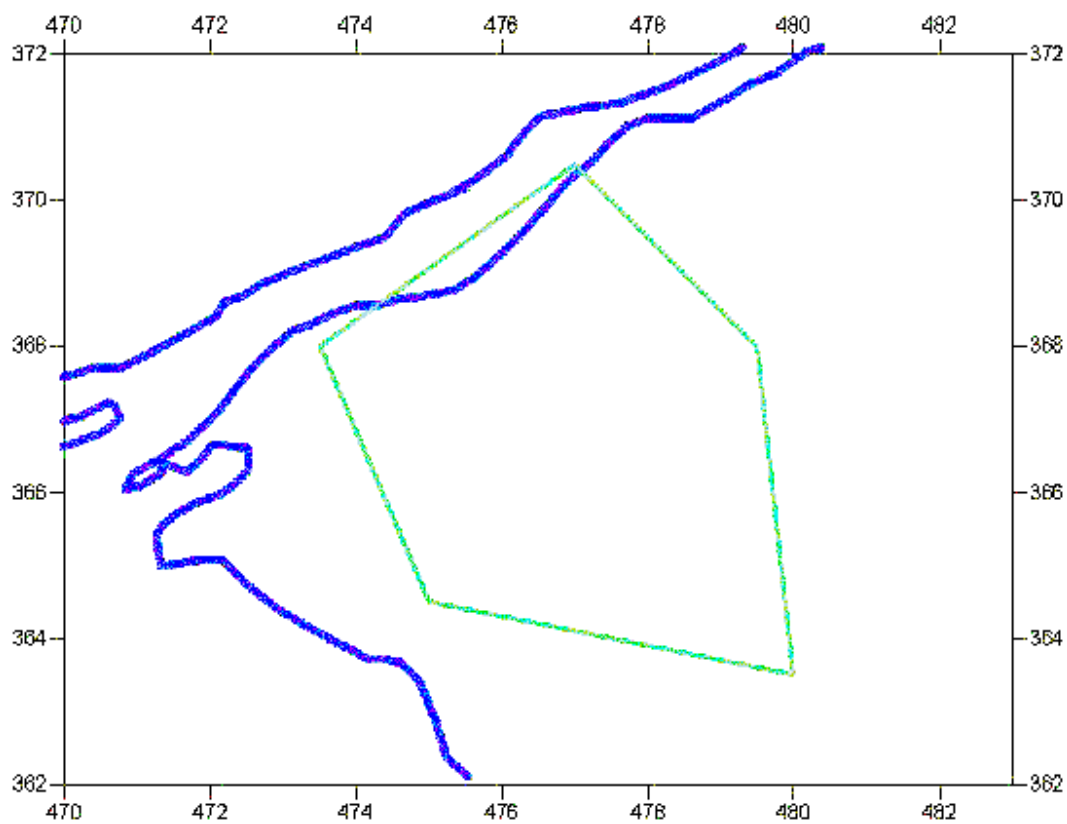


Fig. 1: Mapa de ubicación del área de trabajo, Sector Cupey-Marbella-Chapelín

Las estructuras que los pozos mencionados en el párrafo anterior perforaron en la Bahía de Cárdenas no fueron detectadas como resultado de la interpretación sísmica, con excepción de la estructura Cupey, detectada a través de diferentes campañas sísmicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre la base de la información proporcionada por las perforaciones anteriores al Cupey 2X, especialistas de DIGICUPET confeccionaron en el año 2002, dos mapas estructurales de la UTE Camajuaní:

- Por el tope de las rocas sinorogénicas de la UTE Camajuaní



- Por la base de la Fm. Vega o tope de la UTE Camajuaní (Fig. 2)

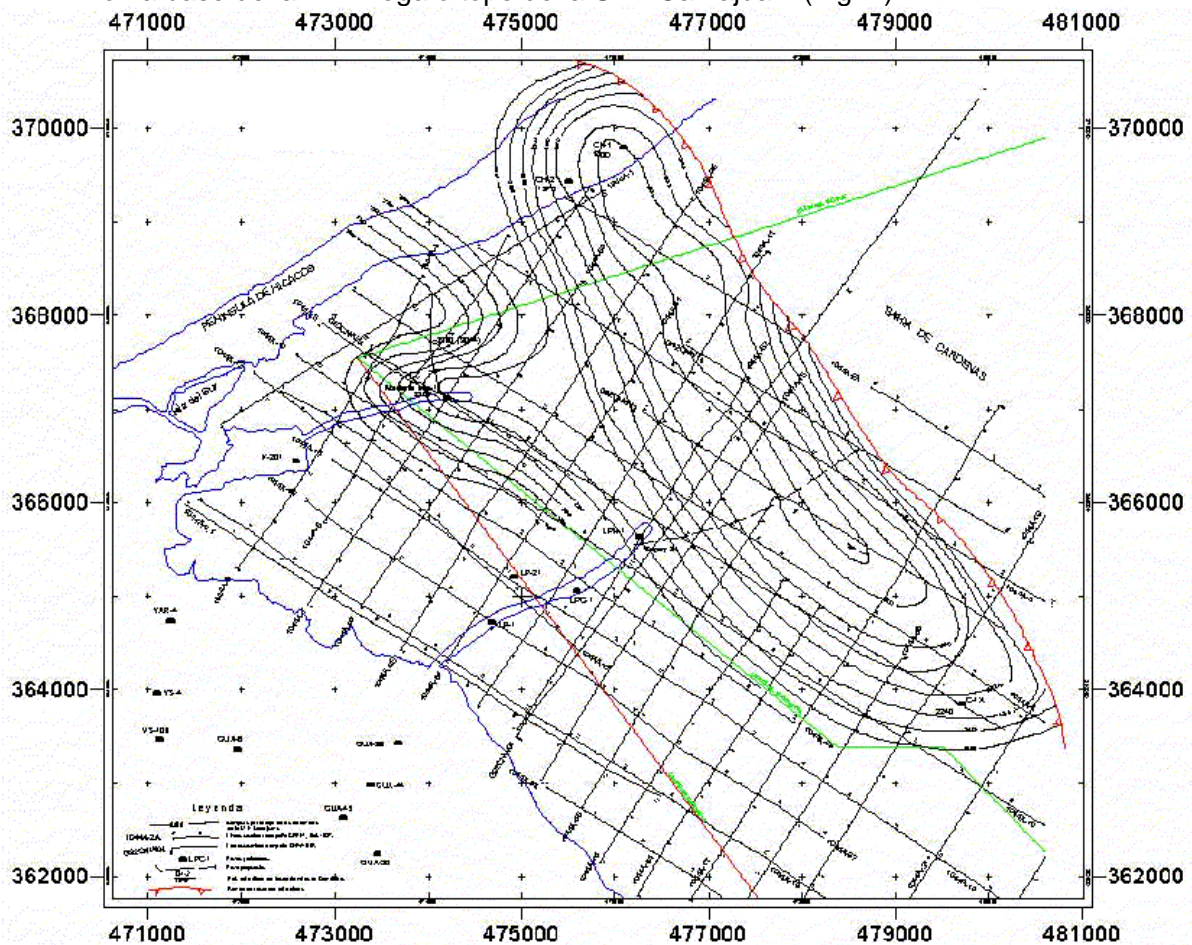


Fig. 2: Mapa por el tope de los carbonatos de la UTE Camajuaní del año 2002

La comparación de ambos mapas proporcionó información acerca de la existencia de una correspondencia estructural entre el tope y la base de las rocas de cobertura de la UTE Camajuaní, por ello al cartografiar la envolvente tomada por el tope de los carbonatos se reflejaba la configuración estructural de las rocas de esta unidad. La estructura, a la cual se le denominó Chapelín-Cupey, mostraba un rumbo con dirección NO-SE y de acuerdo a los preceptos teóricos del balanceo estructural, se pronosticaba representaba un apilamiento de varios pliegues-escamas de Camajuaní, puesto que las dimensiones de la estructura Chapelín – Cupey era mucho mayor que los pliegues que componen la UTE Placetas, considerando que los espesores originales de ambas UTE son semejantes y los niveles de despegue, al parecer, ocurren para Camajuaní por niveles estratigráficos idénticos a los de la UTE Placetas, por lo que se podía asumir esta comparación.

En el año 2003 la dirección de CUPET decidió perforar el pozo Cupey 2X desde el Pedraplén Litoral con categoría de exploración como pozo inclinado, alcanzando los siguientes parámetros de desvío:



Profund Final (MD/ TVD) al fondo: 2 709 / 2 242 m
" " " al tope de la capa: 2 405 / 2 060 m
Desplazamiento al fondo: 1 288 m
" " tope de la capa: 1 050 m
Ángulo de desvío: 69°
Azimut: 85°

El caño del pozo se terminó con la aparición de asfaltita, relacionada con el posible acuífero a los 2 709 / 2 243 m. La recuperación de muestras de canal comenzó sólo a partir de 1 370 m (MD); en los intervalos 1 588 – 1 710 m y 1 845 -1 905 m no hubo recuperación de muestras por pérdida total de circulación.

En el corte estudiado del pozo (Álvarez, 2003) se distinguen los intervalos siguientes (Profundidades en metros MD):

1) 1 370 – 1 955, UTE Placetas Central (Secuencia de Rancho Veloz), donde se identificaron las formaciones geológicas Morena, Ronda, Cifuentes y Constancia, las cuales se describen todas en la supuesta tercera escama, mientras que en las dos superiores no se describió Fm. Constancia, separadas por la formación del sinorogénico Vega Alta.

2) 1 995 – 2 225, Formación Vega, Paleoceno Medio-Eoceno Inferior. Arcilitas de colores gris oscuro, negruzco y verde muy oscuro. Algunas margas arcillosas de color gris claro a blancuzco. Bloques del Neocomiano fracturados, con bitumen. Hacia la base, pedernales de colores verde, gris y blanco en abundancia.

3) 2 225 – 2 475: Formación Sagua, Eoceno Inferior Temprano.

a) Sello (2 225 – 2 410): Carácter brechoso – conglomerático, espesores considerables de arcilla. Impregnación de petróleo. Cemento calcáreo arcilloso, enriquecido por fragmentos del Neocomiano y del Cretácico Medio (Fm Mata) y probablemente del Jurásico.

b) Reservorio (2 410 – 2 475): Parte basal de la Fm. Sagua; disminuye el contenido limoarcilloso y silíceo, colores gris y verdoso, pedernales negros y algunos de color ámbar. El resto constituido por carbonatos de color crema con impregnación variable de bitumen y componente arcilloso. Cemento calcáreo arcilloso.

4) 2 475–2 640: Formación Margarita, Cretácico Inferior Neocomiano. Dos tipos de carbonatos de textura fina, unos dolomíticos con inclusiones silíceas de colores crema claro, con arcilla; otros menos dolomíticos de colores crema más oscuro, ligeramente más consolidados, recristalizados y fracturados, con mayor impregnación de bitumen.

5) 2 640–2 709: Formación Jagüita, Jurásico Superior, Kimmeridgiano-Tithoniano. Parte más alta del Tithoniano. Intensa recristalización. Biomicritas negras, biopelmicritas, biointramicritas, calizas pardas con leve dolomitización, arcillas laminadas.

El pozo constató el levantamiento estructural previsto en los objetivos del proyecto, de modo que la UTE Camajuaní se encontró levantada 302 m con relación al Cupey-1X (Santana, 2003). Los resultados de ensayo del intervalo 2 091 - 2 709 mMD del pozo Cupey 2X fueron (Sony, 2004):



Qf (m³/d)- 40 – 26
BSW (%)- 82
RGP- 0
-Pt- 10
-Pc-1.5
Fluido total- 394 m³
Petróleo- 71 m³

Se decidió abandonar el intervalo productor de agua y finalmente se aprobó ejecutar un *Side-Track* con un punto de desvío a los 2 134 con el objetivo de navegar horizontalmente 200 m por encima de la zona saturada de agua dentro de intervalos con mejores propiedades de reservorio en las Formaciones Brecha Sagua y Margarita.

Entre otros pozos perforados en la Bahía de Cárdenas, están:

1- El pozo Cupey-1X, perforado *offshore* por CNW en 1994 con una profundidad final de 3 253 m, comprobó la existencia de la estructura relacionada con la UTE Camajuaní en el año 2002, cortando el tope de estos carbonatos en una posición de flanco a los 2 240 m, y evidenciando la presencia de sistemas colectores dentro de los sedimentos de edad Cretácico – Jurásico de la UTE Camajuaní, revelado por el tercer intervalo punzado.

2- El pozo Litoral Pedraplén Norte 1 sólo alcanzó el sinorogénico de la UTE Camajuaní, registrando altas presiones con entrada de agua, idéntico comportamiento al Cupey 2X.

3- De los pozos Marbella Mar resultó productor solamente el #1 en el intervalo 2 500 – 2 550 m, con entrada de petróleo y agua. Dicho pozo se halla en posición estructural baja, y más bajo aún está el #2.

4- En el área de Chapelín en la Península de Hicacos, los pozos Chapelín #1 y #2 que fueron ubicados a partir de criterios regionales, resultando que el pozo #2 quedó más bajo que el pozo #1. A juzgar por la producción obtenida en el #1, su caudal diario no fue bueno durante el tiempo en que estuvo en producción. El pozo #2, que está 170 m más bajo que el #1, no presentó entrada industrial de petróleo durante el ensayo.

Los pozos de los incisos 2, 3 y 4, entran en la categoría de *wild cats* según la clasificación mundial puesto que no fueron perforados sobre la base de construcciones estructurales confeccionadas a partir de la interpretación sísmica. Dentro de esta categoría se puede incluir también el pozo La Manuy, perforado en la costa del canal del mismo nombre. A diferencia del resto de los pozos, este último presentó una entrada industrial de agua de $\approx 500 \text{ m}^3/\text{d}$, lo que indicaba la posible presencia de buenos reservorios dentro de la UTE Camajuaní.

Posteriormente, después de la perforación del pozo Cupey 2x, se reinterpretó la información sísmica en el sector (Socorro, 2003) considerando el reprocesamiento de Mayo de 2003 de algunas líneas, obteniéndose cortes con migración *prestack* en tiempo.

Tomando en consideración los datos de los pozos perforados en el área de estudio y lo expresado referente a que el plano estructural de la base de Placetas correspondía con el tope de los carbonatos de la UTE Camajuaní, se realizó una nueva correlación por el tope de los carbonatos de Camajuaní (horizonte verde) según las líneas sísmicas calibradas por los pozos



perforados hasta ese momento. Como se observa en la Figura 3, se logró cartografiar cuatro anticlinales de rampa, denominados de la siguiente forma:

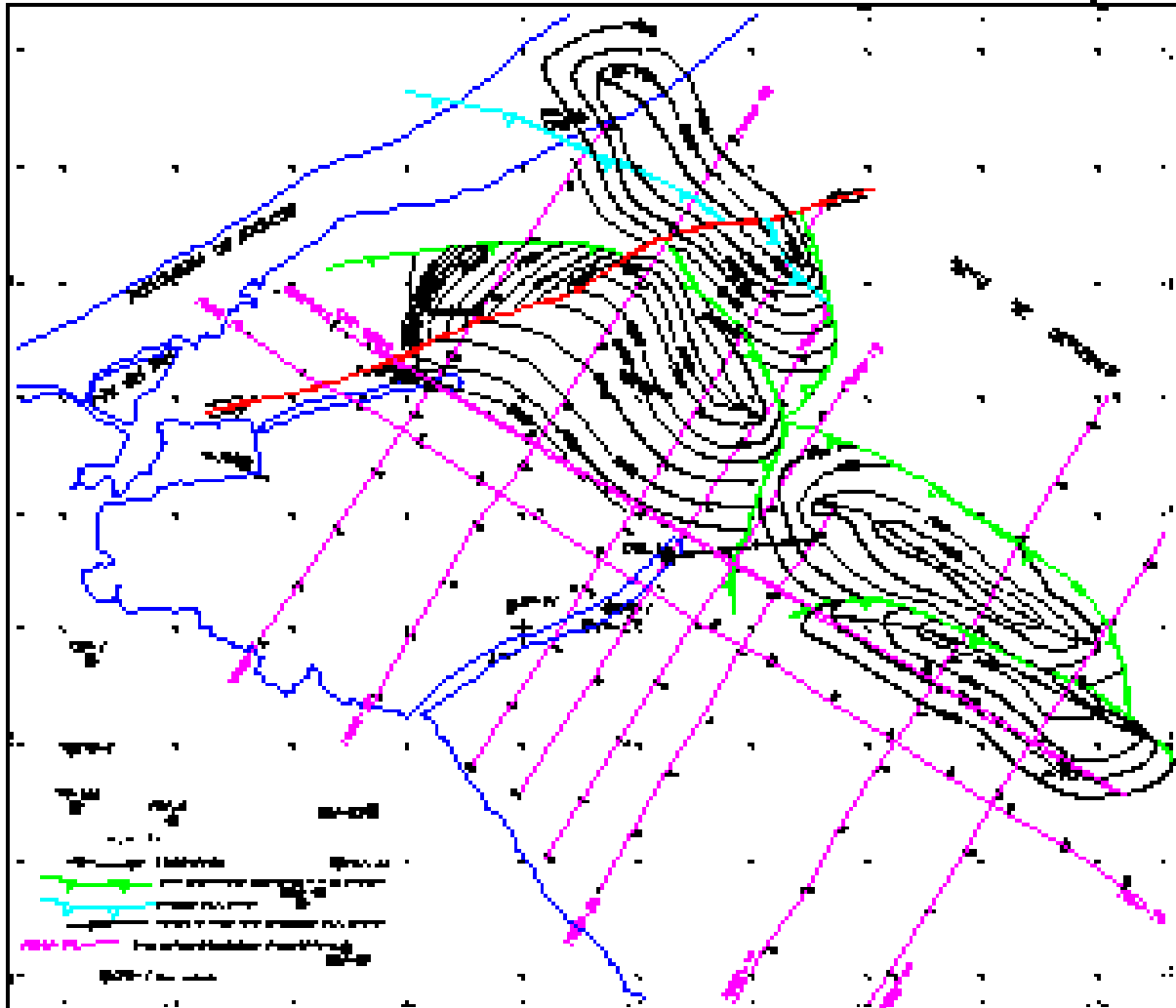


Fig. 3. Mapa estructural por el tope de los carbonatos de la UTE Camajuaní del año 2003

1. Siboney, donde se encuentran perforados los pozos Marbella Mar 1 y 2
2. Chapelín, que incluye los pozos homónimos
3. Cupey 2X, donde está perforado el pozo del igual nombre y su re-entrada
4. Cupey 1X, que incluye el pozo de igual nombre

En cuanto al corte del nuevo caño en el pozo Cupey 2X, se le denominó 2XR y se alcanzó el fondo a los 3 074 / 2 057 m, cumpliéndose el objetivo de levantar el caño horizontal 184 m por encima del fondo anterior. En la descripción de la columna atravesada, a partir de 2 810 m MD sólo se observó material obturante, sin recuperación de muestras. Después de los 2 960 m comienzan a observarse algunos carbonatos, limoarcilitas y argilitas, todavía con predominio de material contaminante, por ello este tramo quedó sin denominación formal; en el resto se identificaron (Álvarez, 2004) los intervalos siguientes (Profundidades en metros MD):



1) 2 130-2 230: Formación Vega, Eoceno Inferior. Arcilita y limoarcilitas de colores verdes y grisáceos, abundantes pedernales, algunas argilitas oscuras con bitumen. Escasos fragmentos subredondeados de carbonatos. Muy poco bitumen después de los 2 200 m.

2) 2 230-2 810: Formación Sagua. Eoceno Inferior Temprano.

a) 2 230-2 450 Sello: Arcilitas, limoarcilitas, pedernales, margas y fragmentos brechosos de carbonatos ligeramente arcillosos.

b) 2 450–2 810: Reservorio: Se alternan paquetes de brechas colectoras con carbonatos y silicitas, de matriz calcáreo-arcillosa, con otros más arcillosos y margosos, con muy malas propiedades como reservorio.

3) 2 810 – 3 074: Sin denominación formal. Este segundo caño navegó por una parte alta de la estructura donde los carbonatos de margen continental de la Fm Margarita infrayacen, mientras que la Fm Sagua aumenta considerablemente su espesor aparente (Fig. 4).

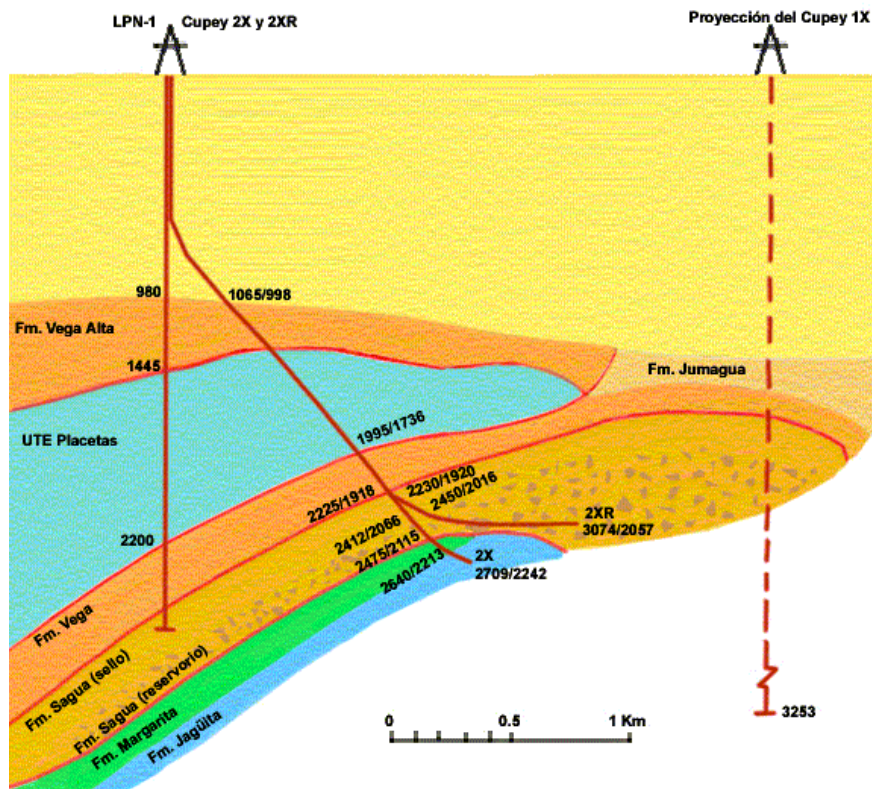


Fig. 4. Perfil geológico por los pozos Cupey 2X y 2XR (modificado de Sony, 2004)

En el ensayo, luego del cambio de lodo por agua, el pozo quedó surgente durante cuatro días con caudales de 236 m³/d el primer día, declinando después hasta 68 m³/d el cuarto día, e incrementándose el BSW de 40 a 50 %.

Para la reinterpretación presente se emplearon los dos últimos procesamientos de las campañas 1044-A y CNW/95 por presentar mayor grado de resolución en profundidad. Se revisaron aproximadamente 100 Km de líneas sísmicas, centrando la interpretación en la secuencia que abarca la UTE Camajuaní en el sector correspondiente a las estructuras Siboney, Cupey 1X y Cupey 2X.



En general, la calidad de la información sísmica para toda la región es variable y está condicionada, en primer lugar, a la gran diversidad de condiciones sismogeológicas, no tanto las superficiales (accidentes geográficos, fenómenos de carsificación, etc.) como las profundas (variaciones verticales y laterales de las velocidades), lo que está relacionado fundamentalmente con la complicada estructuración de los pliegues y las variaciones de espesores y facies de las diferentes secuencias rocosas y sus densidades (Socorro, 1998).

Referente a la imagen sísmica y la correlación (Figuras 5 y 6), se distinguieron dos *seismic signatures*:

1. Cuadro ondulatorio característico para la UTE Placetas (Socorro, 1998) hasta alrededor de 1.3 – 1.6 s, reflexiones subhorizontales de distintas extensiones pero generalmente cortas y de frecuencia media; en su base se muestra como un horizonte más o menos continuo que se calibra como el tope del sinorogénico de la UTE Camajuaní.
2. Infrayaciendo al intervalo anterior se encuentra un cuadro prácticamente mudo, con un alto nivel de ruido caótico y frecuencias altas, fuerte buzamiento de los reflectores sobre todo en las secciones migradas en profundidad, cuyo tope se ha contorneado como un horizonte sísmico fantasma (horizonte verde) que se calibra como la base de las rocas sinorogénicas de la UTE Camajuaní, o tope de los carbonatos de esta UTE.

Se realizó la correlación del horizonte verde introduciendo los cortes geológicos de los pozos Marbella Mar 1 y Chapelín 2 sobre el perfil 1044A-7 (*dip*) migrado en tiempo antes de la suma (Fig. 5) y la calibración de los pozos Marbella Mar 1 y Cupey 1X sobre el perfil CNW 002AS de dirección aproximadamente paralela al rumbo de las estructuras (*strike*) migrado en profundidad antes de la suma, corte en profundidad (Fig. 6); la imagen sísmica para la UTE Camajuaní en el último perfil aún con este reprocesamiento se mantiene poco nítida y el trazado del horizonte verde sigue siendo inseguro; en la línea representada en la Figura 6 se puede observar que una parte levantada aún parece encontrarse entre los pozos Cupey 2X y Cupey 1X. Se revisaron también los perfiles 1044A-4 *strike* y 1044A-9E *dip*, migrados en tiempo antes de la suma y los perfiles *dip* 1044A -13, 1044A -15 + CNW92-03 y 1044A-17 migrados en profundidad antes de la suma, en sus versiones en profundidad.

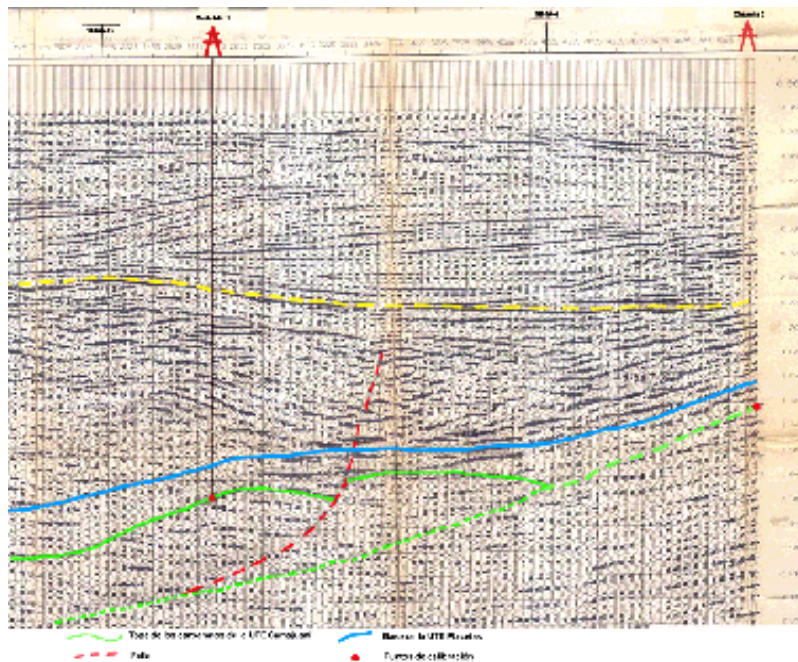


Fig. 5. Línea sísmica 1044A-7

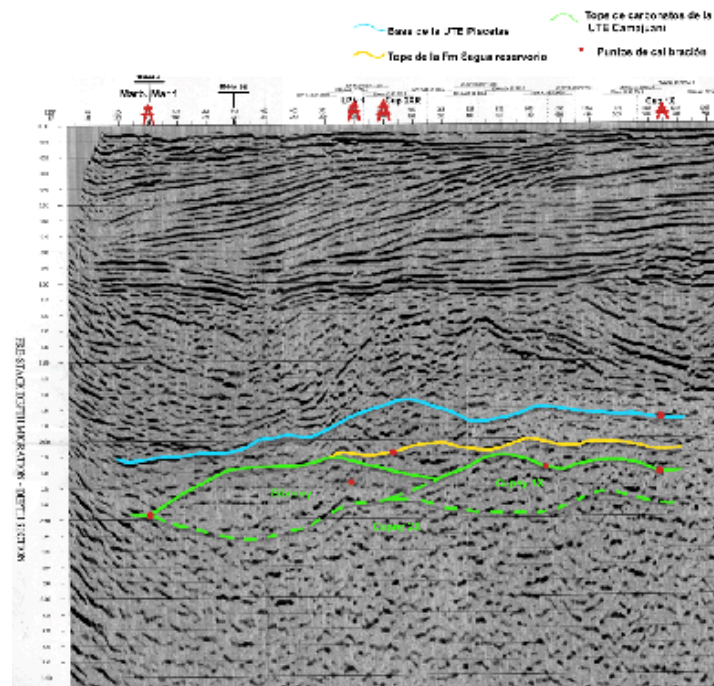


Fig. 6. Línea sísmica CNW-002AS

En estos últimos perfiles se observa un cuadro sísmico que se asemeja más a la Interpretación que se representa en los modelos geológicos, sobre todo en dirección transversal al rumbo. Lo anterior nos indica que el modelo de velocidad aplicado, sobre todo en esta dirección, está más próximo a la realidad. No obstante sería recomendable en procesamiento posteriores elaborar varias variantes con diferentes parámetros de procesamiento sobre una misma línea.



En resumen, la imagen sísmica de la UTE Camajuaní aún con la migración *pre-stack* en profundidad sigue siendo poco informativa, menos nítida que la de la UTE Placetas, sobre todo cuando la primera infrayace a la última, y mejora algo cuando aquella se encuentra inmediatamente por debajo de la discordancia del Eoceno Medio. Por lo dicho anteriormente, la correlación del horizonte verde es condicional, lo que le imprime a las estructuras cartografiadas una categoría de alto riesgo, lógicamente, respecto a su estructuración.

DISCUSIÓN

En el mapa estructural confeccionado por el tope de los carbonatos de la UTE Camajuaní (Fig. 7), se ratificaron los cuatro pliegues dentro de esta unidad ya mencionados. Esta interpretación también utilizó los resultados de los ensayos de los pozos de calibración junto a las consideraciones estructurales que hay que tener en cuenta durante el balance material de las rocas que componen los pliegues.

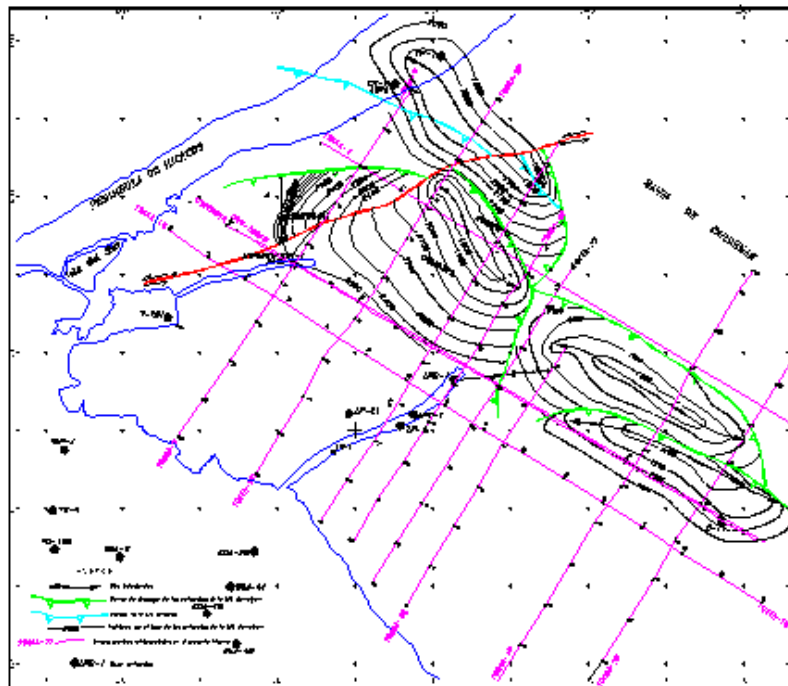


Fig. 7. Mapa estructural por el tope de los carbonatos de la UTE Camajuaní del año 2004

Como resultado de la reinterpretación, para las rocas de la UTE Camajuaní en el sector Marbella – Cupey – Chapelín se ha cartografiado la estructura denominada Siboney (Fig. 8), que había sido descubierta por los pozos Marbella Mar 1 y 2 los cuales quedaron en una posición estructural baja con referencia al tope del pliegue que se mapea a la profundidad de 1 800 m. En el pozo Marbella Mar 1 se cortan las rocas del tope de Camajuaní a 2 500 m y de esta misma profundidad el pozo es productor de petróleo y agua con un BSW de 50%.

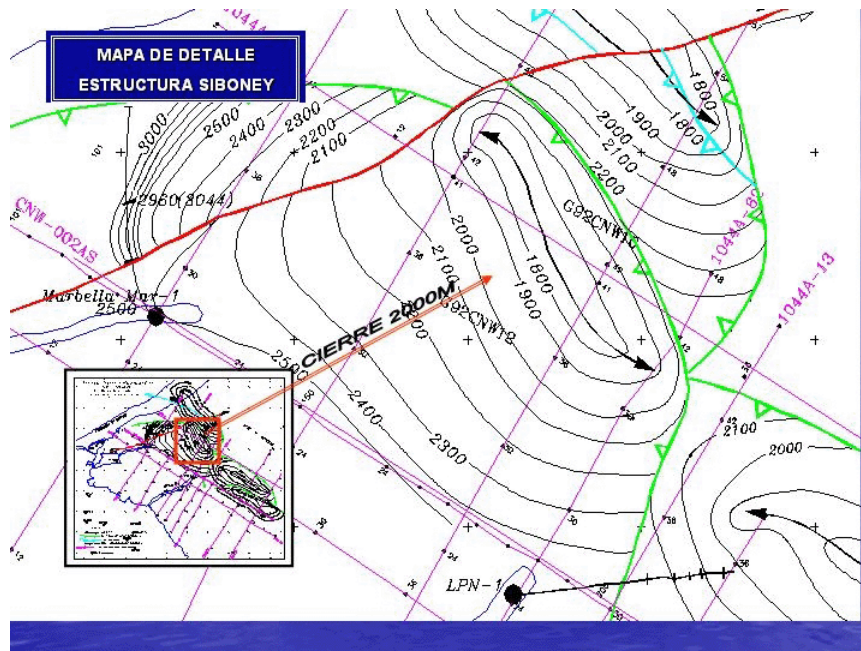


Fig. 8. Mapa de detalle de la estructura Siboney

Otra área no incluida en el sector que también debe estudiarse es la de Hicacos – Colorados. En esta última cabe esperar una mejoría de las propiedades de reservorio de rocas de la UTE Camajuaní; la vulnerabilidad estaría dada por el empeoramiento del coeficiente de homogeneidad del sello debido a la presencia de mayor cantidad de carbonatos en las rocas sinorogénicas. En el tren estructural que comprende la conocida estructura Hicacos y la continuación de ésta hacia el Este (Fig. 9), la resolución de los cortes sísmicos es mejor que para los que se encuentran al Suroeste y Sureste debido a que este tren estructural está cubierto sólo por el cinturón plegado (sedimentos del Terciario). El alto estructural Cayuelo Grande podría estar relacionado con la estructura.

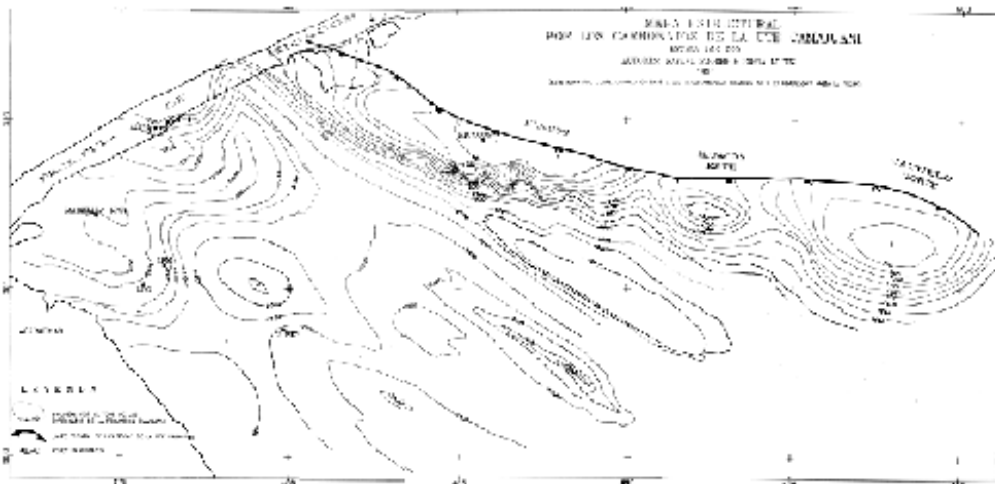


Fig. 9. Mapa estructural de la estructura Hicacos

Con referencia al área donde se encuentra el pozo La Manuy 1, ocurre un acúñamiento de las UTEs Placetas, Camajuaní y Colorados debido a un mayor acercamiento del cinturón de corrimiento a la Plataforma de Bahamas. Esto, junto a que la falla del Canal de La Manuy



probablemente tenga una relación genética con la del Canal de Kawama, le da al área mayor importancia para su prospección (Fig. 10).

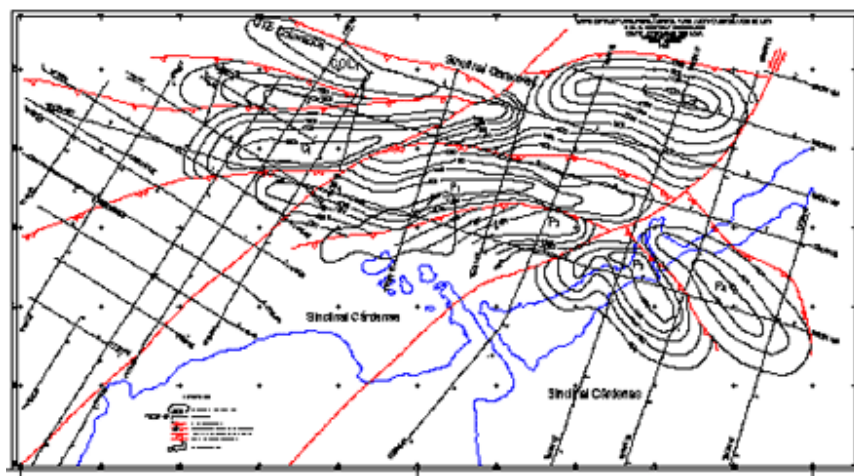


Fig. 10. Mapa estructural del área La Manuy

CONCLUSIONES

1. Dentro del sector Marbella-Cupey-Chapelín, en el área de Marbella se contorneó la estructura Siboney con buenas perspectivas par la acumulación de hidrocarburos en la UTE Camajuani.
2. En el área de Chapelín, el pozo #1 cuando que fue clausurado había estado produciendo petróleo durante nueve años; el mismo se encuentra en una buena posición estructural. A pesar de que en este pozo la producción no fue alta, bien pudiera proyectarse una perforación direccional al flanco oriental de esta estructura, tratando de lograr una mayor comunicación de sus fracturas y de alcanzar las rocas de las formaciones Margarita y Jagüita.
3. En el área de Cupey también hay zonas en las que existen posibilidades petroleras mediante la perforación direccional desde el *onshore*.
4. Otras áreas perspectivas donde se debe hacer una reinterpretación integral de la información tanto sísmica como de otro tipo son las de Hicacos-Colorados y La Manuy.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez J., J. Fernández, J. Hernández, O. López, C. Perera, C. Morales, R. Otero, O. Castro, Y. Pérez, R. Rodríguez, 2003. Informe final del pozo Cupey 2X. Archivo CEINPET. La Habana. 51p.
- Álvarez J., O. López, R. Otero, O. Castro, Y. Pérez, R. Rodríguez, 2004. Informe final del pozo Cupey 2XR. Archivo CEINPET. La Habana. 18p.
- Santana A., A. Sony. 2003. Informe Final del Pozo Cupey-2X. Archivo EPEP Centro. Varadero. 15p.
- Socorro R., S. López, J. Prol, 1998. Estructura Geológica de los Bloques 7, 9, 10 y Varadero Oeste. Archivo técnico de DIGICUPET. La Habana. 184p.
- Socorro R., C. Sánchez, H. Amador, R. Gómez. 2003. Informe sobre la reinterpretación sísmogeológica en el Sector Marbella-Cupey-Chapelín (UTE Camajuani). Archivo ONRM. La Habana. 37p.



Sony A. 2004. Resumen Ejecutivo sobre el pozo Cupey 2X. Archivo EPEP Centro. Varadero. 6p.
Socorro R., A. Sony, A. Domínguez, C. Sánchez, H. Amador. 2004. Informe de Viabilidad del Sector Marbella-Cupey-Chapelín. UTE Camajuaní. Archivo CEINPET. La Habana. 26p.

RESULTADOS DE LA INTERPRETACION GEOLOGO-GEOFISICA DEL AREA ESMERALDA (BLOQUE 15)

América Sorá⁽¹⁾, Blanca Sosa⁽¹⁾ .

**DIGICUPET, Calle 23 No. 105 E/ O y P, Plaza de la Revolución, Ciudad de la Habana, Cuba.
C. Eléct. america@digicupet.cu**

RESUMEN

El bloque 15 se encuentra ubicado al norte de las provincias de Ciego de Ávila y Camagüey en este bloque se han efectuado diferentes campañas

- Campañas realizadas por Cupet 1987.
- Campaña realizada por OFD en 1995
- Campaña realizada por Pebercan 1997.
- Campaña realizada por Pebercan en el 2003.

La compañía PEBERCAN adquirió 238 km. de líneas sísmicas durante 1997, con el objetivo de estudiar las estructuras de interés reveladas en el informe realizado en 1995, según la adquisición realizada por OFD en el bloque.

En el informe final realizado por Cupet en 1998, fueron reveladas cuatro estructuras principales:

- Mamanantuabo o estructura C.
- Gloria Este o Estructura B.
- Gloria o Estructura A.
- Los Joberos.

En el año 2003 se adquirieron 97.8 Km. distribuidos en cinco líneas sísmicas en esta nueva adquisición solamente la estructura Mamanantuabo fue detallada, ya que las líneas sísmicas aunque se extienden de sur a norte, no atraviesan las restantes estructuras reveladas en el informe realizado 1998.

En el presente informe se confirma la existencia de la estructura Mamanantuabo, confeccionándose un mapa estructural a escala 1:50 000 de la estructura Mamanantuabo donde se mapean dos pliegues principales Mamanantuabo 1 y Mamanantuabo 2.

ABSTRACT

The Block 15 is located in the north of the Ciego de Ávila and Camagüey provinces in this block different seismic campaign have been carried out:

Campaign carried out by Cupet in 1987.
Campaign carried out by OFD in 1995
Campaign carried out by Pebercan in 1997.
Campaign carried out by Pebercan in 2003

PEBERCAN Company acquired 238 km. of seismic lines during 1997, with the objective of studying the structures of interest revealed in the report wrote out in 1995, according to the acquisition carried out by OFD in the block.

In the final report carried out by Cupet in 1998, four main structures were revealed:

- Mamanantuabo or Structure C
- Gloria or Structure B.
- Gloria Este or Structure A.
- The Joberos.

In 2003, five seismic lines were acquired for a total of 150 Km. In this new acquisition only the structure Mamanantuabo was detailed, Because the lines don't cross the other structure revealed in the report written in 1998, although they run from south to north. Presently report confirms the existence of the structure Mamanantuabo, being made a structural map to scale 1:50 000 where two main folds, Mamanantuabo 1 and Mamanantuabo 2 are mapped, It is shown a geological-geophysical model of the Line PEB15-01 (scale 1:50 000). Conclusions and recommendations are given, according to the final results obtained in the area

INTRODUCCION

En la parte central de Cuba se han llevado a cabo varias campañas sísmicas y realizado diferentes estudios con la finalidad de descubrir estructuras favorables para la perforación (Fig 1). En este trabajo como en los anteriores se interpretaron los materiales adquiridos en la última campaña realizada en la que se confirmó una estructura y se detectaron dos pliegues nuevos que se muestran en el mapa estructural confeccionado.

MATERIALES Y MÉTODO

1- Adquisición sísmica:

En el área se habían adquirido:

1989 - CUPET - 263,9 km. - 1200% , 2400%

1994 - OFD (CGG) – 265,68 km. - 8000 %

1997 - PEBERCAN - 238 km. - 120 000 %.

En el año 2003 se adquirieron 97,5 -Km. de líneas sísmicas repartidas en cinco perfiles sísmico

Perfiles	kilómetros
B15-01	24
B15-02	14.2
B15-03	24.5
B15-04	18.5
B15-06	16.6

TOTAL----- 97.8 Km

Los parámetros de adquisición fueron los sgtes:

- Cobertura: 16000%.
- Sistema central
- Distancia entre puntos de explosión y recepción: 25 m.
- Numero de receptores por canales: 12
- Número de canales: 320.
- Longitud del Tendido: 7975 m.
- Utilización de vibradores :4 a 6
- 6 barridos por punto de vibración.
- Longitud del barrido: 15 s.
- Banda de barrido: 10-80 Hz.
- Muestreo: 2 ms.

2- Procesamiento de los datos.

Las líneas sísmicas fueron procesadas en Digicupet obteniéndose una migración post suma en tiempo y en el centro de procesamiento de la CGG en Canadá, donde se obtuvo una migración pre suma en tiempo la cual no es el corte final planificado, aunque para la interpretación de este informe se utilizó este material, como salida final se espera una migración pre suma en profundidad, no solo para los materiales obtenidos en esta campaña sino para las líneas sísmicas obtenidas en 1997.

3- Interpretación sísmica

3.1. Calidad de la información sísmica.

La interpretación sísmica fue realizada a partir de las migraciones pre suma en tiempo realizada por la CGG en el 2003, esta migración no es el corte final que se espera en el procesamiento. En Digicupet fue procesada las líneas obteniéndose como corte final la migración post suma en tiempo, la cual aunque presenta buena información no logra el detalle que se presenta en la migración presuma en tiempo por lo que siendo esta una etapa de detalle requiere de un corte final superior a una migración post suma.

En el 1998 se proceso por la Co. Robertson las líneas correspondientes a esta campaña, realizándose la interpretación con la migración presuma en tiempo con una buena información sísmica, sin embargo en las líneas actuales la información sísmica es superior pudiéndose detallar la estructura Mamanantuabo la cual en el anterior trabajo solo se pudo mapear la envolvente del gran pliegue que en aquella oportunidad se le llamo Mamanantuabo o estructura C.

Imagen sísmica.

Las reflexiones dentro de los cortes de tiempo se agrupan en diferentes paquetes, atendiendo a su forma y a sus características dinámicas (Fig. 2).

I Paquete – La base de este paquete se correlaciona por toda el área, entre los tiempos (0 – 0,7)s. Constituyendo una frontera bien expresada dinámicamente. Los elementos de reflexión que componen este paquete son extensos y continuos. Dentro de el, se destaca una reflexión continua con muy buenas características dinámicas que separa la secuencia amarilla de la secuencia naranja clara.

II Paquete – Se caracteriza por poseer pocos elementos de reflexión con buenas características dinámicas, las reflexiones son continuas y siguen la morfología de los pisos estructurales que la subyacen. La base de esta secuencia naranja oscuro se correlaciona con inseguridad en el área.

III Paquete - Presenta, gran número de elementos de reflexión que en ocasiones se presentan en forma de pliegues, dentro de los cuales se observan reflexiones continuas. Dentro de este paquete, en algunas líneas sísmicas, pueden diferenciarse dos secuencias:

1. La verde caracterizada por presentar un mayor número de reflexiones en forma de pliegues

2. la secuencia violeta que la subyace y en la cual aunque se presentan elementos de reflexión, estos al sur de la línea sísmica son horizontales, ascendiendo hacia el norte en forma de “pliegues” de mayor dimensión.

La base de este paquete se correlaciona con bastante seguridad en la parte centro oeste del área.

IV Paquete - Se caracteriza por presentar dos sub paquetes.

1. Con elementos extensos en algunas zonas y en otras con un menor número de los mismos, con frecuencias medias.
2. El tope de este sub paquete (**secuencia azul**) lo constituye la envolvente de las reflexiones en forma de pliegues, las cuales poseen buena expresión dinámica. Dentro de los pliegues se destacan reflexiones continuas, las cuales siguen su morfología.

El tope de este sub paquete se correlacionan por toda el área, mapeándose las rampas frontales y laterales con relativa seguridad, esto nos permitió definir la posición espacial de ellos y de esta forma construir el mapa estructural por el tope de esta secuencia, la cual fue construida en 1998 en escala 1: 100 000, y en nuestro informe se detallo la estructura Mamanantuabo en escala 1: 50 000.

La base de este paquete se correlaciona en algunas zonas con mayor seguridad respecto a otras.

V Paquete - Se presentan pocos elementos de reflexión, posee como tope el horizonte **azul oscuro**.

Las zonas de fallas se pueden distinguir por el empeoramiento del cuadro de ondas, así como el desplazamiento entre las reflexiones.

Análisis de las velocidades.

Para la construcción del modelo geológico y el mapa estructural se realizó la conversión tiempo-profundidad, en base a las velocidades de procesamiento.

En análisis realizados se ha llegado a la conclusión que en trabajos que en caso de no poseer pozos con perfilaje sísmico vertical (PSV), es mejor utilizar las velocidades de migración, en tierra. En el área solo se ha perforado el pozo Esmeralda-1 y no posee PSV, por lo que no tenemos como comparar las velocidades de procesamiento con datos reales y emplearlas en el análisis de las velocidades.

Fueron utilizadas las velocidades de migración del procesamiento, tomando los valores de tiempo del horizonte de interés en un punto y las velocidades en ese mismo punto de la línea sísmica, así construimos un gráfico de velocidad-tiempo para cada línea sísmica y calculamos una curva de velocidad general para toda el área con la cual hallamos las profundidades para hacer la conversión tiempo-profundidad.

RESULTADOS.

El área de los trabajos ha sido estudiada por otras campañas sísmicas de las cuales la última realizada en el 1997 reveló cuatro altos principales llamados:

- La Gloria

- La Gloria Este
- Mamanantuabo
- Los Joberos.

La red sísmica realizada en el 2003 como se observa en la solo detalla la estructura Mamanantuabo.

Para la interpretación del área se parte de la hipótesis de trabajo sustentada por la presencia de rocas de la UTE de facies de aguas profundas, encontradas durante el análisis de composición petrográfica de las secuencias sinorogénicas que afloran el área.

- Como resultado principal del informe se presenta el mapa estructural a escala 1.50 000 del detalle de la estructura Mamanantuabo, en la cual se presentan dos pliegues:
 1. Mamanantuabo 1.
 2. Mamanantuabo 2.

La estructura Mamanantuabo 1 esta cortada por las líneas PEB-15-01,03 y 04 correspondiente a la campaña del 2003, la línea OFD –B 15- 03 del año 1994 y las líneas B15-IS-04 y 09 tiradas en el año 1997

- La estructura Mamanantuabo 2 esta cortada por las líneas PEB-15-01 y 04 de la campaña del 2003 y las líneas B15-IS-02 y 07
- Ambas estructuras se presentan como un anticlinal de rampa, delimitado bien por las líneas migradas pre stack en tiempo obtenidas en la adquisición del 2003.
- En la línea PEB-15-04 de dirección NW-SE (longitudinal) se observa como se enlazan ambas estructuras, estando mas elevada la estructura Mamanantuabo 1 respecto a la 2.
- Las dimensiones de las estructuras son similares:
 - Largo-6Km.
 - Ancho-2Km.
 - Área-12Km.
 - Profundidad:
 1. Mamanantuabo 1-3200 m.
 2. Mamanantuabo 2 -4800 m.

Las dimensiones de los pliegues son similares a la de los pliegues descubiertos y productores en la región Habana- Matanzas.

- El eje mayor de las estructuras posee un rumbo NW-SE, coincidente con la cartografía geológica de superficie.
- Comparando los resultados obtenidos en el año 1998 con los de la última campaña, observamos que la estructura antes descrita como Mamanantuabo se encuentra al sur de las reveladas en el presente trabajo y representa un plegamiento asociado a las rocas sinorogénicas
- Se presenta el modelo geólogo geofísico de la línea PEB-15-01 el cual se encuentra calibrado por el pozo Esmeralda -1 y los datos de los campos potenciales.
- La parte norte del área de los trabajos se encuentra dentro del mínimo regional norte cubano, observándose algunos máximos locales asociados a rocas densas

dentro del melange serpentinitico y zonas de máximos locales débiles asociados con áreas perspectivas para trabajos futuros.

- Las estructuras Mamanantuabo 1 y 2 se presentan dentro de un gran máximo gravimétrico y un mínimo magnético, lo cual nos indica que tenemos grandes cantidades de rocas densas probablemente peridotitos poco serpentinizadas, sobreyaciéndolas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

▪ Conclusiones.

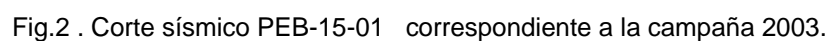
- 1- Se han diferenciado 5 paquetes fundamentales de acuerdo a las características del cuadro de ondas:
 - ❖ Secuencias Postorogénicas.
 - ❖ Secuencias Sinorogénicas.
 - ❖ Terreno Zaza.
 - ❖ Secuencias de Facies de Cuenca Profunda del Margen Continental y su Sinorogénico.
 - ❖ Secuencias de Plataforma Carbonatada.
- 2- Se realizó la interpretación gravimagnetométrica con los datos disponibles para el área.
- 1- Se confeccionó un mapa estructural por el tope de las secuencias de facies de aguas profundas a escala 1:50 000.
- 2- Se revelaron dos prospectos: Mamanantuabo 1 y 2, teniendo ambas las sgtes dimensiones:
 - Largo-6Km.
 - Ancho-2Km.
 - Área-12Km.
 - Profundidad: Mamanantuabo 1-3200 m. y Mamanantuabo 2 -4800 m.
- 4- Se realizó un modelo geólogo geofísico sobre la línea PEB-15-01 el cual se encuentra calibrado por el pozo Esmeralda -1 y los datos de los campos potenciales.

▪ Recomendaciones.

- 1- Digitalizar el mapa magnetométrico a escala 1: 50 000 del área para lograr un mayor detalle sobre las estructuras reveladas.
- 2- Continuar el procesamiento de las líneas sísmicas correspondientes a la adquisición 2003 y reprocesar las líneas de las campañas de los años 1994 y 1997 según el nuevo gráfico de procesamiento empleado para la nueva adquisición.
- 3- Realizar la interpretación geólogo geofísica del área una vez obtenidos los cortes finales recomendados en el punto 2.
- 4- Hacer trabajos de detalle en el área Joberos la cual resulta perspectiva tanto en los campos potenciales como en la sísmica.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Sorá- R. Domínguez. Trabajos sísmicos PCP- Area Minas-Camagüey. . 1988. ENG
- A. Sor.a, E. Martínez. Informe geólogo-geofísico del Bloque 15. Año 1998.
- A. Sorá- E. Martínez.Trabajos sísmicos PCP – Area Esmeralda. 1993. ENG
- A. Sorá et al, proyecto 2511.Incremento de la efectividad del método sísmico en el Cinturón Plegado Cubano. 2003
- C. Shaposnikova. Propiedades físicas de las rocas de Cuba. . ICRM. Publicación especial # 7. 1969.
- Castro José A, R. Socorro, Jose L Prol, Evaluación de Leads para la exploración. Bloques 6, 7, 9 y 10. Ceinpet- Digicupet. 1998
- CEINPET. Files y columnas geológicas de los pozos profundos Esmeralda-1, Ponzetuela-1, Camagüey 1,2 y 3.
- Domínguez R., J.L. Prol, E. Martínez, A. Sorá et al, Generalización de los bloques del Norte-Centro Oriental. (12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21 y 21A). 2001 Digicupet. E.G.
- G. Hernández, et. al. 1990. EG. Generalización de los datos geólogo -geofísicos de la región Varadero-Cárdenas-Martí-Corralillo. .
- IGP- ACC. Mapas geológicos de Cuba, esc. 1: 250 000 y 500 000 (ACC-MINBAS) - Lev. Geológico Ciego-Camagüey – Las Tunas, esc. 1: 50 000. Lev. Geológico complejo Polígono Camagüey III (Sector C. de Avila- Vertientes), esc. 1:50 000
- ICGC. Atlas de Cuba. 1978.
- ICGC. .Cartas topográficas, esc. 1: 50 000 y 1: 100 000.
- IGP. Mapa del Campo Magnético Anómalo- escala 1: 100 000.
- Ipatenko S., Informe sobre las investigaciones variométricas y gravimétricas llevadas a cabo en la provincia de Camagüey en 1962-1963, 1966 y 1968.
- J. Alvarez Castro, et al. Caracterización geológica. Bloques 14 y 15. . 1995. CEINPET
- J. Alvarez Castro, et. al. Informe final del pozo Violeta-1. . 1998. CEINPET
- J.L.P-G.Rodríguez, et. al..Interpretación compleja de los datos geólogo-geofísicos en el Bloque 8. 1998- Digicupet
- M. Iturralde, et. al. Ofiolitas de Camagüey: naturaleza, posición tectónica y sedimentos derivados. Rev. Tecnológica. Vol. XVI –Geología No. 2- 1986.
- Patrice Bedu- Genevieve Dumaine. Petroleum Synthesis of Block 15. . 1995. OFD.
- Rodríguez M., José L Prol, R Belov, Esthenis Martínez, Informe sobre los trabajos gravimétricos y magnetométricos detallados en escala 1:50 000 de la zona la Gloria. Proyecto #385 (Parte Oriental) y 385 A. ENG 1980.
- R. Rodríguez- A. Sorá. Caracterización del Bloque 15. 1991. ENG.
- S. Cruz, et. al. Trabajos gravimagnetométricos detallados en el área Cunagua- Brasil. Norte de Camagüey. 1976. EG.
- Soloviev O. Mapa Magnético delta T a escala 1 : 500 000. 1962



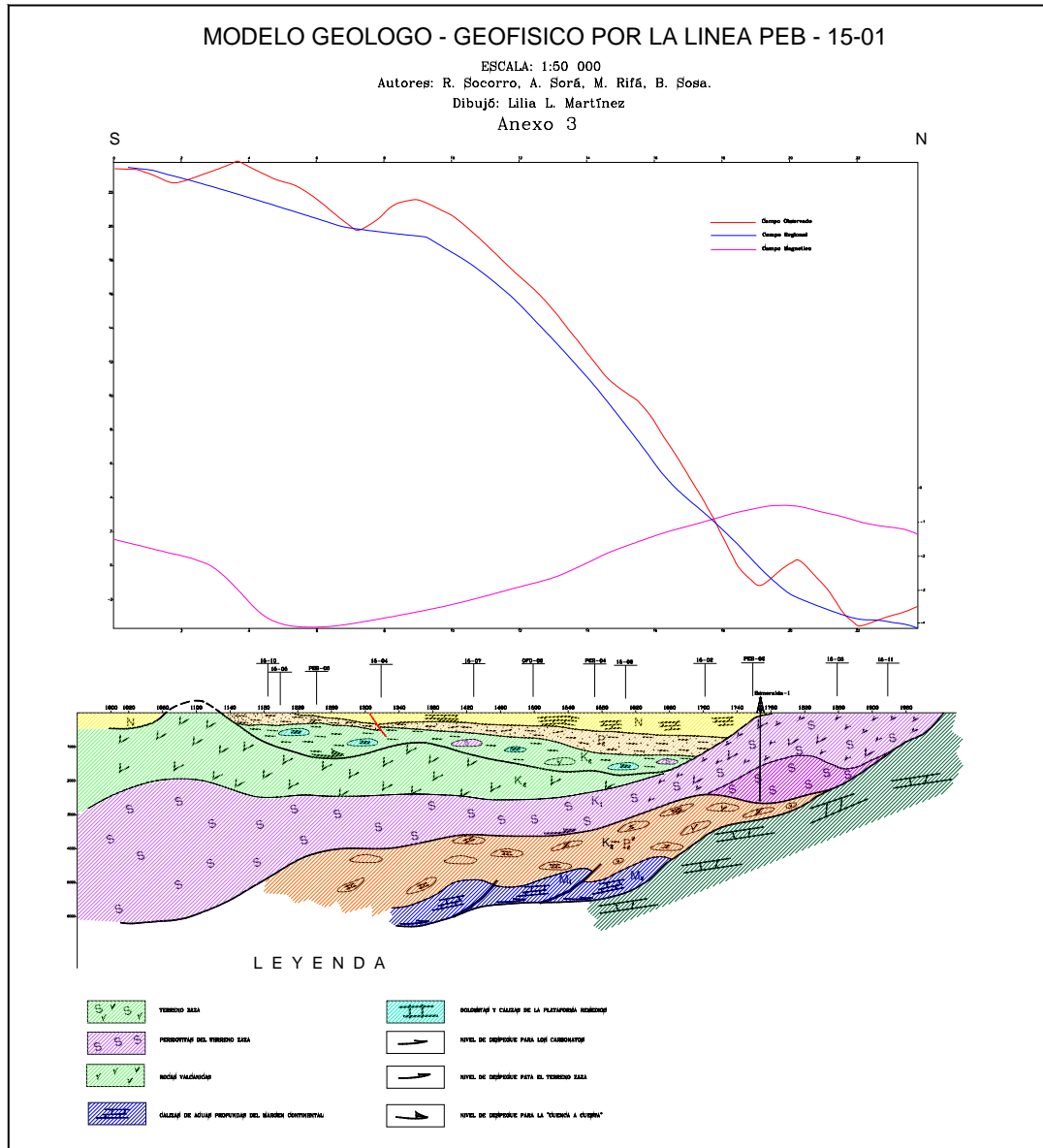


Fig.3 Modelo geológico-geofísico por la línea PEB-15-01

SISMICOS DE VELOCIDAD DE INTERVALO EN LA BÚSQUEDA DE PETROLEO

Jorge Genaro Ruiz Ibarra⁽¹⁾

(1) *Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Calle 114 #11901 entre 119 y 127, Cujae, Marianao 15 CP 19390 C. Elect: jorge@civil.ispjae.edu.cu.*

En el trabajo se muestra la técnica empleada para la construcción e interpretación de los cortes de velocidad de intervalo (aportadas del procesamiento de los corte en tiempo) en forma de mapa de isolínea para las distintas profundidades y puntos de reflexión común de los perfil sísmico. La técnica empleada en el análisis del corte de velocidad de intervalo, ha permitido correlacionarlos con la interpretación del corte en tiempo, definir anomalías de máxima o mínima velocidad en el perfil, determinar los contactos verticales que pueden ser correlacionados como zonas de fallas, definir los contactos horizontales que se correlacionan con la presencia de distintas secuencias o capas de rocas y permite dar criterios de la distribución de la velocidad de intervalo con la profundidad y con ello de la posible litología presente en el perfil. En el trabajo se muestran ejemplos de interpretación de los cortes de velocidad de intervalo correlacionados con datos de pozo para la definición de las características geólogo estructurales en algunos perfiles sísmicos en Cuba.

SELLOS EN AREAS DE EXPLORACION EN LA REPUBLICA DE CUBA

Msc. Maritza Rodríguez Viera (1), Dr. Rolando García (1)

(1): Centro de Investigación del Petróleo. Washington No 169, esq. Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana. C.P 12000. (mrviera@ceinpet.cupet.cu rgarcia@ceinpet.cupet.cu)

RESUMEN

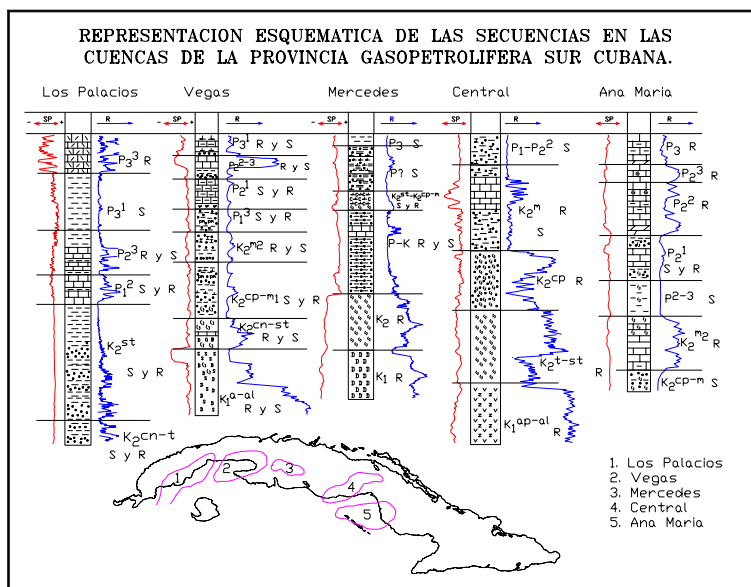
En la evaluación y análisis de los riesgos de los Sistemas Petroleros, un aspecto que resulta de gran interés es tanto el estudio de los reservorios, como de los sellos que impiden que los fluidos almacenados escapen

En el presente trabajo se hace énfasis en el estudio de los sellos a través de un recorrido por las diferentes áreas de la provincia gasopetrolífera norte cubana como de la sur, que han sido objeto para la búsqueda de petróleo, contemplando aspectos como la caracterización estratigráfica (litología- edad- formación), las electrofacies definidas por los registros de pozo, y la calidad valorada a partir del

- Contenido de arcilla: por muestras litológicas y registros geofísicos de pozo
- Espesor: determinado a través de los registros.
- Continuidad: por la correlación a través de los registros.
- Hermeticidad. Este aspecto no se ha evaluado en trabajos anteriores, no obstante es de crucial importancia sobre todo en áreas donde ha existido una fuerte actividad tectónica. Parte del estudio de la compactación tanto de las rocas arcillosas como las muy densas y de las evidencias de trazas de petróleo y/o gas, lo que es indicativo de escape del fluido albergado en las rocas almacén

Finalmente se expone algunas variantes esgrimidas en ocasiones para el pronóstico de los sellos a partir de relación entre parámetros geofísicos- profundidad y reflexiones observadas en los sismogramas.

Como conclusión se proponen las formaciones que actúan como sello con mayor calidad en todos los aspectos definidos.



INTRODUCCION

Cuando se realiza el análisis de riesgo en un sistema petrolero, se tiene en cuenta la existencia de roca madre, reservorio, sello, la época de formación de la trampa, el



enterramiento; la generación, migración y acumulación del hidrocarburo, duración y preservación del mismo.

La atención en este trabajo se focaliza en uno de estos elementos; en el sello, constituido por secuencias de rocas impermeable, indispensable en la existencia de trampa, la cual impide al fluido escapar permitiendo la conservación del mismo.

Este estudio se extiende a todas aquellas áreas que han sido exploradas en la búsqueda de hidrocarburos, permitiendo tener además una valoración sobre la calidad de los mismos en cada región.

MATERIALES Y METODO

Para el análisis de los sellos es necesario estudiar el *tipo de litología* a partir de las muestras de rocas (núcleos, ripios), la edad y el *contenido de arcilla* que poseen. El *espesor* y la *continuidad* a partir de los registros geofísico.

Se ha introducido por primera vez el término *hermeticidad* que considera el grado de compactación de la secuencia y el posible escape que pueda ocurrir debido a fallas u otros efectos tectónicos.

RESULTADOS

Sellos en la Provincia gasopetrolífera norte cubana

Composición litológica y características de las rocas como sello.

En la parte más occidental de esta provincia se considera como sello a la Formación Manacas, constituida por olistostomas del Paleoceno con olistolitos del intervalo Campaniano - Maestrichtiano, muy arcilloso, el que sobreyace a la Unidades de Los Órganos y Sierra del Rosario; no obstante en la Unidad Tectono Estratigráfica Esperanza sólo se localizan sellos locales, perteneciente a variación facial de la propia formación y también a la Formación San Cayetano del Jurásico Medio Inferior, la que no es continua sobre las secuencias reservorios.

Sobreyaciendo a toda la Franja Norte de Crudos Pesados se encuentra a la Formación Vega Alta (Eoceno Inferior Medio), la cuál cubre los reservorios de la Unidad Tectono Estratigráfica Placetas, la que presenta muy buenas características como secuencia sellante; ésta también se infiere en algunas áreas más al este de los yacimientos conocidos.

Otras secuencias que pueden funcionar como sellos en esas áreas, aunque de carácter local y posiblemente con menos propiedades que las de Vega Alta son: ofiolitas del Terreno Zaza (Bloque 12, 13, 14 y 15), la Formación Jumagua del Eoceno Inferior Medio muy localmente en el Bloque 12, la Formación Vegas sincrónica con la anterior pero de composición litológica diferente (Bloque 14 y 15) y la secuencia Salina de Cunagua, localizada en pozos del Bloque 14.

Arcillosidad.

La arcillosidad como su nombre lo indica es la valoración en porciento de la parte compuesta por arcilla en paquete rocoso, lo cuál además del análisis litológico, debe estar respaldado por los registros geofísicos, ya que cada método es un indicativo veraz de esta componente: *bajos valores de resistividad, potencial espontáneo positivo, los más bajos niveles de neutrón gamma, altos valores de porosidad, niveles*



generalmente altos de gamma, aunque esto no se cumple necesariamente en los sellos mencionados. No siempre ha podido evaluarse la misma

- Sólo en Manacas cuantitativamente en la UTE Organos con un valor de 55 %
- Cualitativamente en Sierra del Rosario como de media a alta.
- En la UTE Placetas, formación Vega Alta, es de 60 a 84 %
- En la UTE Camajuaní de 45%.
- En la Formación Sagua (UTE Colorados) presenta muy baja arcillosidad, casi nula, pero debido a la compactación de las calizas, pedernal y dolomitas, pueden constituir una barrera al paso del fluido.
- Finalmente en la UTE Esperanza, Remedios- Cayo Coco, los Bloques 12, 13, 14 y 15 no pudo ser evaluada.

Espesor.

Para la determinación del espesor también se hace indispensable el estudio de los registros geofísicos ya que estos indican la extensión la capa impermeable. Exceptuando el sello de Camajuaní y el Bloque 12, en general los espesores superan los cientos de metros en todas las secuencias consideradas

Continuidad

La continuidad está determinada por la correlación. Si no hay continuidad realmente no se puede hablar de sello regional, sino sello local o barrera ocasional. La continuidad se ha evaluado como buena en la UTE Sierra del Rosario con la Formación Manacas; en las UTEs Remedios y Cayo Coco, corresponde a la Formaciones Vega, Jumagua y Sagua; en la UTE Camajuaní se consideran sellos las Formaciones Vega y Sagua, por ultimo en la UTE Placetas es la Formación Vega Alta, con carácter regional. De forma local se considera como sello algunas variedades litológicas de rocas del Terreno Zaza.(bloques 13, 14 y 15). Con poca continuidad los sellos de la UTE Esperanza y no pudo evaluarse en UTE Organos y Colorados.

Hermeticidad

La hermeticidad no ha sido una valoración frecuente a tener en cuenta en trabajos anteriores, sin embargo es de importancia crucial sobre todo en las áreas donde ha existido un fuerte tectonismo. Ella se valora a través de la evaluación de la compactación – sobre compactación que ha sufrido la secuencia y que garantiza la calidad del sello y/o evidencias de trazas de petróleo o gas que serían indicativos de escape debido a las fallas.

En general la hermeticidad resulta buena; en la UTE Órganos de presenta dinamometamorfismo sellante; en Sierra del Rosario y Esperanza la compactación influye favorablemente, en la UTE Placetas la homogeneidad supera el coeficiente de 0.7 y sólo en el bloque 14 y 15 es que se plantea heterogeneidad. No pudieron ser valoradas por este concepto Remedios- Cayo Coco, Colorados y los Bloques 12 y 13.

Todos estos valores se presentan en la Tabla No 1 de Caracterización de los Sellos



UTE BLOQUE, YACIMIENTO, POZO	SECUENCIA, INTERVALO, FORMACION	LITOLOGÍA	ARCILLOSIDAD	ESPESOR	CONTINUIDAD	HERMETICIDAD	CALIDAD	OBSERVACIONES
Yacimiento Boca de Jaruco	Paleoceno	Existen varias Litofacies:	De 60 a 84 %		Sello Regional	Buena. Mejor en las litofacies arcillosas donde la homogeneidad va de 0.736 a 0.74	Buena	Constituye el sello en toda la Franja Norte de Crudos Pesados.
Yacimiento Yumurí	Medio- Superior	I. Arcillosa- Terrígena- Carbonatada						
Yacimiento Puerto Escondido	Formación Vega Alta	II. Arcillosa- carbonatada						
Yacimiento Varadero		III. Arcillosa- arenosa						
Bloque-12 (?)		IV. Carbonatada – arenosa						
Bloque-13 en Sullivan-6		V. Carbonatada- arcillosa						
Bloques 16, 17 y 18 (?)		VI. Arcillosa						En los bloques 12, 16, 17 y 18 se asume la posible existencia aunque en el primero no se ha reportado en ningún pozo y en los tres últimos lo que se conoce es que la secuencia aflora.

Tabla 1.- Ejemplo del Sello de Placetas, Vega Alta.

Sellos en la Provincia gasopetrolífera sur cubana

Composición litológica y características de las rocas como sello.

Como secuencias muy arcillosas, compuesta por arcillas, lutitas intercaladas con margas y materiales permeables se describen en la cuenca Los Palacios; algo conglomerático en Vegas, apareciendo ya además elementos serpentiniticos, de tobas alteradas en Mercedes o mezclados como en cuenca Central, San Luis- Guantánamo, Cauto presentando mayor componente carbonático en la cuenca Ana María (Figura 1)

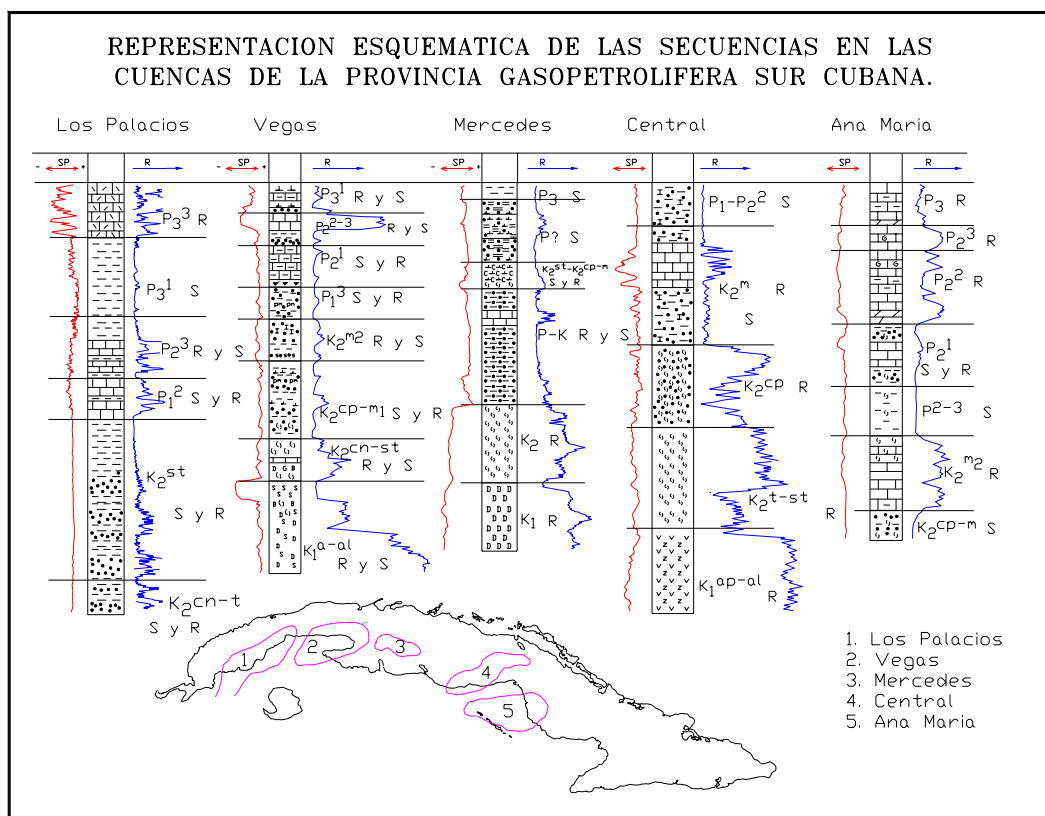


Figura 1.- Representación esquemática de las secuencias sellos definidas en las cuencas de la provincia gasopetrolífera sur, representadas por el SP positivo y resistividad baja en los registros geofísicos. Autor: Rolando García

Arcillosidad

La presencia de arcilla es abundante en las cuencas interiores, no obstante varía según las litofacies.

- En la Cuenca Los Palacios la mejor secuencia se encuentra en el Eoceno Medio Inferior, contiene de 40 a 70 %.
- En la Cuenca Vegas todas las secuencias pueden actuar como sello, presentan un contenido de arcilla que varía desde 60 a 92 %.
- En la Cuenca Mercedes, las dos secuencias que pueden ser sellos están una a continuación de la otra y varían desde 38 hasta 73 %.
- En la Cuenca San Luis sólo se pudo evaluar la formación “El Cobre” con muy buenas características, de 65 a 98 %.
- En la Cuenca Cauto los sellos locales presentan bajo contenido de arcilla, pero las tres litofacies que se manifiestan en las Formaciones Yara y Jiguaní



del Oligoceno presentan valores elevados aproximadamente de 60 hasta 100 %.

- En la Cuenca Ana María la única secuencia que pudo evaluarse por este concepto fue la del Eoceno Medio, litológicamente muy variable, lo que hace que la cantidad varía desde 17 hasta 75 %.
- En la Cuenca Central varía según el área teniendo los menores contenidos de arcilla en la zona de Jíbaro, Agustín y Gabrieles con 31, 29 y 15 respectivamente; sin embargo en general los porcentajes son muy elevados promediando de 70 a 80 %.

Espesores.

En general los espesores de sellos en las cuencas interiores sureñas superan los cien metros, a excepción de la cuenca Los Palacios, donde se presentan entremezcladas con otros materiales. Igualmente sucede con otras secuencias como la Formación El Cobre en San Luis, y en algunos intervalos las Formaciones de Ojo del Toro y el Portillo en la Cuenca Cauto.

Continuidad.

Existen en las diferentes cuencas lo que pudieran considerarse sellos locales, por lo que resultan muy riesgosos. En las cuencas Mercedes y San Luis no se aprecian sellos extensos. A continuación se referirán aquellos que se pueden esperar su aparición con certeza.

- En la Cuenca Los Palacios, las diferentes secuencias del Eoceno (Superior, Medio e Inferior) son las que aparecen en toda la cuenca.
- Al igual que la anterior las formaciones El Cangre (Eoceno Medio – Superior y Capdevila (Eoceno Inferior) son las más continuas.
- En el Cauto, la formación del Eoceno Inferior Ojo del Toro , Yara y Jiguaní del Oligoceno son las más extendidas.
- En Ana María, la secuencia del Eoceno Inferior.
- Y en la Cuenca Central corresponden a las secuencia que se extiende desde el Eoceno Inferior – Medio hasta el Campaniano - Maestrichtiano

Hermeticidad.

La hermeticidad es un parámetro que no siempre se puede evaluar pues no se cuenta con la información necesaria; en este caso se encuentran las cuencas San Luis-

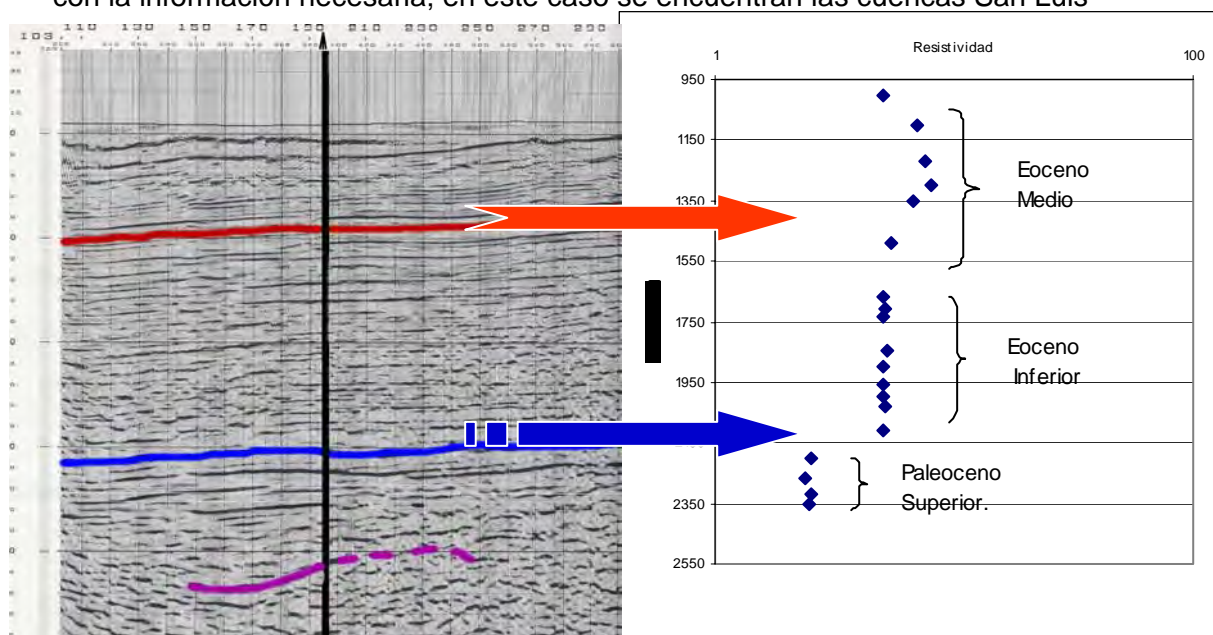


Figura 2.- Relación de la Resistividad con la Profundidad y la correlación en el Sismograma. (Tomado de "Pronóstico de reservorios y sellos de la república de Cuba de la Msc. Maritza Rodríguez Viera



Guantánamo y Ana María; no obstante en otras, como es el caso de la Cuenca Vegas pudo realizarse una interpretación a partir de los registros geofísicos en donde se pudo definir diferentes tipos de compactación (normal y sobrecompactada) en las secuencias del Paleoceno Superior – Eoceno Inferior y Eoceno Medio respectivamente (Figura 2) las que corresponden perfectamente con la correlación en el sismograma que atraviesa este pozo.

Muy buena hermeticidad se presentan en los sellos de la Cuenca Vegas, Central, Cauto, y en Los Palacios en las secuencias del Eoceno Superior, Paleoceno Superior y Campaniano Superior; en el resto presentan escape debido a cercanías a fallas.

Todo esto se muestra de forma extractada en la Tabla No 1 de caracterización y Calidad de los sellos en Cuba.

CONCLUSIONES

- El mejor sello de la provincia gasopetrolífera norte cubana es la Formación Vega Alta, la cuál cumple todos los parámetros necesarios de calidad: contenido de arcilla, continuidad, espesor y hermeticidad.
- En la provincia gasopetrolífera sur cubana general los mejores en cuanto al contenido de arcilla, espesor, continuidad y hermeticidad, se ubican en el Eoceno (Los Palacios, Vegas, Cauto, Ana María y Central), aunque en algunos casos como en la Cuenca Central y Ana María se extiende hasta el Campaniano Maestrichtiano y en otras también presenta buena calidad las secuencias del Oligoceno como en la Cuenca Cauto.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Álvarez Castro J. y otros. Informe sobre "Evaluación de Leads para la exploración de los Bloques 6, 7, 9 y 10. Dic 1998; Archivo CEINPET.
- Álvarez Castro J. y otros. Informe sobre "Evaluación del Objetivos y prospectos de los bloques 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 21 Archivo CEINPET, 2001
- Álvarez Castro J. y otros. Informe sobre "Evaluación del Potencial de exploración de los bloques 20, V, VI, VII, la Cuenca Cauto y Ana María. Archivo CEINPET, diciembre 1994
- Álvarez Castro J. y otros. Informe sobre "Evaluación de Objetivos y prospectos de los bloques 20, 22, 23 sur, V, Va, VII, VIIa Archivo CEINPET, octubre 2000
- Brey del Rey D y Rodríguez Viera M Informe sobre "Facies Sellos y Colectores del yacimiento Varadero". Archivo CEINPET, 1990
- Castro Castilleira O. y otros. "Estudio de los sellos y Reservorios de la Cuenca Los Palacios"
- Cubitas J y otros "Proyecto de actualización y generalización de Cuenca Central". Archivo CEINPET, 2000
- Echevarria G. y otros Informe "Prospectos y Objetivos de los Bloques 5, 8, 11 y 19". Archivo CEINPET, 2002
- Echevarria G. y otros "Caracterización geólogo petrolífera del Bloque 11". Archivo CEINPET, 1994
- García-Sánchez Rolando. Caracterización de las secuencias sellantes de los yacimientos gaso petrolíferos de la costa noroccidental de Cuba. Serie Geológica CIDP, No 3, 1987.
- Rodríguez Viera M y Castro O. "Pronóstico y Reservorios en la República de Cuba". Archivo CEINPET, 2003
- Rodríguez Viera M. "Informe del grupo multidisciplinario de la Cuenca central". Archivo CEINPET; 1990
- Rodríguez Viera M. "Metodología para la evaluación de las rocas sedimentarias". Archivo CEINPET; 1992
- Rodríguez N. y otros. "Geoquímica, Sellos y Colectores". Archivo ceinpet 1985.
- Reservorios de la provincia de Pinar del Río (Informe inédito, archivos Ceinpet).
- López Juan G. "Caracterización geólogo- geofísica del Bloque 5". Archivo CEINPET
- López Juan G. "Caracterización geólogo- geofísica del Bloque 23". Archivo CEINPET ,1994.
- López Juan G. "Caracterización geólogo- geofísica del Bloque 8". Archivo CEINPET ,1995.



La geología y potencial de Hidrocarburos en la República de Cuba” SPT-CUPET. Archivo CEINPET, 1993

Caracterización geólogo- geofísica del Bloque 9

Caracterización geólogo- geofísica del Bloque 14

Caracterización geólogo- geofísica del Bloque 15

Caracterización geólogo- geofísica del Bloque 16

Caracterización geólogo- geofísica del Bloque 17

Valladares Amaro Silvia y otros: "Reservorios Carbonatados de las UTE Camajuaní", Informe inédito Archivo CEINPET, 1996.

Valladares Amaro Silvia y otros. "Reservorios Carbonatados de las UTE Remedios y Cayo Coco", Informe inédito Archivo CEINPET, 1996.

Valladares Amaro Silvia y otros. "Reservorios Carbonatados de las UTE Colorados", Informe inédito Archivo CEINPET, 1996.

USO DE LA TOMOGRAFÍA SÍSMICA PARA OBTENER PARÁMETROS FÍSICOS Y ELÁSTICOS"

Fco. Rubén Rocha de la Vega

Instituto Politécnico Nacional

En este trabajo se presentan los resultados de emplear una técnica tomográfica de inversión sísmica para la reconstrucción de imágenes del subsuelo, en términos de las velocidades de las ondas P y S, así como una técnica para la representación de parámetros sísmicos, tal como la relación de velocidades de la onda P y onda S, la densidad, las constantes elásticas, y la porosidad, a partir de observaciones del tiempo de tránsito.

La metodología se aplicó a datos reales obtenidos de un experimento realizado en un campo petrolero ubicado en el Estado de Texas, E.U.A. El área de estudio se encuentra ubicada en el campo petrolero Monahans, localizado en la Plataforma Central de la Cuenca Pérmica del Oeste de Texas. Este campo pertenece a una cuenca compuesta por secuencias de carbonatos marinos de plataforma, conocida como Serie Leonardiana, cuya edad es del Pérmico Temprano.

La adquisición de datos se realizó entre dos pozos con una separación de 303.9 metros. La profundidad total de ambos pozos es de 1615 m., el intervalo fue de 303.9 m, definida de 1113.5 a 1417.4 m.

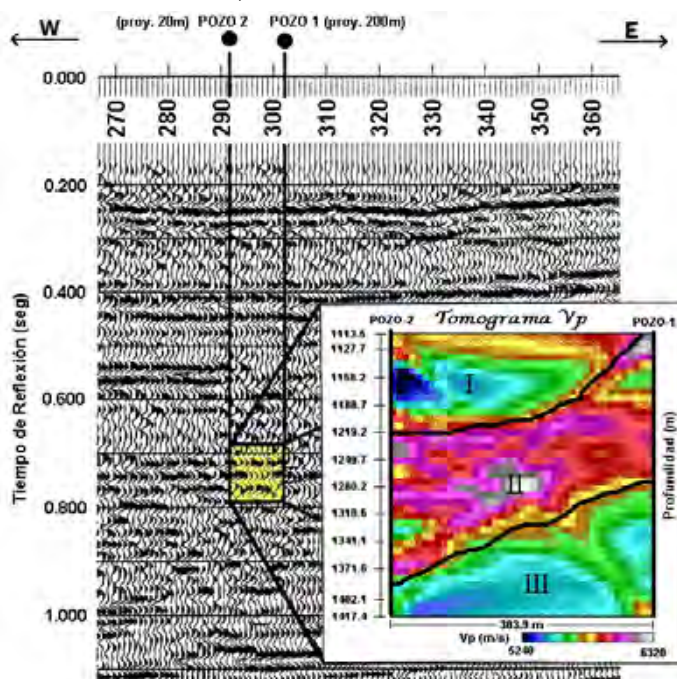
El procesamiento de la información sísmica consistió en diseñar una secuencia adecuada para enfatizar los eventos directamente transmitidos (primeros arribos), tanto de las ondas P como de las ondas S y minimizar o atenuar el ruido sísmico aleatorio presente en los sismogramas, y asimismo aplicar un criterio suficientemente robusto para determinar los tiempos de arribo de dichos eventos.

Se utilizó el proceso de inversión linealizada por medio de la técnica de Mínimos Cuadrados con Amortiguamiento mediante Gradiente Conjugado, haciendo uso del modelado de rayos para trayectorias fuente-receptor curvas, que son los que más se asemejan a la realidad, ya que la energía viaja más fácilmente por las capas de mayor velocidad.

A partir de los Tomogramas Vp y Vs se generaron otros tipos de imágenes que nos mostraron algunas características físicas o elásticas del subsuelo, tal como la relación de velocidades (Vp/Vs), la densidad (ρ), la porosidad (ϕ) y las constantes elásticas, con la finalidad de extraer la máxima información posible de los datos sísmicos adquiridos con las técnicas tomográficas descritas, ver figura.

Mediante el análisis conjunto de las imágenes de las propiedades físicas y elásticas del medio, se pudo realizar una buena determinación de la litología y establecer los diferentes ciclos sedimentarios, ya que se pudo definir ciclos de hasta cuarto o quinto grado (de 0.5 a 5.0 metros), mientras que en la sismología de superficie únicamente se pudieron determinar ciclos de segundo o tercer grado (decenas a centenas de metros).

Tomograma de la Velocidad de la Onda P





CARACTERIZACION DE RESERVORIOS Y GRUPOS LITOLOGICOS EMPLEANDO LOS METODOS ACUSTICOS. COMPLETAMIENTO DEL PERFIL DE VELOCIDADES PARA EL POZO CANDELARIA 1.

Juan Rodríguez-Loeches⁽¹⁾, Yosmel Sánchez Hernández⁽²⁾, Geisel Escalona Figueredo⁽²⁾

(1) Ceinpet, Washington N.º 169 ESQ. A Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba,
C..Eléct loeches@ceinpet.inf.cu

(2) Instituto Politécnico del Petróleo, Ciudad de la Habana, Cuba.

RESUMEN

El objeto de investigación está dirigido al estudio del comportamiento acústico de varios yacimientos cubanos, así como la determinación y obtención del comportamiento de algunos parámetros petrofísicos utilizando las mediciones acústicas.

En el trabajo son empleados los métodos acústicos de pozos, el perfilaje sísmico vertical y determinaciones acústicas de laboratorio. Las mediciones en núcleos se realizaron con un equipo de ultrasonido de fabricación cubana.

Se obtienen diferentes dependencias como son Δt vs Φ y V vs Φ para las mediciones de núcleos; Δt vs profundidad para los datos de los registros sónicos y comparación con los datos de núcleo y de perfilaje sísmico vertical.

Para el cálculo de porosidad empleando el método acústico de pozo fue empleada la ecuación de Wyllie de tiempo promedio y a partir de la comparación de los resultados de porosidad obtenidos por métodos de laboratorio y los calculados por la ecuación de Wyllie, se recalcularon para algunos casos las porosidades, introduciendo el factor de compactación en la mencionada ecuación. Para las rocas tobaceas se recomienda un coeficiente de corrección por compactación de 1.6 en mediciones realizadas a profundidades menores a 1000 metros con un CEC superior a 6 meq/100g.

Quedó establecido el comportamiento de las ondas acústicas para diferentes áreas del país y se completó el perfil de velocidades para el pozo Candelaria 1.

ABSTRACT

A study of the acoustic behavior of several Cuban locations is made, as well as the determination and obtaining of the behavior of some parameters petrophysical using the acoustic mensurations.

In the work they are employees the acoustic methods of wells, the vertical seismic profiling and acoustic determinations of laboratory.

For the porosity calculation using the acoustic method of well was employee the equation of Wyllie of time average. It was considered 1,6 as factor of compactacion of this equation for the tuffs rocks investigated to smaller depths to 1000 meters and with a bigger CEC to 6 meq/100g.

It was established the behavior of the acoustic waves for different areas of the country and the profile of speeds was completed for the well Candelaria1.

INTRODUCCION

La interpretación del registro acústico para el estudio de las características de los pozos cubanos no está muy difundida dentro del círculo de especialistas cubanos, por lo que la mayoría de los trabajos realizados en esta rama utilizan otros tipos de registros.

A partir del año 1982 se comenzó a emplear en Cuba este método acústico en los pozos y en el año 1984 se iniciaron las mediciones en muestras de laboratorio.



El objeto principal del establecimiento de las características acústicas de las rocas empleando el carotaje acústico es el cálculo de la porosidad, la cual es determinada a partir de la ecuación de Wyllie. En esta ecuación intervienen el tiempo de tránsito en la roca (Δt_r), en el esqueleto (Δt_{esq}) y en el fluido (Δt_f). En Cuba se han desarrollado diferentes trabajos de laboratorio para el conocimiento de estas características con el objetivo de proporcionarle al interpretador del registro acústico de pozo los diferentes parámetros para el cálculo de la porosidad. En un inicio estos trabajos se realizaron en pozos aislados que cortaron una gran cantidad de núcleos, pudiéndose establecer las características de la velocidad y el Δt_{esq} . Con posterioridad, en el marco del proyecto 2121 de recuperación mejorada del yacimiento Pina, se establecieron estas dependencias para los vulcanógenos sedimentarios (tobas y efusivos) de los Yacimientos Pina y Cristales. Más tarde, fue generalizada toda esta información y se realizaron nuevas determinaciones en los trabajos de diploma de Sánchez y Escalona, donde además, se correlacionaron las características acústicas obtenidas por los métodos de laboratorio y mediciones en pozos.

MATERIALES Y METODOS

En este trabajo, se realiza un completamiento de la base de datos petrofísicas existente en el Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), haciendo mediciones de laboratorio en muestras y clasificando toda la data existente según su litología. Fueron empleadas muestras de Pina, Cristales, Caridad, La Rosa, Las Mangas, Candelarias y otros yacimientos y pozos aislados.

Se utilizaron registros acústicos obtenidos en pozos del Yacimiento Pina, Candelaria y otros, así como el Perfil Sísmico Vertical y se estableció la relación de velocidades por los métodos mencionados.

El equipo empleado para la determinación del tiempo de tránsito es de fabricación cubana (LUSAC). Es un equipo ultrasónico que consta de dos palpadores (emisor y receptor del pulso). La muestra medida son cortadas de forma cilíndrica, con dos caras paralelas bien pulidas y donde la longitud es dos o más veces el diámetro de las mismas. Entre el palpador y la muestra se unta grasa para mejorar el contacto. El equipo mide el tiempo de tránsito (en microsegundos) que demora la onda ultrasónica en atravesar la muestra en condiciones de laboratorio (sin presión y temperatura aplicada).

Para la determinación de la porosidad y densidad, se empleó el método clásico de inmersión (Arquímedes).

Para el cálculo de la porosidad a partir del carotaje acústico, fue empleada la ecuación de Wyllie de tiempo promedio, la cual fue obtenida por M. R. J. Wyllie después de numerosas determinaciones de laboratorio y se puede expresar de la forma:

$$\Phi = \frac{\Delta t_R - \Delta t_{esq}}{\Delta t_f - \Delta t_{esq}} \frac{1}{C_p}$$

donde :

Δt_R Es el tiempo de tránsito en la roca

Δt_f Es el tiempo de tránsito en el fluido



Δt_{esq} Es el tiempo de tránsito en el esqueleto

C_p Es un coeficiente de compactación.

El tiempo de propagación de la onda sónica en el fluido que satura la roca oscila entre los 550 y 650 $\mu\text{s/m}$. En este trabajo fue empleado el valor recomendado en la literatura consultada de 620 $\mu\text{s/m}$.

En la fórmula de Wyllie se utilizan, para determinadas litologías, coeficientes de corrección por compactación, lo cual se recomienda en formaciones con alto contenido de arcillas y/o poco profundas (1000 metros o menos). Esto se debe a que en la medida que aumenta la profundidad, las condiciones de compactación de las formaciones son más homogéneas lo que no ocurre de igual forma para profundidades pequeñas.

Este coeficiente es muy utilizado en litologías con alto contenido de arcilla como lo pueden ser las Arenas arcillosas o en el caso de Cuba las Tobas del Yacimiento Pina. En la bibliografía consultada no se reportan correcciones para formaciones de origen volcánico, como es el caso de las Tobas y Efusivos del mencionado Yacimiento, lo que constituye una parte importante en este trabajo. Si existen lutitas (arcillas) laminadas dentro de la arenisca, los valores aparentes de porosidad sónica por lo general se aumentan por una cantidad proporcional al volumen total de las laminaciones. Esto es equivalente a que la medición de la porosidad incluye determinado error por lo que se debe corregir utilizando el C_p .

Empleando la información tanto petrofísica como litológica y de velocidades acústicas y sísmicas en el pozo Candelaria 1 y la analogía de esta información con la obtenida para el pozo Las Mangas 1 en el trabajo de Escalona, se completó el perfil de velocidades de Candelaria 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se ajustaron dependencias petrofísicas para yacimientos y pozos aislados, así como otras generales para toda Cuba las que fueron construidas por grupos litológicos (carbonatos, areniscas, tobas y efusivos). En este trabajo expondremos los resultados generales así como algunos particulares que por su importancia y novedad consideramos de interés.

Carbonatos

En la figura No.1 se muestra la dependencia para los carbonatos, donde se han considerado todas aquellas determinaciones de Δt_r realizados a muestras con las siguientes litologías: Micritas, Micritas Arcillosas, Biomicritas, Marga Arenosa, Marga Organógena, Biointraesparita Arenosa, Brechas, Conglomerados, Dolomitas y otras, cuyo contenido de carbonatos promedio es de 84.1%.

En la construcción de esta dependencia no se incluyeron algunos pares de valores (Δt_r , Φ) por presentar la muestra medida un elevado coeficiente de intercambio catiónico (CEC). Estas muestras carbonatadas, fundamentalmente margas, argilitas y micritas arcillosas, aunque presentaron un contenido de carbonatos superior a los 60-70%, su CEC es superior a los 5 meq/100g y la presencia de arcilla en su constitución le confieren a la muestra propiedades atenuantes de la onda, por lo que el Δt_r obtenido es superior a los 500 $\mu\text{s/m}$ independientemente del rango de porosidad. En la ecuación de regresión de la figura No.1 quedó establecido 160.99 el Δt_{esq} para los carbonatos.

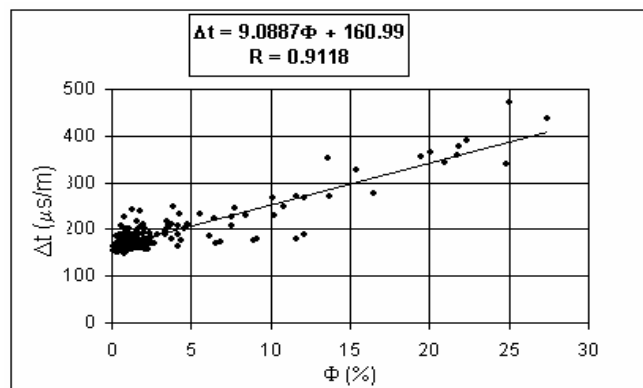


Fig.1 Carbonatos

Tobas de granos finos

En la figura No.2 se muestra la data existente para las tobas de grano fino del yacimiento Pina, donde quedó establecido un Δt_{esq} de 194.82, valor este superior al obtenido para las tobas de grano grueso que se obtuvo en el trabajo de tesis de Sánchez.

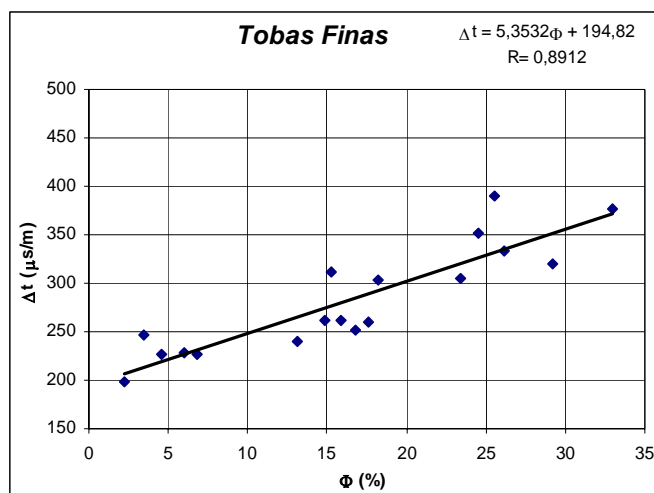


Fig.2 Tobas de grano fino.

Factor de Compactación

Para el establecimiento del factor de compactación empleado en el calculo de la porosidad a partir de la ecuación de Wyllie, fue evaluada la porosidad para diferentes rocas tobaceas del yacimiento Pina, según dicha ecuación empleando el registro acústico y comparada con la obtenida en el laboratorio por el método de inmersión.



En la tabla No. I se presentan algunos resultados para muestras a menos de 1000 metros de profundidad y con un coeficiente de intercambio catiónico superior a 6 meq/100g, donde se consideró un coeficiente de compactación de 1.6.

Tabla No. I Resultados empleando un coeficiente de compactación de 1.6 en el cálculo de la porosidad a través de la ecuación de Wyllie.

Pozo	Núcleo	Porosidad Lab.	Porosidad Wyllie	Porosidad correg.
Pina 2	6	18.86	29.6	18.5
Pina 2	8	16.49	28.6	17.87
Pina 2	10	12.84	25.57	15.8
Pina 24	3	22.84	33.42	20.89
Pina 24	4	25.95	44.51	27.8
Pina 21	4	24.49	47.62	26.76
Pina 35	4	15.64	26.99	16.86
Pina 37	4	10.11	17.5	10.94

Completamiento del perfil de velocidades para el pozo Candelaria 1

Para el estudio de este pozo se utilizó toda la medición del PSV desde 2200 a 3525 m de profundidad en ese mismo intervalo se obtuvo la velocidad de capa dividida en 5 zonas como se muestra en la figura No.3

Se presentan además en el gráfico las velocidades acústicas obtenidas tanto en el pozo como en el laboratorio, lo que unido a diferentes mediciones petrofísicas, la litología y la división por capas se realiza un estudio detallado del corte acústico del pozo donde se encuentran las mediciones de núcleos.

La velocidad medida en condiciones de laboratorio se le determinó a 31 muestras en el intervalo 1078-4271 metros. En este estudio fueron empleadas 16 mediciones en el intervalo 1078-4271. Las muestras están constituidas por carbonatos y areniscas con rangos de velocidad entre 3261-4850 m/s. El corte se encuentra dividido en 15 capas según el trabajo presentado en el marco del proyecto 2228 del CEINPET.

A mayor profundidad de 3810 metros que existen mediciones de núcleos, no se contó con la velocidad sónica de pozo. Para lograr una mejor claridad en el gráfico y teniendo en cuenta que la medición del registro sónico se hace cada 0.25 m se tomaron solamente los valores cada 1m de distancia.

Capa 1 (1075-1250) de edad Mioceno Medio Superior, constituido por micritas arcillosa, fosilífera, algo de marga, con materia orgánica carbonosa, dispersas microfracturas. En esta capa se encuentran las mediciones de los núcleos 9,10 y 11, constituidos por micritas muy arcillosas, con valores de porosidad entre 12 - 25%. La velocidad en los núcleos está entre 2843 – 3830 m/s, correspondiendo las menores velocidades con las mayores porosidades. Estos resultados son propios en este tipo de corte, donde las rocas no están muy profundas. El contenido de carbonatos no es muy bajo pero presentan un elevado coeficiente de intercambio catiónico (CIC), llegando a alcanzar valores de hasta 20,6 meq/100g según el BDP.



Capa 2 (1250-1525) de edad Mioceno Medio Superior, constituida por micritas arcillosas a marga, con abundante contenido fosilífero, materia orgánica carbonosa e intercalaciones de argilita. A esta capa pertenecen los núcleos 12 y 13 constituidos por micritas muy arcillosas con una porosidad mayor a la del intervalo anterior (20-30%) en correspondencia con las bajas velocidades entre 2600 y 2800 m/s. En este intervalo el contenido de carbonatos es similar al anterior y presenta un CIC menor.

En estas dos capas, aunque las micritas arcillosas presentan aproximadamente el mismo contenido de carbonatos y la segunda capa tiene un CIC menor que la primera, la respuesta de la velocidad viene dada por la diferencia entre las porosidades, sin influir el contenido arcilloso. En las **capas 1 y 2** no hay registro de perfilaje sísmico vertical, ni registro acústico. Teniendo en cuenta la similitud con los datos del pozo Las Mangas 1, tanto en los parámetros litológicos, como petrofísicos (incluyendo las mediciones acústicas en núcleos), y de profundidad, asumimos una velocidad de capa de 3440 m/s, similar a la obtenida para el pozo Las Mangas 1 en este tipo de corte.

Capa 3 En esta capa no existen resultados.

Capa 4 (2275-2405) y Capa 5 (2405-2500), de edad Oligoceno Inferior, constituidas por intercalaciones de margas arenosas y conglomeráticas, con areniscas poligénicas. En estas capas no hay resultados de mediciones de velocidad en núcleo. Según el BDP en este intervalo se encuentran los núcleos 29,30 y 31, constituidos por intercalaciones de margas y areniscas con porosidades entre 5-10%, contenido de carbonatos medios (50%) y alto CEC (10 meq/100g). La velocidad acústica indicada por el registro sónico está entre 5300 y 5600 m/s. La velocidad de capa es de 4050 m/s. Dada la profundidad a la que se encuentran estas capas y a una menor presencia de material arcilloso la velocidad acústica debe estar entre 4000 y 4500 m/s. En trabajo de tesis anterior a este [10]. el rango de velocidad para este tipo de roca según su porosidad está entre 4000-5000 m/s.

Capa 6 (2500-2660) de edad Eoceno Superior, constituida por micritas arcillosas, que alternan con areniscas conglomeráticas, micritas arenosas y escasas margas fosilíferas en este intervalo se encuentra el núcleo 35 compuesto por micritas arcillosas con una porosidad de 4.18 % y una velocidad de 4814 m/s. El contenido de carbonatos es de 58% y el CIC en este núcleo está entre 3 y 9 meq/100g lo que indica la presencia de arcilla. Las velocidades del registro sónico oscilan entre 5000 y 5700 m/s.

Capa 7 (2660-2730) de edad Eoceno Superior compuesta por micritas arcillosas y arenosas, margas y areniscas conglomeráticas. En este intervalo se encuentra el núcleo 37 constituido por una micrita, con una porosidad de 6.48 % . Este núcleo presenta un contenido de carbonato del 85 % (promedio del núcleo 63%) y a diferencia del núcleo de la **Capa 6** su CIC está entre 0 y 5 meq/100g y la velocidad es menor (4448 m/s). La velocidad del registro sónico está entre 5400 y 5600 m/s.

En este intervalo de edad Eoceno Superior (**Capas 6 y 7**) la velocidad de capa calculada es de 4680 m/s lo que se corresponde con las velocidades de los núcleos.

Capa 8 (2730-3000) de edad Eoceno Medio. Capa formada por areniscas con guijas conglomeráticas, micritas arenosas, biomicritas y micritas arcillosas. En esta capa hay una escasa porosidad interpartículas y por microfracturas. En este intervalo según la BDP se encuentran los núcleos 38, 39, y 40 constituidos fundamentalmente por areniscas con alguna presencia de micritas y margas. El contenido de carbonatos es de 49%, el CIC de 3 meq/100g.



Los valores de porosidad están entre 4-8%. La velocidad acústica presenta una gran variabilidad, con valores mínimos y máximos, por lo que hacemos el análisis en las regiones donde están cortados los núcleos:

Núcleo 38 (2760-2764): Presenta un mínimo de 4821 m/s, aunque el intervalo donde se encuentra el núcleo cortado mantiene una velocidad prácticamente constante de 5100 m/s.

Núcleo 39 (2863-2865): la velocidad está alrededor de los 4850 m/s, sin embargo existe un descenso a los 2865 m donde la velocidad es de 1100 m/s motivado por una posible zona con grandes fracturas.

Núcleo 40 (2989-2994): la velocidad es de 5500 m/s como promedio.

La velocidad de capa es de 3880 m/s la más baja de todas las medidas por una mayor influencia de las areniscas en el corte y la presencia de varios mínimos de velocidad en el registro acústico se pueden correlacionar con zonas de fracturas, lo que pudiera disminuir la velocidad de capa.

Capa 9 (3000-3200) de edad Eoceno Medio. Formada por calizas arenosas. A partir de los 3100 m, predomina por completo el comportamiento arenoso, se intercalan en algunas capas limoarcillas, con escasos poros interpartículas. En este intervalo se encuentran los núcleos 42 y 44 compuestos fundamentalmente por areniscas. Presentan un contenido de carbonatos de 30%. El CIC es de 5 meq/100g y una porosidad de 3%. En el núcleo 42 algunos resultados de contenido de carbonato en otras muestras dan valores de 80% (carbonatos). La velocidad acústica determinada en los núcleos está en el intervalo de 4200 a 4800 m/s. Para el núcleo 42, la velocidad sónica de registro es de 5725 m/s y se mantiene estable. Para el núcleo 44, la velocidad sónica es de 5700 m/s y al igual que el núcleo anterior se mantiene estable. La velocidad de capa es de 4380 m/s, similar a las **Capas 10 y 11** de edad Eoceno.

Capa 10 (3200-3410) de edad Eoceno Medio, constituida por Areniscas con escaso contenido Conglomerático; ligero componente limoso, cemento cálcico arcilloso. A partir de los 3350m hay incremento de las guijas conglomeráticas, con escasos poros intergranulares.

En esta capa se encuentran los núcleos 48 y 49. El núcleo 48 que se encuentra en el intervalo 3343-3348m está constituido por argilitas y areniscas. El contenido de carbonatos es de 14% y una porosidad de 10%. El núcleo 49 cortado en el intervalo 3374-3377m es una gravelita polimíctica con un 30% de contenido de carbonatos y una porosidad de 12%. La velocidad sónica obtenida en las muestras de estos núcleos fue muy similar (3343 y 3374m/s). La velocidad sónica de pozo para el intervalo donde está el núcleo 48 es de 5300 m/s y la del núcleo 49 es de 5430 m/s. En esta capa la composición arcillosa y poco carbonatada incrementó la porosidad (microporosidad). Tanto la velocidad sónica de registro como la de núcleo dan menores que la capa anterior y mantiene la misma velocidad de capa.

Capa 11 (3410-3660) de edad Eoceno Inferior, compuesta por Areniscas conglomeráticas que alternan con calizas arenosas y arcillosas. En esta capa está el núcleo 50 constituido por gravelita polimíctica con 9% de contenido de carbonatos y 12% de porosidad. El resto de las muestras de este núcleo presentan contenidos de carbonatos que llegan hasta 35% y la porosidad hasta 18%. La velocidad sónica de la muestra es de 3485 m/s. El registro sónico de pozo registró 10 mínimos de velocidad (entre 1000 y 1500 m/s) lo que nos hace inferir en una zona con intensa fracturación. La muestra medida, tanto por su porosidad como por su velocidad no evidencia los efectos de la compactación que pudiera tener a 3484 metros de enterramiento. El registro sónico registró valores que van desde 3500 hasta 4500 m/s valores que no se diferencian mucho de lo registrado en la medición de laboratorio.



Capa 12 (3660-3800) de edad Paleoceno superior, formada por Conglomerados con fracción arenosa, micritas arcillosas y arenosas, escasas argilitas limosas. En esta capa no existe medición de velocidad en núcleo. Los núcleos 57 y 58 cortados en este intervalo tienen un contenido de carbonatos de 6%, un CIC de 4 meq/100g y una porosidad entre 2 y 15%, predominando las mayores de 10%. El registro sísmico en esta capa presenta 7 zonas con valores menores de 1500 m/s y un comportamiento de su velocidad sísmica entre 4000 y 5500 m/s. La zona del núcleo 57, entre 3715-3719m posee un intervalo de velocidad sísmica de 4700 a 5400. El núcleo 58 (3739 a 3744m), presenta un comportamiento inestable de la respuesta al registro sísmico que va desde 1200 hasta 4500 m/s.

Capa 13 (3800-3870) de edad Cretácico superior, esta capa no tiene determinada la descripción. En esta capa está el núcleo 59 constituido por areniscas y argilitas con bajo contenido de carbonato (5%) un CIC entre 1 y 5 meq/100g y una porosidad promedio de 7.97%. La velocidad sísmica obtenida en el núcleo fue de 3200 m/s. A esta profundidad no aparecen registrados el registro sísmico ni el PSV.

Capa 15 (3970-4350) de edad Cretácico superior constituida por arenisca poligénica y arcóscas. A partir de 4100 tanto las areniscas como los conglomerados contienen abundante moscovita. De 4230m en lo adelante se acentúan los conglomerados. En esta capa se cortaron los núcleos 60 (4001-4005), 61(4096-4099) y 62 (4268-4271). El contenido de carbonatos es de 9.3%, el CIC es de 1.6 meq/100g y la porosidad promedio de 5.45% . Las velocidades sísmicas de las muestras está entre 4240 y 4860 m/s. En esta capa tampoco se registró el PSV ni el registro sísmico de pozo.

Las **capas 13 y 15**, de la misma edad y aproximadamente la misma constitución litológica, presentan similares resultados de contenido de carbonatos y CIC. La diferencia está en la porosidad y la velocidad de estas capas. En el gráfico de compactación de la figura 4 se muestra como a partir de la **capa 15** (4000 m) se manifiesta la compactación de las rocas. Guardando relación con lo anterior, la velocidad sísmica de la **capa 15** es mayor que la de la **capa 13**.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos esperar velocidades de capa entre 4300 y 4800 m/s para la **capa 13** y entre 5000 y 6000 m/s para la **capa 15**.

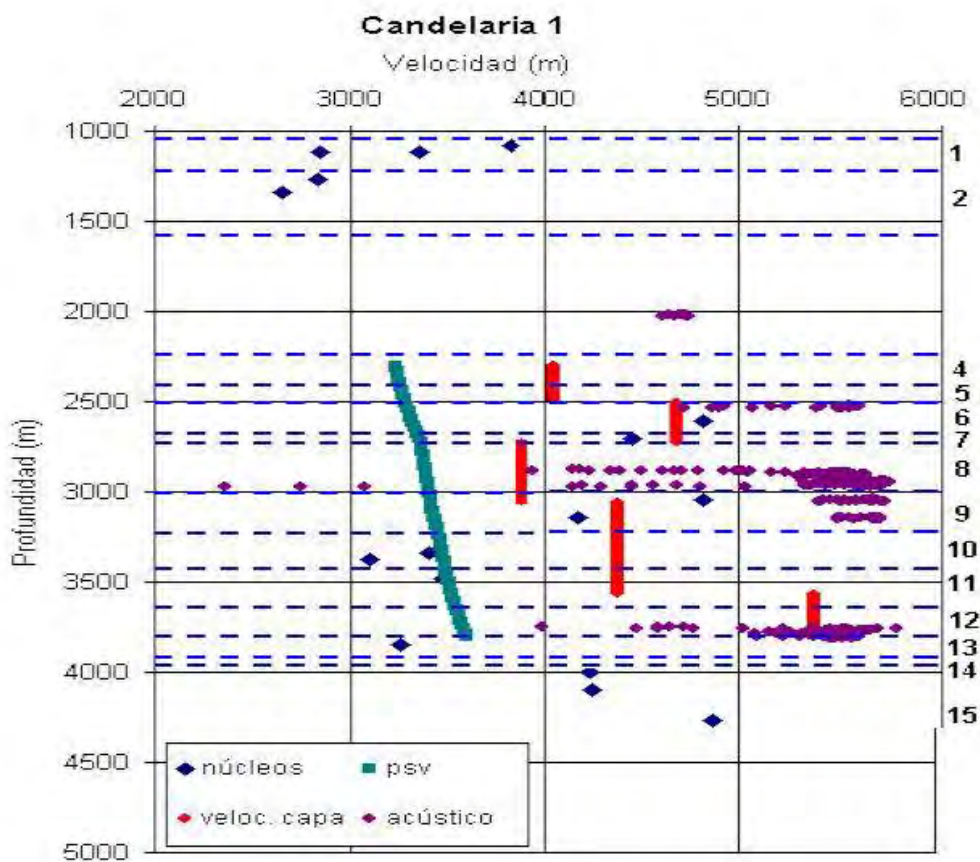


Figura No.3 Gráfico de velocidades para el pozo Candelaria 1

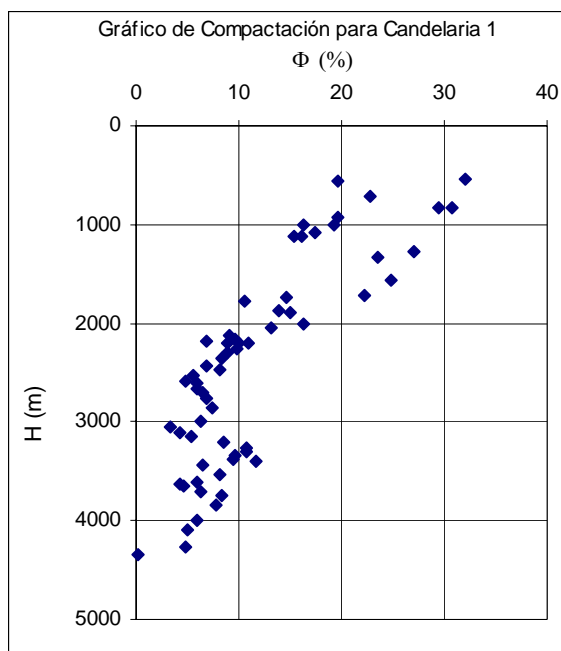


Figura No.4 Gráfico de compactación para el pozo Candelaria 1



CONCLUSIONES

- Quedó establecido el Δt_{esq} para los carbonatos (160.99) y para las Tobas de grano fino (194.82).
- Se determinó un coeficiente de compactación de 1.6 el cual debe ser empleado en la ecuación de Wyllie para el cálculo de la porosidad en las rocas tobaceas con valores de Coeficiente de Intercambio Catiónico superior a 6meq/100g y que se encuentren a profundidades menores de 1000 metros.
- Se completó el perfil de las diferentes velocidades para el pozo Candelaria 1, donde se demostró que teniendo una buena data de velocidades, tanto de laboratorio como acústicas y la obtenida a partir del Perfil Sísmico Vertical, así como una información litológica del corte atravesado por el pozo y otros datos petrofísicos, es posible inferir la velocidad de capa en horizontes donde no esté registrado.

BIBLIOGRAFÍA

- Castro, O., J. Rodríguez-Loeches, y otros, 2002. "Estudio de Reservorios en la Cuenca de los Palacios". Capítulo III "Caracterización de Reservorios" Archivo Técnico CEINPET. 88p
- Díaz, L., J. Rodríguez-Loeches, y otros, 1998. "Recuperación Mejorada en el Yacimiento Pina. Etapa 1. "Caracterización del Reservorio". Archivo Técnico CEINPET. 102p
- Escalona, G. 2003. "Caracterización de las velocidades sísmicas y acústicas medidas en el pozo Las Mangas 1. Forum ISCTN. 22p.
- Escalona, G. 2003. "Mediciones de laboratorio para la caracterización de parámetros acústicos. Completamiento del Perfil de velocidades para el pozo Candelaria 1" Trabajo de diploma. ISCTN. 82p.
- Guido, B y otros, 2002. "Effects of pore types and cementation on velocity and permeability in carbonate". AAPG Annual Meeting. (Texas). AAPG Bulletin. Vol.86
- Sánchez, Y., J. Rodríguez-Loeches. 2002. "Caracterización de Reservorios y grupos Litológicos empleando los Métodos Acústicos" Trabajo de diploma. ISCTN. 90p.
- Schlumberger. "Principios y aplicaciones de la interpretación de registros".
- Rodríguez-Loeches J. y otros. "Base de datos Petrofísicos". CEINPET.



CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DEL SECTOR SUROESTE DE LA CUENCA CENTRAL EN BASE A LOS DATOS GRAVIMÉTRICOS Y SÍSMICOS

Ing. Analily Medina Soto (1), Ing. Yeniur Gámez Batista (1), Ing. Esthenis Martínez (2),

(1) *Universidad Pinar del Río*

(2) *DIGICUPET.*

La Cuenca Central al igual que las cuencas California, Miranda, Vertientes, etc. está enmarcada dentro del grupo de intensos mínimos gravimétricos asociados a cuencas postorogénicas sobre un substrato plegado del Arco Volcánico Cretácico (AVC) y su cobertura sedimentaria sinorogénica del Cretácico- Eoceno Superior Temprano.

En estas la presencia de máximos gravimétricos relativos correspondería a levantamientos del Arco Volcánico Cretácico con posibilidades gasopetrolíferas en colectores de rocas vulcanógeno - sedimentarias y calizas del Cretácico (Yac. Pina, Cristales, Catalina, etc.).

Es por ello que a partir de 1986 Cupet ejecuta en la Cuenca Central varias campañas sísmicas de reconocimiento PCP con vista a la detección, por el tope del Arco Volcánico Cretácico, de estructuras favorables para la acumulación de hidrocarburos.

Es a partir de la información obtenida en el sector suroeste de la cuenca, calibrada al corte geológico reconocido en superficie y en pozos, que se hace el presente trabajo basado en la valoración del cuadro de onda sísmico y su posible correspondencia con la información gravimétrica existente.

En el material sísmico se distinguen varios medios sismogeológicos, así como las fallas fundamentales relacionadas con las diferentes etapas compresivas- distensivas que afectaron el área, estando su configuración relacionada con levantamientos y hundimientos interiores asociados a plegamientos y sistemas de bloques que tienen estrecha relación con máximos y mínimos relativos del campo gravitacional.

Se hace además una valoración de la relación de este sector suroeste de la Cuenca Central con el sistema de falla transcurrente (desplazamiento horizontal) "La Trocha".

Como resultados se presentan un mapa estructural por la base del Terciario y un perfil geológico sobre una línea sísmica de dirección suroeste-noreste.

En su generalidad la zona de la cuenca terciaria estuvo conformada por una zona central hundida de dirección fundamental suroeste-noreste la cual fue afectada durante el Eoceno Superior-Oligoceno (¿Mioceno Inferior?) por movimiento de transcurrencia este-oeste que provocaron el desplazamiento de su eje central al oeste, quedando la misma conformada por dos bloques tectónicamente desplazados entre sí.

En ella se destacan además hundimientos y levantamientos interiores que corresponden con el hundimiento o apilamiento de las secuencias del Arco Volcánico Cretácico y su cobertura sinorogénica cretácica, Dentro de estos se destacan por su magnitud los hundimientos Vallejo-Guasimal-Sancti Spirítus, Norita, Vega Grande y los levantamientos Bijabo, Jatibonico, Catalina y el bloque levantado Taguasco_Vargas. Cabe destacar además que el borde oeste de la cuenca está dado por la presencia de fallas normales mientras que el borde este por la ocurrencia de fallas normales e inversas.

Como una variante más de interpretación basada en los métodos sísmico y gravimétrico, esta puede ayudar a la comprensión de la génesis y estructuración del sector suroeste de la cuenca, así como ampliar la visión sobre su potencial de hidrocarburos y su viabilidad exploratoria.

GOLFO DE BATABANO. EXPECTATIVAS GASOPETROLÍFERAS. BASADAS EN LA INTERPRETACIÓN COMPLEJA DE DATOS GEOFÍSICOS

Sonia Toucet⁽¹⁾ Gustavo Echevarria⁽²⁾ José. L.Prol⁽¹⁾.

(1)CEINPET-(DIGICUPET) UCTB DE INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS CALLE 23 No 105 e/ N Y O Vedado . Plaza. Ciudad de La Habana

(2)CEINPET Washington No 169 esquina Churrucá

RESUMEN

La producción de petróleo en Cuba comienza con el descubrimiento del yacimiento Motembo en 1881. Todos los descubrimientos importantes fueron hechos en los últimos 35 años en la costa norte de Cuba Occidental

Existen dos provincias petroleras: la del Norte que incluye, el Cinturón sobrecorrido y la sureña ubicada al sur del Cinturón donde se incluye el Golfo de Batabanó

La norteña es la petrolífera por excelencia. La sur es aún pobre productora sólo en la región Central en los pequeños yacimientos Cristales y Pina se han obtenido algunas producciones de una relativa importancia que nos estimula a estudiar éste sector sureño con grandes expectativas teniendo en cuenta su entorno geológico y la presencia de petróleos más ligeros y bajos en azufre.

El área en estudio se encuentra en el mar en un tirante de agua que oscila entre 5 y 10 m... No existen pozos perforados el escenario geológico se fundamenta esencialmente en la extrapolación de los datos gravimétricos de las áreas terrestres aledañas.

El presente trabajo es el resultado de la interpretación integrada de los datos gravimétricos, magnéticos y 2056 Km. de líneas sísmicas de dos levantamientos realizados en el Golfo de Batabanó. En sentido general los resultados obtenidos por los levantamientos sísmicos confirman los resultados obtenidos por los campos potenciales

Los autores del presente trabajo consideran que estos elementos hablan a favor de un sistema petrolero inexplorado hasta el presente bajo nuestros macizos metamórficos. No se excluye la presencia de cuencas terciarias del tipo Vegas, La Broa en el área del Bloque VIII con potencial

ABSTRACT

The production of petroleum in Cuba began with the discovery of the Motembo field in 1881. All the important discoveries were made during the last 35 years and basically in the north coast of western Cuba.

Two oil provinces exist; the north one, that includes the thrust belt, and the southern one, located to the south of the folded belt, where the Gulf of Batabanó is included.

The north province is the most productive of both, and oil fields are mostly Jurassic. The south province is a poor producer, only in the central region in the small locations Cristales and Pina has been obtained production (lighter oil and without sulphur) of a relative importance that stimulates us to study this southern sector with big expectations keeping in mind its geologic environment.

The study area is located in the sea, where water depth oscillates between 5 and 10 m. There are not perforated wells in an area of 18000 km². Its geologic setting is based essentially on the extrapolation of the gravity data from the neighbourhood terrestrial areas.

The present work is the result of the integrated interpretation of the gravity and magnetic data and 2056 km of seismic lines in two regional surveys carried out in the Gulf of Batabanó. In general sense, seismic data matches with the results of the potential fields.

The authors of the present work consider that this element could talking about the presence of an oil system unexplored up to now, below the solid metamorphic rocks. Neither the presence of Tertiary basins of Vegas and La Broa type in the area of the block VIII.

:

Aunque la producción de petróleo se inició con el descubrimiento del yacimiento Motembo en el año 1881 todos los descubrimientos importantes fueron hechos durante los últimos 35 años y básicamente en la costa norte de Cuba occidental.

Existen dos provincias petroleras; la del norte que incluye el cinturón sobrecorrido y la sureña ubicada al sur del cinturón, ésta incluye varias cuencas Terciarias y del Cretácico Superior que sobreyacen las rocas volcánicas del Cretácico Inferior y éste a su vez posiblemente sobre un substrato sedimentario Jurásico. La provincia norte es la petrolífera por excelencia. La sur es aún pobre productora sólo en la región central en los pequeños yacimientos Cristales y Pina se ha obtenido algunas producciones de una relativa importancia que nos estimula a estudiar este sector sureño con grandes expectativas teniendo en cuenta su entorno geológico y además petroleos más ligeros y bajos en azufre.

GEOLOGIA DE SUPERFICIE

Esta área se encuentra en el mar con un tirante de agua que oscila entre 5 y 10 m y no existen pozos perforados. Su escenario geológico se fundamenta esencialmente en la extrapolación de las áreas terrestres aledañas según los datos gravimétricos y comprende un área de prospección sísmica de 17200 km².

La isla de la Juventud ubicada dentro del Golfo de Batabanó (antes Isla de Pinos) se encuentra al sur de los bloques terrestres 5 y 8 y en la misma afloran las secuencias de edad jurásica siguientes:

:

- Formación Isla de la Juventud representada por mármoles de edad Jurásico Superior Oxfordiano y Thitoniano
- Formación: Cañada esquitos metaterrígenos apolíticos, grafito, cuarzo micáceo etc.; cuarzomicáceo etc
- Por encima de estas rocas Jurásicas yacen las formaciones post-orogénicas Jaimanitas y Guanés.
- Las vulcanógenas del terreno Zaza de edad Cretácico Superior afloran al noroeste con poca extensión.
- Las rocas metamórficas en general forman parte del Sin-rift (muy estudiado en la provincia de Pinar del Río)

Y se estima que en el sector sur del, área deben yacer por debajo de las secuencias post-orogénicas o puede existir una continuación de sedimentos terciarios y de la parte inferior

del Cretácico Superior lo cual en ambos casos justificarían la extensión del mínimo gravimétrico regional de la Isla de la Juventud hacia el este.

En los Bloques IX y X debajo del post-orogénico deben aparecer las rocas del Arco Volcánico Cretácico coincidiendo sus posiciones mas altas con las anomalías gravimétricas positivas Guanabacoa y Batabanó con espesores sedimentarios muy pequeños. El mínimo gravimétrico La Broa nos confirma la extensión de la cuenca Vega (ubicada en el Bloque 8 terrestre); por lo que asumimos la presencia de sedimentos desde el Cretácico Superior hasta el Mioceno que actúen como reservorio y sellos similar al espesor del pozo Vegas 1 con 2373m de sedimentos de edad terciaria de las formaciones Nazareno, Capdevila, Madruga y de 377 m de la formación Vía Blanca de edad Cretácico Superior.

Se considera la existencia de rocas de edad J₁₋₂ del Sin-rift (1) especialmente en el Bloque VIII y de ocurrir la presencia de sedimentos de edad Cretácico -Terciario los primeros estarían metamorizados y con no perspectiva

La migración debe ser vertical a través de fallas desde el sin-rift (sino esta metamorizado) o del Cretácico Superior-Terciario. La generación sería del Paleoceno al Reciente. Existen volcanes de fango al sur del bloque VIII con gases de origen no biogénico en el lado norte de las islas o cayos nombrados Aguardiente, Campos, Matías, Avalos, Cantiles, Rosario, Rico y Los Majaes.

GRAVIMETRÍA

El cuadro general de los campos potenciales del sector considerado ofrece elementos de juicio interesantes para la búsqueda petrolera

En el año 1969 I.B. Sazhina con un grupo de especialistas cubanos, confeccionó un mapa a escala 1:500 000 de todo el territorio nacional, donde aparecen ya las principales anomalías gravitacionales regionales del Golfo de Batabanó y sectores aledaños.

La cuenca Los Palacios caracterizada por un mínimo Cubano, que se encuentra al norte (en el Bloque 5 terrestre) no tiene relación con el mínimo de la Isla de la Juventud el cual coincide con el afloramiento de las rocas metamórficas las cuales se extiende hacia el este dentro del territorio del Bloque VIII.

Los máximos Guanabacoa y Batabanó (95 y 98) con intensidades de 108 y 88mGal respectivamente, se destacan dentro de una región donde predominan los valores positivos del campo sobre 72 mGal. Debido a los volcánicos del Terreno Zaza

En el año 1996 se completa un mapa de las anomalías de Bouguer a escala 1:500 000 donde se incluyen las mediciones existentes de los levantamientos en las aguas profundas (J.L. Prol). Transformo posteriormente el mapa utilizando un filtro con dos radios: el interior de 15Km que excluye las altas frecuencias y el exterior, 30Km, que atenúa las bajas frecuencias. De esta manera se obtuvo el cuadro que se presenta en la fig.1.

Notemos que los Máximos Guanabacoa y Batabanó se unen en una zona perfectamente definida. El mínimo de la Isla de la Juventud se extiende hacia el este; en tanto que un mínimo de 5 mGal aparece en la Ensenada de la Broa.

Recientemente (J.L. Prol y otros) transformaron el mapa a escala 1:250 000 de anomalías en Reducción de Bouguer, según el método de Saxon -Nygar. En el mapa resultante el máximo Guanabacoa se dispone en dirección este-oeste en su parte occidental y noroeste-sureste su parte oriental coincidiendo con el máximo magnético que existe en ese lugar. En

dicho mapa la Ensenada de La Broa se manifiesta fundamentalmente como un mínimo gravitacional

Magnetometría.

El campo magnético del área en su parte noroccidental es ruidoso con valores de hasta 8 Milioersteds coincidiendo con altos valores esperados de un ambiente asociado a los volcánicos del terreno Zaza; sin embargo los valores magnéticos de los bloques IX y VIII son mucho mas bajos, no sobrepasando los valores de 4 Milioersteds, lo cual es atractivo.

SISMICA

En el área se han realizado dos levantamientos sísmico:

- **CUPET(1990)** realizó 1 campañas sísmicas que comprenden **1587.95 Km.** de sísmica 2D. Según una red irregular de 39 líneas con un recubrimiento de 2400%; fuente no explosiva ;.
- **Compañía HORIZON (1982)** realizó un volumen de **467.715 Km.** con recubrimiento 2400% ,
- **Total de Km.**(de sísmica 2D) realizados en los bloques (VIII, IX y X) incluidos en esta área fue de, **2055.66 Km.**
- **Procesamiento : CUPET , 1997.Corte final**
Migración después de suma.
HORIZON (1982) Migración antes de la suma.

Los resultados obtenidos por la sísmicas son de un estadio de reconocimiento. Pero en sentido general de acuerdo con estos resultados el área esta dividida en dos zonas deprimidas por debajo de los depósitos post- orógenicos; separadas por un alto que se extiende casi en el centro del área ,éste se asocia al levantamiento de las rocas del Arco Volcánico Cretácico coincidiendo su extensión con los resultados de los campos potenciales

El análisis de las líneas sísmicas en su conjunto nos permitió la identificación de dos discordancias que delimitan tres secuencias que se siguen por toda el área y define la diferenciación entre las cuencas y los objetivos asociadas

Los autores del presente trabajo consideran que este elemento habla a favor de un sistema petrolero inexplorado hasta el presente bajo nuestros macizos metamórficos. Tampoco se excluye la presencia de cuencas Terciarias tipo Vegas-La Broa en el área del bloque VIII, con potencial gasopetrolífero.

Consideraciones:

- El campo gravitacional de la zona presenta regionalmente valores elevados en el norte-centro similares a los de otras regiones de Cuba ,tales como Cabaiguan ,Gaspar ,Jobabo , donde afloran rocas del arco volcánico o de la corteza oceánica, pero el área de la Broa, dentro de la Isla de la Juventud y hacia el este son áreas de mínimos
- La existencia de manifestaciones de petróleo al este en la Ciénaga de Zapata (Pozo Cencan 1960) y en la villa de Jagüey Grande , es un factor que incrementa la potencialidad petrolera, tienen especial interés los mínimos donde puedan existir espesores considerables de sedimentos; tal es el caso de la Ensenada de la Broa.
- El máximo Guanabacoa responde a un cuerpo enorme de rocas pertenecientes al Arco Volcánico Cretácico.

- El campo gravitacional en la Isla de la Juventud se comporta como un mínimo. No se excluye la posibilidad de que en el mínimo contribuyan espesores sedimentarios que yazgan por debajo de las metamorfitas. En ese sentido resulta notable el hecho de que el campo magnético en ese lugar adopta también valores mínimos en el plano regional. Considerando que desde Punta del Este, hasta Cayo Largo del Sur se reportan manifestaciones de gas alineados oeste-este a lo largo de la cayería (Pierre Buticaz 1953), la presencia de sedimentos generadores bajo las metamorfitas es perspectivamente posible. Según investigaciones recientes del IPF se ha comprobado el carácter generador de hidrocarburos de las rocas pertenecientes al denominado sin-rift en la provincia de Pinar del Río
- Los autores del presente trabajo consideran que estos elementos hablan a favor de posible sistema petrolero inexplorado hasta el presente bajo nuestros macizos metamórficos. También no se excluye la presencia de cuencas Terciarias tipo Vegas, La Broa y área del bloque VIII con potencial gasopetrolífero
- Los resultados de los levantamientos sísmico corroboran estas hipótesis. Estos son de un estadio de reconocimiento. Pero en sentido general de acuerdo con los resultados obtenidos el área esta dividida en dos zonas deprimidas por debajo de los depósitos post orogénicos; separadas por un alto que se extiende casi en el centro del área, éste se asocia al levantamiento de las rocas del arco volcánico Cretácico coincidiendo su extensión con los resultados de los campos potenciales

BIBLIOGRAFÍA:

- 1) Gaurnet-Revaluation of potencial of HC of NW Cuba. IFP-Cupet-CGG (2 tomos 2003)
- (2) Pierre Buticaz 1952 Geology of the Zapata Peninsula and their surroundings inventario 964 ONRM



MS&GM: MODELO UNIFICADO SISMICO-GRAVIMAGNETICO PARA LA FRANJA NORTE DE CRUDOS PESADOS

Julio Ernesto Gómez Herrera ⁽¹⁾, **Roberto Otero Marrero** ⁽¹⁾, **Osvaldo Rodríguez** ⁽¹⁾

⁽¹⁾Centro de Investigación y Desarrollo del Petróleo. Washington 169, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba,
E-mail: juliog@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

En la última década han mejorado significativamente la imagen en profundidad de las cuencas gasopetrolíferas, gracias al uso de las nuevas tecnologías de adquisición. Sin embargo, esta debe de ser adecuada y válido el modelo velocidad – profundidad. En caso contrario tendremos graves problemas con la eficiencia de los métodos de interpretación.

Combinando toda la información, pozos, mapeo geológico, sísmica, campos potenciales y la utilización de la modelación estocástica podemos describir la incertidumbre de la imagen en profundidad. Aplicamos las técnicas de simulación para relacionar dependencias parciales, considerando las variables geológicas como atributos aleatorios. Evaluamos en una ecuación las condiciones de frontera para los atributos y seguidamente creamos mapas de las estimaciones de las probabilidades de los parámetros. Esta metodología es una alternativa para completar la imagen en profundidad cuando no se cuenta con un recubrimiento sísmico aceptable o completo y si la información de los campos potenciales.

El área de estudio posee un área aproximada de 1900 Km. ², localizada en la región Norte-Oriental de la provincia de La Habana y la Norte – Occidental de la provincia de Matanzas, ubicado en el Cinturón de Crudos Pesados de Cuba. Está caracterizado por un tectonismo de tipo alpino, con intensos procesos de sobrecorrimientos de edad Jurásico Superior – Eoceno Medio, responsables de la existencia de yacimientos de hidrocarburos. Los principales reservorios están relacionados a las Unidades Tectonoestratigráficas de Placetas y Camajuaní (carbonatos fracturadas) y otros reservorios denominados someros se presentan en el Terreno Zaza (ofiolitas fracturadas y rocas vulcanógenas sedimentarias de edad Cretácica) y unidades asociadas a este.

ABSTRACT

The successful application and significant progress in depth imaging of complex hydrocarbon basins has been achieved in the last decade. The progress was possible first of all due to the use of 3D multi channel data acquisition technologies and depth migration. The performance of 3D technology provided seismic data mainly depends of the validity of the velocity – depth model (V&D), the logic and valid geological model. This is a particular task that requires deep knowledge of basin's features. For the upgrade the structural parameter we were used the complementary data such as geological mapping, borehole data and seismic information and the stochastic simulation



techniques for describing uncertainty in the forms distribution of possible values which the uncertain parameter such as depth structural image.

The study area is located in the northern Havana and northwest Matanzas provinces about 1900 km². The area is characterized by an alpine tectonic style with intense overthrusting (involving sections from the Upper Jurassic to Middle Eocene). Overthrusting events had a decisive influence on hydrocarbon maturation, generation and migration and also the formation of reservoir, traps and seals.

The main reservoir rocks related to the discovered oilfields in the continental margin are referred to the Placetes and Camajuaní tectonostratigraphic unit (fractured carbonates of Upper Jurassic – Cretaceous age). Further reservoir rocks are also present in the Zaza Terrane in fractured ophiolites (mainly gabbros and serpentinites) and volcanic rocks (basalts).

INTRODUCCIÓN.

El desarrollo impresionante desarrollo alcanzado en la última década por los métodos de adquisición y procesamiento de la información sísmica han mejorado significativamente la imagen en profundidad de las cuencas gasopetrolíferas. Sin embargo, para que exista un buen desempeño de estas poderosas tecnologías, están todavía limitadas por muchas dificultades. Es imprescindible de que el área de estudio además de contar una adquisición sísmica y densidad adecuada, posea un modelo aceptable de los parámetros que definen el modelo velocidad – profundidad (V&P) (Sydykov K., 2000) y que exista un consecuente y lógico conocimiento de la cuenca o área de estudio.

En este momento nuestra área de estudio posee poca resolución o información de los parámetros anteriores, por lo que tenemos graves problemas con la eficiencia de los métodos de interpretación.

Por desgracia no siempre es posible la adquisición o mejoramiento de los parámetros geofísicos, por su alto costo, falta de disponibilidad de recursos o simplemente porque no podemos. En este trabajo presentamos una alternativa para resolver esta problemática, con la utilización combinada de otros parámetros geofísicos como son los campos potenciales, sean la gravimetría y la magnetometría y la información de pozos y los levantamientos geológicos de superficie.

Desarrollaremos esta metodología en el área que está relacionada con la Franja Norte Cubana de crudos Pesados en el Bloque 7 comprendido en la Región Gasopetrolífera Habana – Matanzas (Figura 1), caracterizada por el amplio desarrollo de los mantos tectónicos del Terreno Zaza que la cubren prácticamente en su totalidad. Evaluaremos objetivos en ambientes someros (no mayores de 1500 m. de profundidad) relacionadas con la secuencia ofiolítica y/o secuencias ligadas a ella. Estos objetivos se caracterizan por presentar grandes débitos de hidrocarburo en su etapa inicial lo que por su poca profundidad y la calidad del hidrocarburo entrampado se hace rentables.

El campo gravimétrico de las anomalías de Bouguer de Cuba, de norte a sur, presenta una zona de máximos mayores de 40 mGal, cuyo origen se atribuye al ascenso de secuencias carbonatadas más densas del Jurásico y Cretácico Superior, una zona de mínimo general al sur de la anterior, que coincide en la superficie con el límite septentrional del Terreno Zaza y por último una zona de máximos al sur de la anterior, cuyo origen se asocia al acercamiento a la superficie de las secuencias del arco volcánico Terreno Zaza subyacentes a los depósitos sinorogénicos, flyschoides y olistostrómicos del Cretácico Superior Tardío y Paleógeno



Temprano, La complejidad y heterogeneidad que presenta la asociación ofiolítica y la morfología impredecible de los cuerpos rocosos que la conforman, hace que la resolución de la tarea inversa en la gravimetría sea muy difícil. Esta macro mezcla de rocas de diferente densidad del arco volcánico y sus cuencas asociadas, hacen bastante variable el campo gravimétrico aunque si responde por lo general a la posición estructural de estas secuencias. Estas zonas se caracterizan por una gran variabilidad vertical y horizontal de la densidad a la profundidad de estudio, que produce campos residuales detectables.

Los estudios aeromagnetométricos revelaron la presencia de un campo con gradientes suaves en la franja norteña de Cuba, entre 0-300 nT. Inmediatamente al sur de esta zona se detecta una región de mínimos regionales asociados a la presencia de las rocas del complejo vulcanógeno en la superficie o próximo a este. Los intensos procesos tectónico-metamórficos que afectan la asociación ofiolítica hacen que a medida que se acercan a la superficie aumenten los procesos metamórficos que van conformando minerales altamente magnéticos que explican por qué en las zonas de afloramiento de las secuencias ofiolíticas aparezcan valores intensos magnéticos. Al quedar enterradas bajo las secuencias terciarias, estas disminuyen drásticamente su influencia en el campo magnético medido en superficie. Consecuente con todo lo anterior vemos que de forma indirecta podemos obtener información del parámetro de profundidad de la secuencia ofiolítica.

El problema fundamental de la transformación de las anomalías de la gravedad es la determinación de los parámetros óptimos de la transformación, con los cuales se asegura la más completa separación de las anomalías de los objetos de interés para resolver el problema geológico considerado. La elección de los parámetros óptimos se basa en el conjunto de conocimientos de los objetos anómalos: forma, dimensiones, profundidad a que yacen, etc.

Las anomalías de la gravedad pueden considerarse funciones aleatorias estacionarias, puesto que sus realizaciones concretas oscilan constantemente alrededor de la función media, y la amplitud y nitidez de estas oscilaciones son, constantes a lo largo de todo el tramo de la anomalía.

Mediante la modelación estocástica y geoestadística podemos combinar y describir la incertidumbre de los parámetros de profundidad y densidad enunciados. En nuestro caso, aplicamos las técnicas de simulación para relacionar dependencias parciales, considerando las variables geofísicas y geológicas como atributos aleatorios. Determinamos sus frecuencias de distribución y evaluamos en una ecuación las condiciones de frontera para los atributos involucrados. Seguidamente creamos mapas estimando los valores mas probables de profundidad espacialmente.

MATERIALES Y MÉTODOS.

La información de la geología de superficie se tomó del mapa geológico zonal (Linares, 2003) (Figura 2), elaborado en los Bloques de Licitación Petrolera de la Región Habana – Matanzas en escala 1: 100000, su antecedente es el mapa geológico de la República de Cuba a escala 1: 1000000 (Figura 1), que mostró la distribución regional de los diferentes Conjuntos tectónicos que corresponden a diferentes regimenes paleotectónicos ocurridos en las etapas mas importantes del desarrollo geológico del Cinturón Plegado y sobrecorrido Cubano, como son la del Synrift, Márgenes Continental de arcos volcánicos y cuencas superpuestas.

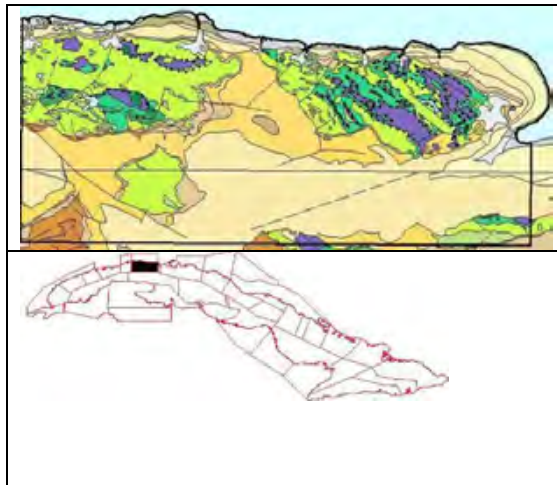


Figura 1. Área de estudio, su posición con respecto a Cuba y mapa geológico 1: 100000

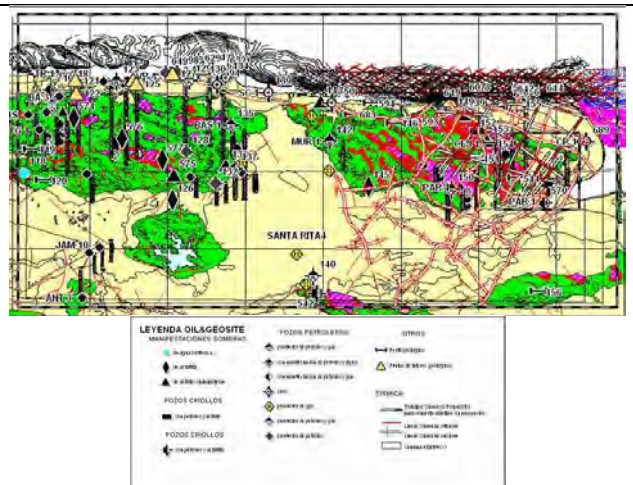


Figura 2. Mapa geológico zonal 1: 100000 e información general

La información de los pozos de petróleo que pudieran aportar alguna información para la cartografía de nuestro objetivo se requirió de la información recopilada en el Sistema de manejo de Bases de Datos INFOPET.GIS (Gómez, 1998). Además se recopiló información de exploración (Otero, 2002) sobre la interpretación de los objetivos petroleros del área y la interpretación estructural de los perfiles sísmicos y los campos potenciales gravimétricos y aeromagnéticos.

Discutiremos una nueva dimensión del análisis del riesgo en la exploración petrolera llamada simulación. Este concepto permite al analista la opción de describir la incertidumbre en forma de distribución de posibles valores o parámetros como pueden ser la entrada de dinero, espesores de capa, costo de perforación, profundidad etc. Ellas son entonces combinadas y producen una distribución las cuales poseen una probabilidad de ocurrencia dada. Considerando esto, una distribución es una etapa final del cálculo del valor de un parámetro esperado para utilizarse en el proceso de decisión.

El método de Simulación utilizado es la de Monte Carlo o Método de Monte Carlo (Newendorp, 1979). La expresión cuantitativa de incertidumbre esta dada por una distribución de posibles valores de la variable aleatoria X, Y y Z. (posición geográfica, profundidad y densidad).

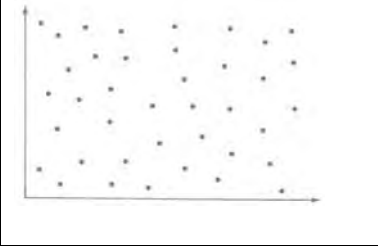
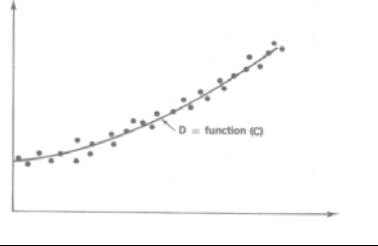
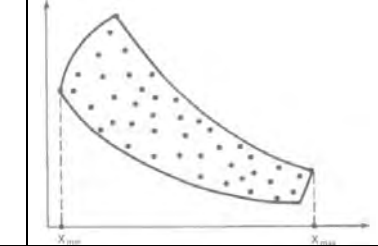
Hemos definido esencialmente todos los mecanismos de análisis de simulación, excepto lo que concierne a la dependencia. Mencionaremos que las variables aleatorias que afectan nuestro análisis pueden, y de hecho están, relacionadas unas con otras. Si existe un caso así, necesitamos establecer un muestreo de la distribución de la variable aleatoria de una manera en la cual se haga clara y respete la dependencia.

Existen varias mediciones estadísticas de correlación la cual puede ser utilizada para asegurarse si dos o más variables son dependientes unas a otras.

Para ello ploteamos los atributos y podemos encontrarnos con estos tres casos extremos.

1. no existe relación alguna entre los atributos por lo tanto son ellas, variables independientes (Figura 3)
2. completamente dependientes (Figura 4)
3. existe una dependencia parcial entre X y Y) (Figura 5)



		
Figura 3. No existe relación alguna entre los atributos por lo tanto son ellas, variables independientes	Figura 4. Los atributos son variables independientes	Figura 5. Existe una dependencia parcial entre variables

Los dos primeros casos son perfectamente resueltos por los métodos convencionales que conocemos hasta ahora pero ya en el tercer caso debemos de aplicar determinada metodología que es la esencia de nuestro caso de estudio.

Debemos de efectuar la preparación de datos para justificar la dependencia parcial entre las variables aleatorias en el análisis de simulación.

1. Preparamos el ploteo cruzado de los datos numéricos X - Y
2. Dibujamos una frontera o envolvente al conjunto de puntos de datos observados. Esta frontera define el límite dentro de la variación posible de X - Y. Cualquier otra combinación de X y Y fuera de la frontera será excluida y considerada como una probabilidad cero de ocurrencia.
3. Determinamos la variación de Y dentro de la frontera como una función de X y definimos una distribución normalizada de Y la cual representa la variación observada. El límite de esta distribución normalizada es 0.0 y 1.0, donde 0.0 corresponde al valor mínimo posible de Y para un valor de X dado y 1.0 corresponde al máximo valor posible de Y para un valor de X. La distribución adimensional y normalizada es dada por el símbolo YNORM en su eje de variable aleatoria.
4. La entrada para el modelo de simulación es:
 - a. la distribución de frecuencia acumulativa de X.
 - b. La frecuencia acumulativa de la distribución Y normalizada YNORM.

Aplicamos La siguiente ecuación usada para calcular el valor de Y para cada paso (Tabla I)

$$Y = Y_{minX} + (Y_{maxX} - Y_{minX}) * (Y_{norm})$$

Donde:

- YminX = Mínimo valor posible de Y, dado un valor muestreado de X.
YmaxX = Máximo valor posible de Y, dado un valor muestreado de X.
Ynorm = Valor de la distribución de Y, normalizado y no dimensionado muestreado en cada paso.
Y = Valor calculado de la variable aleatoria Y usada en el paso.



Tabla I: Secuencia de pasos conceptuales para la resolución de las variables aleatorias con dependencia parcial	
PASO1: Muestreo de la distribución de frecuencia acumulativa de la variable aleatoria X y la variable normalizada YNORM de la manera usual	<p>YminX = Mínimo valor Y, dado X. YmaxX = Máximo valor Y, dado X. Ynorm = Valor de la Y normalizado</p>
PASO2: Uso de los valores muestreados (X1) ubicado en el mismo valor de la abscisa del ploteo cruzado, empleando los valores numéricos de YMIN y YMAX en la intersección de la ordenada y la frontera inferior y superior.	
PASO3: Solución de la ecuación por los valores de Y. Para este paso los valores que usamos son los valores generados de X1 del primer paso y los valores de Y calculados en esta paso.	

DISCUSIÓN.

La información cualitativa y cuantitativa puede obtenerse de las consideraciones geológicas generales, de los datos procedentes de otros métodos, como por ejemplo la información dada por los pozos petroleros, mapeo geológico y análisis del propio campo gravitatorio y la información sísmica. Es natural que cuantos más datos se disponga de las masas anómalas, con mayor fundamento se podrán elegir los parámetros óptimos de la transformación.

Contamos con la información de 70 pozos perforados (wildcat) en nuestra área de estudio, donde todos llegaron a cortar la asociación ofiolítica. Provenientes del mapa geológico 2396 puntos consecuentes del levantamiento geológico de superficie, 954 puntos productos de la interpretación de los objetivos petroleros en profundidad y 9401 puntos de la información en profundidad de la sísmica.

Después de una correspondiente validación de la información e eliminación de la información ruidosa se contó con una cantidad de 7438 puntos con la información correspondiente a el tope de la asociación ofiolítica, valores del residual gravimétrico de radio 1500m.. Figura 6.

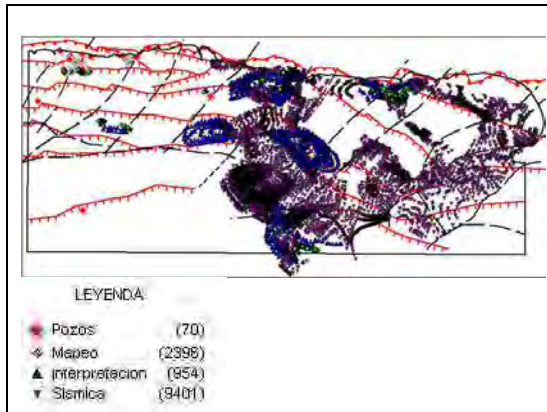


Figura 6. Localización espacial de los puntos a investigar. En la leyenda se especifica la cantidad y tipo

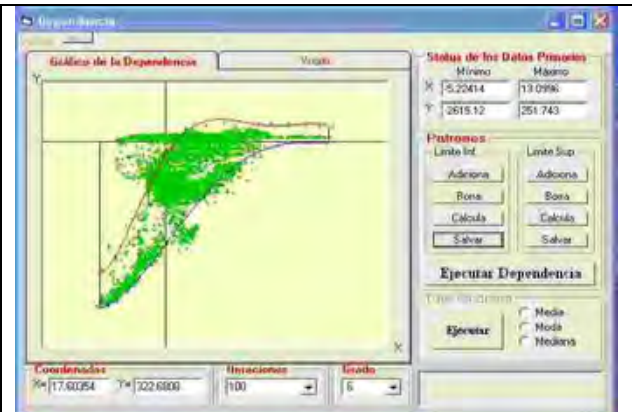


Figura 7. Localización espacial de los puntos a investigar. En la leyenda se especifica la cantidad y tipo

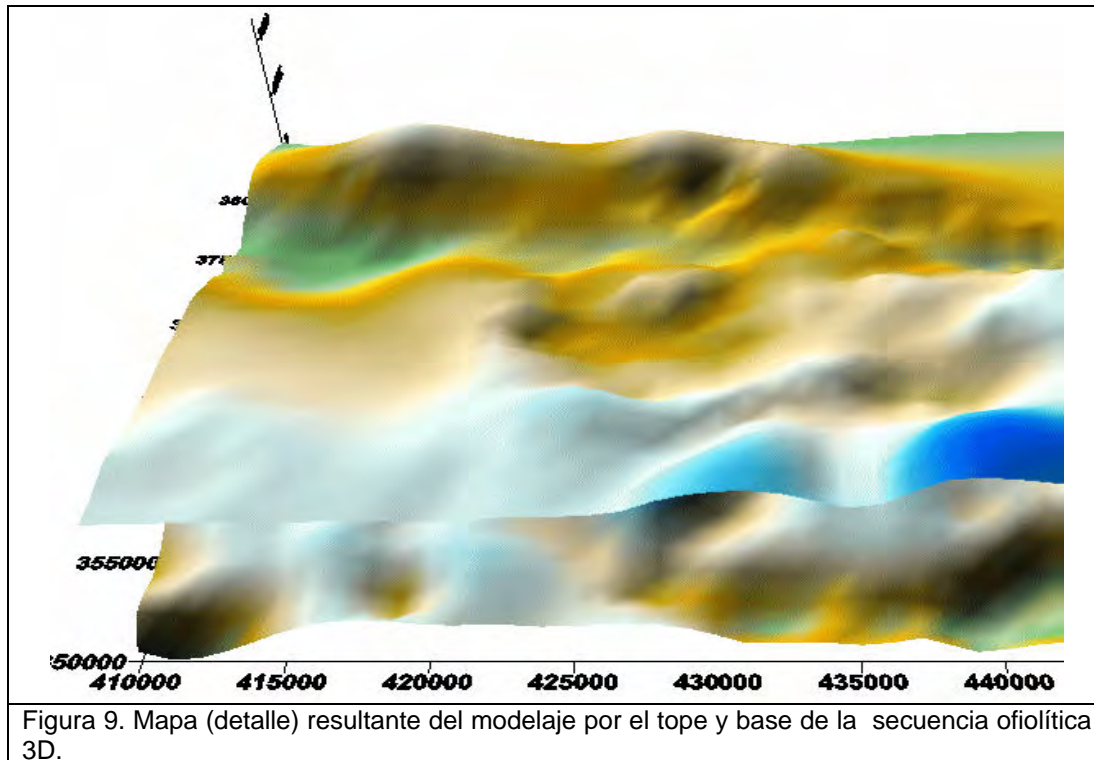
La información estadística estimada en la Tabla II, nos corrobora las observaciones enunciadas anteriormente en la introducción sobre el comportamiento de los campos potenciales y verificamos que existe una correlación parcial entre los atributos. (Tabla III).

Tabla II. Descripción estadística de los atributos					
VARIABLES	NUMERO	MEDIA	MINIMO	MAXIMO	DESV. STD
TOPE OFIOLITA	7348	-439.248	-2615.12	251.7430	655.0898
RESIDUAL GRAV. 3 (1500M)	7348	1.990	-5.22	13.0996	2.4931
AEROMAGNETOMETRÍA	7348	19.86	-262.68	346.251	92.367
AEROMAGNETOMETRÍA (rtp)	7348	51.306	-188.50	751.8110	109.7195

Tabla III. Descripción de la correlación de los atributos				
VARIABLES	TOPE OFIOL	RES. 1500	MAG	MAG (RPT)
TOPE OFIOLITA	1.0	0.71	0.39	0.42
RESIDUAL GRAV. (1500M)	0.71	1.0	0.12	0.36
AEROMAGNETOMETRÍA	0.39	0.12	1.0	0.79
AEROMAGNETOMETRÍA (RTP)	0.42	0.36	0.79	1.0

Nuestros atributos fundamentales lo constituyen el tope de la ofiolita (variable dependiente eje Y) y el campo residual (variable independiente eje X), que aparecen ploteados en la Figura 7, expresando una dependencia de correlación parcial mediante la modelación de Monte Carlo. Mediante un software desarrollado al efecto determinamos las fronteras y realizamos la modelación de los datos mediante la metodología expresada Figura 7.

El análisis de simulación con los 7438 puntos informativos podemos considerarlos como información "patrón" o sea es la que determina las leyes de la correlación parcial. A partir de información patrón procedemos a evaluar cada valor de los residuales gravimétricos e inferimos la **profundidad mas probable** de la secuencia ofiolítica en nuestra área de estudio. Con los resultados de la modelación generamos un mapa por el tope y base de la secuencia ofiolítica Figura 8.



En la figura podemos observar la tendencia general de esta secuencia, restando solo una acomodación de la información estructural (fallas, sobrecorrimientos) con lo que se conformaría un informativo mapa estructural.

CONCLUSIONES.

Consideramos que esta metodología es muy interesante y de múltiples aplicaciones en nuestra especialidad de la exploración gasopetrolífera.

Producto de la insuficiente cobertura informática de nuestras áreas podemos de una manera más razonable completar una información utilizando de manera indirecta otro atributo que sea parcialmente correlacionable, en nuestro ejemplo, la profundidad del tope de la ofiolita y el residual gravimétrico de radio 1500 m. O sea expresamos la incertidumbre de un atributo como un rango y distribución probabilística y podemos catalogarla como una variante probabilística de la tarea directa de la gravimetría.

Por último queremos dejar claro que esta metodología constituye una alternativa ante la falta de información pero no un sustituto para determinar la imagen en profundidad del objetivo estudiado mediante la sísmica protegida por una buena adquisición y modelo velocidad – profundidad.

BIBLIOGRAFIA.

- Gómez J., et. al., 1994. Pronóstico gasopetrolífero en la asociación ofiolítica cubana aplicando modelación matemática, Geofísica Internacional Vol. 33, México
Gómez J., et, al 1998 INFOPET.GIS Metodología para el establecimiento de una aplicación GIS de carácter General Proyecto Nacional escala 1: 250000, Archivo CEINPET



- Linares E, et al. 2004 Mapa de los Dominios paleogeográficos, conjuntos petrotectónicos y cubierta del neoa autóctono de la República de Cuba con fines petroleros, GEOMIN 2005
- Newendorp P.D., 1976. Decision Analysis for Petroleum Exploration. PennWell Books, Tulsa, Oklahoma. USA. ISBN 0-87814-064-6
- Otero R, et, al., 2002 Caracterización del Territorio comprendido por el Bloque 7, según su grado de perspectiva a escala 1: 50000 y estudio detallado de las áreas perspectivas a escala 1: 25000, Archivo CEINPET
- Sydykov K., et. al. 2000. Joint use of gravity, seismic data. OGJ, August 28, 2000, pag. 28-34

INTEGRACION DE LOS METODOS GEOQUIMICOS Y GEOFISICOS DE POZO PARA LA REVELACION Y ESTUDIO DE LOS RESERVORIOS

Juan Manuel Panfet Valdes

Ministry of Mines and Energy of Namibia

La utilización de estos métodos eleva el grado de acierto en el fluido esperado y por tanto disminuir los costos de los trabajos en la exploración-producción durante la perforación de pozos para petróleo y gas.

Está en correspondencia con la importancia que la actividad de búsqueda y prospección de yacimientos gasopetrolíferos adquiere dentro del Sistema Petrolero tanto para Cuba como para Namibia.

Este trabajo presenta las siguientes Novedades Científicas:

- Se introduce por primera vez en la práctica en Cuba con resultados satisfactorios metodologías de interpretación para los métodos Geoquímicas y Geofísicos de Pozo que científicamente han sido probadas a nivel internacional por diferentes compañías. Durante el año 2004 se introdujo de igual forma con resultados satisfactorios en Namibia utilizando los datos obtenidos en un pozo perforado costa afuera.
- Se confecciona por primera vez en Cuba un programa para la evaluación de los reservorios a través de los métodos Geoquímicas de Pozo.
- Se clasifican los reservorios según el fluido que los satura.

ATRIBUTOS SÍSMICOS DE ESCALA, REGULARIDAD, DIRECCIÓN E IMPEDANCIA ACÚSTICA USANDO MATCHING PURSUIT Y CWT

Gerardo Ronquillo J. (1), Nikolai Kousoub (2)

(1) Instituto Politécnico Nacional, México

(2) Compañía Deco Geophysical, Rusia

Se reportan resultados de atributos sísmicos obtenidos con el software desarrollado de Análisis de datos sísmicos de reflexión con base en Matching Pursuit (MP) y la Transformada de Ondícula Continua (CWT). El software fue diseñado en dos direcciones, para la selección del átomo base (prototipo) en el diccionario: (a) ondícula básica analítica sobre derivadas de segundo orden (o más) de la función de probabilidad Gaussiana (no se adapta al diccionario), y (b) selección del prototipo de la sección sísmica misma (se adapta al diccionario). Se presentan las bases del método y aplicaciones prácticas en datos sintéticos y reales. Así como el proceso de inversión sísmica usando CWT, posterior al procesado por MP en la estimación de la Impedancia Acústica y Reflectividad. Se presentan dos casos de aplicación integrada Figura 1, como indicadores de hidrocarburos y en la caracterización de yacimientos tanto en arenas como en carbonatos con excelentes resultados. Así como también las primeras relaciones de escalas de datos de registros de pozos y mediciones de laboratorio usando CWT.

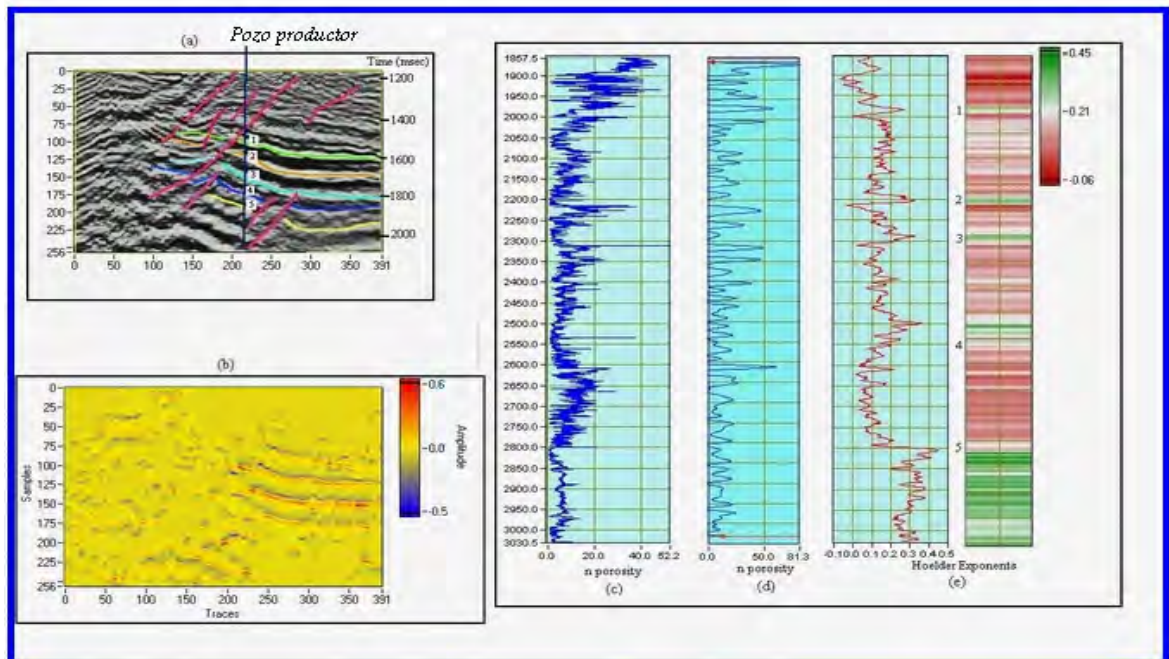


Figura 1. Integración en la delimitación y caracterización del yacimiento: (a) interpretación sísmica de los horizontes de interés (cimas): 1- Cretácico Superior (BTPKS), 2- Cretácico Medio (KM), 3 Cretácico Inferior (KI), 4 Jurásico Superior (Titoniano), 5 Jurásico Superior (Kimeridgian), fallas geológicas; (b) Impedancia Acústica usando CWT, (c) registro de porosidad, (d) análisis multiescala y (e) estimación de los exponentes de Hölder.



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE ROCA E INTERVALOS DE FLUJO EN EL CAMPO MARA ESTE. CUENCA DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA

Manuel Rosales (1), José Matheus(2)

Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela

Los Yacimientos del Campo Mara Este están ubicados a 50 kilómetros al Noroeste de la ciudad de Maracaibo, entre sus formaciones productoras se encuentran las pertenecientes al Grupo Cogollo caracterizadas por yacimientos naturalmente fracturados.

La producción de hidrocarburo del campo, depende del tamaño de las fracturas que atraviesan el pozo y de las distancias a la que estas se extienden dentro de la formación. Se plantea la necesidad de mejorar las técnicas de descripción del yacimiento, para reducir las incertidumbres y maximizar la explotación de Hidrocarburos.

Se realizó un inventario de la información disponible (registro de pozos, archivos de pozos, análisis de núcleo, etc) en los pozos DM – 152, DM – 134 y DM – 004, y se procedió a elaborar una base de datos. La caracterización del tipo de roca se realizó a partir de las pruebas de presión capilar por inyección de mercurio, las cuales permitieron determinar los perfiles de garganta poral para cada petrofacies y el radio de garganta de poro, además se caracterizaron unidades de flujo a partir de los diagramas de Lorenz.

Con este estudio se identificaron y caracterizaron cinco tipos de rocas: megaporosa, macroporosa, mesoporosa microporosa y nanoporosa, siendo el radio de garganta de poro predominante el Pittman R15 ajustado.

Estas petrofacies fueron relacionadas con las zonas de flujo, índices de heterogeneidad y características litológicas observadas en los núcleos, encontrando como Zonas de Flujo más prospectivas la zona 3 y 2 (DM – 152), 4 y 1 (DM – 134). Núcleos constituidos básicamente por calizas duras, compactas y a nivel petrográfico porosidades por disolución y móldicas; también secundarias como fracturas y estilolitas; las cuales se desarrollaron básicamente por procesos derivados de ambientes diagenéticos superficiales o con soterramientos someros.

Palabras claves: petrofísica, sedimentología, unidades de flujo.



SOBRE LA METODOLOGÍA PARA UN MAPA UNIFICADO TIERRA-MAR DEL ÁREA VARADERO

José L Prol Betancourt, Maria C Rifá Hernández

Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET)
Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba.
Email: prol@digicupet.cu

RESUMEN.

Toda la franja adyacente a la costa, ya sea en tierra como en el mar, desde Mariel hasta Varadero, constituye una región con amplias potencialidades para el hallazgo de nuevos yacimientos. La región llama la atención de los investigadores, quienes solicitan la ejecución de levantamientos gravimétricos cada vez más precisos. Sus cambios hipsométricos imponen diferentes metodologías y correcciones, lo que impide llevar los mapas de Anomalías en Reducción Bouguer a un nivel común. La presente investigación ha resuelto, de forma concluyente, en el área este problema. Se obtuvo un mapa de anomalías en reducción Bouguer unificado, que ofrece una visión global sobre las anomalías locales.

ABSTRACT

The belt close to the north coast, on land or onshore, from Mariel to Varadero is a region with while possibilities for finding new oil fields. So the area calls the attention of the specialists who solicit surveys more and more accurate. Its topographical changes require different methodologies and corrections, which are obstacles for reducing the information at a common level. The research has solved this problem conclusively for the area. It was obtained a unified map in Bouguer Reduction which offers a global view about local anomalies.

INTRODUCCIÓN.

Unificar los mapas marino y terrestre constituye un proceso que va más allá de un simple enlace de isolíneas. El asunto tiene que ser resuelto después de reexaminar los fundamentos teóricos en que se basan las correcciones a los datos gravimétricos. La ubicación de la Franja Norte de Crudos Pesados precisamente en el lugar donde se unen levantamientos metodológicamente diferentes condiciona la urgencia de encontrar una solución a este problema. Por ese motivo los autores han creado una metodología para lograr el enlace coherente de los mapas gravimétricos terrestres y aquellos correspondientes a aguas profundas; y la han aplicado al sector de Varadero para demostrar su validez. Los autores muestran la ubicación de anomalías interesantes posiblemente relacionadas con elevaciones del grupo Veloz.

DESARROLLO.

Para la realización de este trabajo se utilizó la información disponible en nuestra base de datos que incluye mediciones gravimétricas de a bordo; las que fueron realizadas en años diferentes. Los datos disponibles estaban corregidos atendiendo a los diferentes factores que influyen cuando se realiza este tipo de levantamiento. Después de analizar cuidadosamente los informes que avalan estas mediciones los autores de este trabajo establecieron diferentes criterios:

- Las mediciones no fueron enlazadas al nivel nacional



- Los valores de anomalía en reducción Bouguer presentan correlación con el relieve del fondo marino, lo que parece indicar que no ha sido excluido este efecto.
- La fórmula que se utiliza no es la internacional de Cassini que es la que normalmente se utiliza en Cuba

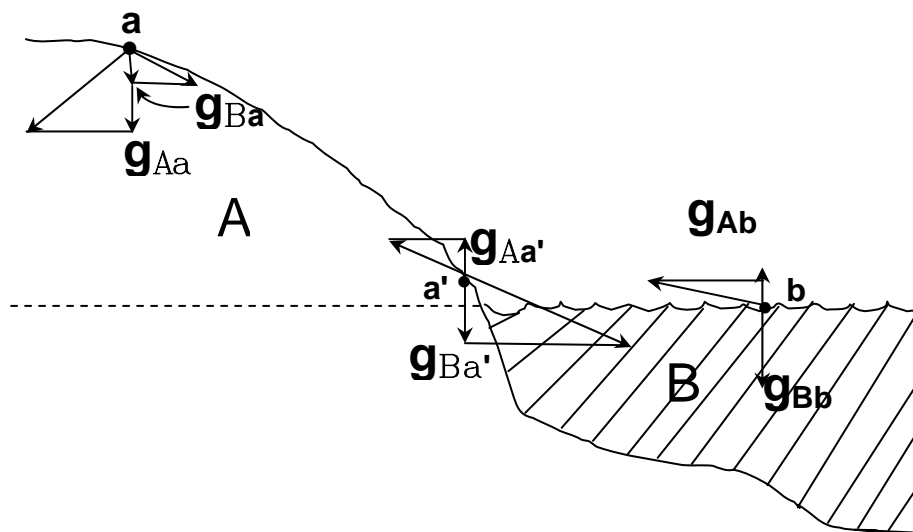
En cuanto al levantamiento terrestre se utilizó el informe gravimagnetométrico realizado en el año 1973 por la Dirección General de Geología y Geofísica en las zonas de Camarioca – San Adrián. Las mediciones fueron enlazadas a la Red Nacional de 1969, la corrección por latitud se basa en la fórmula internacional de Cassini, no puede dejar de mencionarse el levantamiento a escala 1:25 000 de la región Cantel- Camarioca. Esta investigación se diseñó con el fin de estudiar detalladamente las anomalías que generan estructuras similares a las de Varadero y Cantel.

La forma tradicional de efectuar la corrección de relieve consiste en eliminar el efecto gravitacional de las rocas que se encuentran entre la estación y el nivel del mar, si se trata de un punto sobre el terreno; o en levantamientos de a bordo, eliminar la masa de agua y sustituirla por el mismo volumen de roca con una densidad dada. Tanto en un caso como en otro las masas se asumen como contenidas en una capa homogénea e infinita. Esta restricción impone una nueva corrección conocida como “de relieve” o topográfica”. Esta última es, por consiguiente, una corrección a otra corrección. Los autores del presente trabajo han concebido la corrección a los valores de gravedad de una manera novedosa, que evade los pasos anteriores, y los sustituye por uno solo.

Sean las masas ubicadas sobre el nivel medio representadas por la letra “A”, en tanto la letra “B” expresa las masas cuya densidad es la resta entre la densidad de A y la densidad del agua del mar (1.03g/cm^3) (Fig.-1). Tanto A como B ejercen su influencia sobre cualquier punto, ya sea sobre la superficie del terreno, como sobre la superficie del mar. El efecto gravitacional de A sobre cualquier punto ubicado sobre la superficie terrestre, puede aumentar o disminuir el valor de la gravedad, en dependencia de la ubicación de dicho punto. En consecuencia la corrección a este efecto puede ser negativa o positiva. En cambio el efecto de B en esos puntos siempre irá en la misma dirección de la gravedad; pero el hecho de excluir el efecto del volumen de agua y sustituirlo por rocas más densas que ésta, implica en este caso, una corrección positiva. Por su parte, para los puntos ubicados sobre la superficie del geoide, el efecto de todas las rocas que yacen sobre esta superficie, señala el sentido contrario a la gravedad, por tal motivo la corrección de este efecto es positiva; mientras que la atracción de B sobre b será siempre un efecto positivo, y su corrección, por los motivos ya señalados, será positiva.



Fig.-1. Gráfico del efecto gravitacional de las masas en los sectores marinos y terrestres.

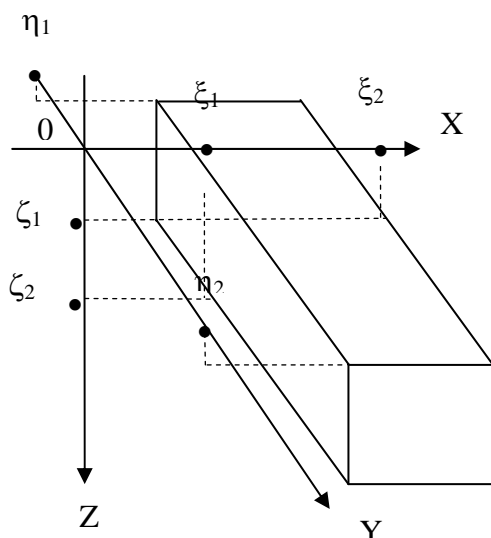


- g_{Aa} : Efecto de la masa A sobre el punto a
- g_{Ba} : Efecto de la masa B sobre el punto a
- $g_{Aa'}$: Efecto de la masa A sobre el punto a'
- $g_{Ba'}$: Efecto de la masa B sobre el punto a'
- g_{Ab} : Efecto de la masa A sobre el punto b
- g_{Bb} : Efecto de la masa B sobre el punto b

Para determinar los efectos de las masas hasta una distancia de 30 Km del punto de cómputo se utilizó la fórmula de un prisma vertical de base cuadrada, cuyas dimensiones son iguales a las de la red regularizada (1 Km) y su altura igual a la altitud o a la profundidad del mar (según sea el lugar donde se encuentre el mencionado prisma) (Fig.-2).

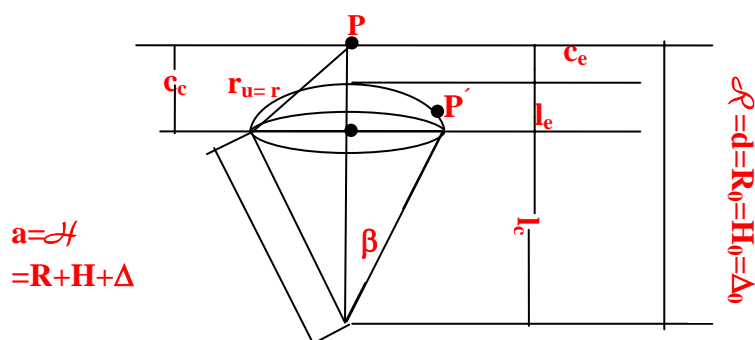


Fig.-2. Gráfico del paralelepípedo o prisma de base rectangular



Para calcular el efecto de la región comprendida entre 30 y 167 Km, los autores diseñaron un método que toma en cuenta la curvatura de la tierra y la variación del radio terrestre con la latitud. Sea un punto P ubicado en cualquier parte del eje de un cono invertido, exceptuando su vértice; al cono se le ha colocado encima un segmento esférico (Fig.-3)

Fig.- 3. Gráfico de un cono sobre el cual se hace descansar un segmento esférico



R_0 : radio terrestre en el punto de cálculo

R : radio terrestre en el punto P

H_0 : desnivel con relación al geoide en el punto de cálculo.

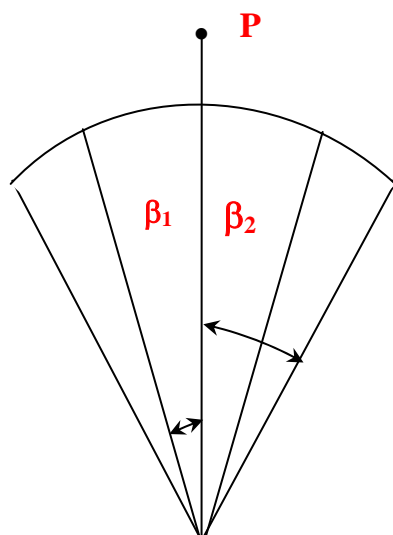
H : desnivel con relación al geoide en el punto P

Δ_0 : excedentes o decrementos del geoide con respecto al elipsoide.

Δ : excedentes o decrementos del geoide con respecto al elipsoide.

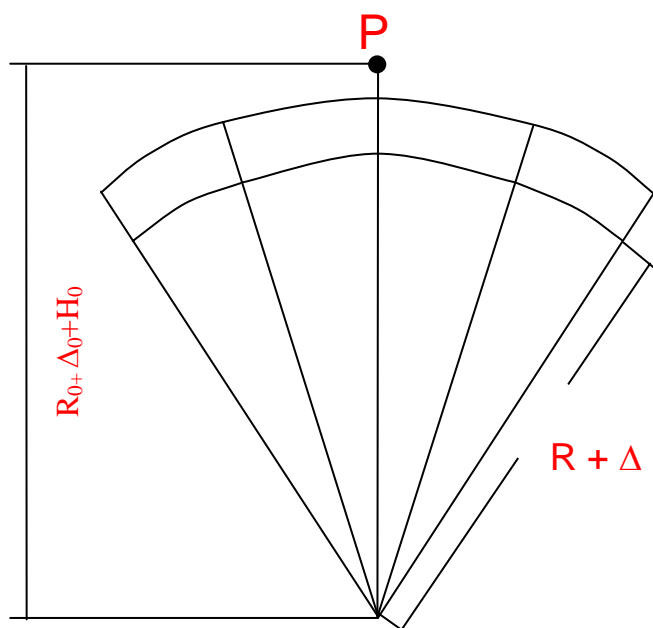
La unión del segmento esférico y el cono producen un sector esférico; de manera que la resta de dos sectores esféricos con β diferente donde $R_0 + H_0 + \Delta_0$ permanecen constantes para ambos, produce en P un efecto equivalente a una pared esfero cónica (Fig.- 4)

Fig.-4 Gráfico del sector esférico donde el punto de cálculo "p" se coloca en su eje de simetría.



La resta de dos paredes esfero cónicas con β idéntica; pero donde las dimensiones R y d son diferentes conforman un anillo esfero cónico (Fig.-5)

Fig.- 5. Gráfico de un corte a través del eje de simetría de un anillo esfero-cónico.



El anillo puede ser cortado en porciones iguales con planos que pasen por su eje de simetría; en cuyo caso cada sector de anillo esfero- cónico produce en el punto P el mismo efecto. Por ese motivo el resultado de evaluar convenientemente las integrales señaladas anteriormente debe ser dividido por la cantidad de sectores en que ha sido seccionado el anillo esfero- cónico (en este caso se adoptaron 16 sectores). Se consideró el radio del sector de anillo esfero- cónico como el Radio terrestre correspondiente al punto medio del sector, lo que constituye una aproximación suficientemente precisa. Para la corrección de las masas, el nivel de referencia debe ser el geoide, cuya posición puede ser determinada si se conocen sus excedentes con relación al elipsoide. Lamentablemente los datos sobre el geoide son escasos o no están disponibles. De un mapa de Lerch; 1979[8] de pequeña escala, se puede estimar que en la región de la investigación el geoide se ubica a 25 m por



debajo del elipsoide. Como ya hemos mencionado, las masas se ubican a distancias que están entre 30 y 167 Km del punto de cálculo. Hemos supuesto que un error de 25 m en las alturas a tales distancias no debe crear cambios sustanciales en el efecto gravitacional sobre el punto de cálculo. Por ese motivo se despreció el excedente del geoide para el cálculo. Para efectuar la corrección de las masas hasta 30 Km los datos altimétricos y batimétricos fueron regularizados según una red cuadrada a un intervalo de 50 m para la altimetría y 250 m para la batimetría. Después los datos, tanto de altura como de profundidad, fueron extraídos a 1 Km. Con estos últimos ficheros se efectuó la corrección hasta 30 Km. Para la zona lejana, comprendida entre 30 Km y 167 Km, se construyó un fichero unificado donde las alturas son positivas y las profundidades negativas, que fue regularizado a un intervalo de 250 m y extraído a 2.5 Km para conformar el fichero que se utilizó definitivamente en el cálculo de la corrección.

La información gravimétrica marina fue procesada a partir de los ficheros de nuestra base de datos, los que contenían las coordenadas geográficas, la batimetría, la anomalía de Fay y la anomalía de Bouguer de cada punto. No aparecen en los ficheros originales los valores de gravedad observada. Por ese motivo era necesario reconstruirla. Con ese fin se sumó a los valores de anomalía de Fay, los valores correspondientes de campo normal según la fórmula de Helmert. La gravedad observada obtenida fue corregida con la fórmula Internacional de Cassini de 1930 para obtener la anomalía de Fay nuevamente. Estos datos sirvieron para confeccionar una red regularizada a un intervalo de 1 Km. Para cada punto de esa red fue calculado el efecto de entorno hasta 30 km. La suma de ambas matrices dió como resultado una nueva matriz de anomalía en Reducción Bouguer para el mar.

Las correcciones que se aplican a los valores de la gravedad, tratan de excluir todo efecto ajeno a la influencia de los factores geológicos. Por consiguiente, toda correlación del relieve con los valores medidos es significativa y debe ser excluida. Inicialmente los levantamientos marino y terrestre habían sido corregidos para obtener sendos mapas en Reducción Bouguer Incompleta; es decir sin corrección de relieve. Para convertirlos en mapas de anomalía en Reducción Bouguer completamente corregidos se necesita excluir el efecto de la capa intermedia e introducir nuevas correcciones, que caracterizan el efecto de las masas que yacen por encima del geoide, y el efecto dado por el volumen del agua, la que se reemplaza por roca. Así, para el mar la corrección consiste en:

$$C_m = \delta - 0.0419 (2.3-1.03) H$$

Y para la tierra:

$$C_t = \delta + 0.0419 (2.3) h$$

Dónde δ es la denominada corrección de entorno" mencionada al inicio de este trabajo (hasta 30 Km).

H es la profundidad del mar (en m)

h es la altitud (en m).

Para el caso del sector terrestre, la corrección así obtenida va aumentando hacia la costa donde alcanza un valor de 1 mGal, sus isolíneas son paralelas, aunque su *gradiente* aumenta hacia el noreste. Por su parte la corrección en el mar genera isolíneas cerradas; es decir, falsas anomalías cuyos valores son más intensos que la corrección en tierra. Para comprobar la fuerte correlación existente entre la corrección C_m y el relieve del fondo marino, basta obtener un mapa residual de la batimetría y compararlo con el mapa de la mencionada C_m . El hecho de encontrar una buena correlación entre el residuo de la batimetría y la corrección C_m , indica que existe en el relieve una componente "de fondo" no correlacionable. A partir de los razonamientos anteriores se puede concluir que eliminar los efectos correlacionables con el relieve mediante la corrección C_m , preserva solamente los factores geológicos que influyen en el valor de las anomalías calculadas. Al aplicar las correcciones se demostró que en el caso terrestre la variación del mapa, fue muy leve, tanto



en los valores de las isoanómalas como en su forma. En el mar, las isolíneas adoptan formas completamente diferentes a los del mapa que existía anteriormente. La nueva conformación de este mapa es coherente con su homólogo terrestre y permite el enlace suave de las isoanómalas a través de la línea de costa (Fig.-6).

En el mapa en Reducción Bouguer filtrado (Fig.-7) se expresan claramente las cadenas de máximos locales **Cy D**. El primero es conocido como Varadero - Camarioca respectivamente. Para el segundo los autores del informe han aceptado el nombre de Cantel. En el mapa también se manifiestan anomalías locales de menor envergadura que se deducen de las franjas sombreadas en el mapa. Al parecer, el máximo Cantel está generado por un ascenso de las calizas del Aptiano – Albiano que yacen bajo sedimentos sinorogénicos y serpentiniticos. Se considera que las rocas aptiano – albianas pertenecen a la formación Carmita (Rafael Socorro, comunicación personal, 22 de julio 2003). Según el registro de litodensidad en el pozo Varadero 711, la densidad media de esta formación es de 2.60 g/cm^3 . En cuanto a las serpentinitas, C. Shaposnikova obtiene un valor de 2.45 g/cm^3 . Los datos anteriores nos dicen que el contraste de densidad entre las rocas de la Fm Carmita con las rocas suprayacentes debe generar máximos locales débiles tales como el de Cantel. En el máximo Cantel las calizas de la formación Carmita fueron cortadas a profundidades que oscilan entre 881 y 1403 según datos procedentes de los pozos Cantel 3, 5, y 7, los cuales se encuentran en el borde nordeste del máximo. El pozo Camarioca 15 ubicado sobre el eje del máximo del mismo nombre, cortó las calizas de la Fm Carmita a 1120 m; mientras que el Camarioca 14 cortó estas rocas a 1970 m. Este máximo es más débil que su homólogo de Cantel, lo que se explica por el hundimiento relativo de las rocas que lo generan. Dicho de otra forma: Cantel y Camarioca son dos elevaciones de calizas de la UTE Placetas; cuyos topes se encuentran a niveles diferentes (las profundidades han sido tomadas partiendo de datos conservados por el Dr Rafael Socorro Trujillo). Aquí el término “elevación” significa un complejo sistema de escamas tectónicas que se levantan bajo las serpentinas y las rocas sinorogénicas, lo que se refleja como un máximo local único. En tanto más detallado sea el levantamiento gravimétrico, tanto más fácil resulta delimitar las escamas que componen una elevación dada.

Como es usual en toda investigación gravimétrica orientada a la exploración, se requiere separar el campo en sus componentes locales y regionales como paso imprescindible en la interpretación cualitativa de las anomalías residuales. Con ese fin los datos correspondientes a las Anomalías en Reducción de Bouguer fueron procesados para obtener las anomalías locales mediante una media móvil con ventana igual a 1 Km (Fig.-8). La delimitación de las anomalías locales en el mapa permite verificar la orientación de sus ejes máximos; cuyos rumbos están próximos a la dirección este-oeste, tanto en el sector terrestre como en el marino. Así, los máximos C, C', D, D' y D'' corresponden a elevaciones de las rocas de la UTE Placetas, especialmente de la Formación Carmita; en tanto que los mínimos que aparecen inmediatamente al sur de éstos están fundamentalmente condicionados por un mayor espesor de sedimentos correspondientes a las Formaciones Vía Blanca cuya densidad (2.40 g/cm^3) [10]], Vega Alta (2.24 g/cm^3) [op cit]), e inclusive, de sedimentos más jóvenes. Dos cadenas de máximos locales aparecen en el sector marino al norte de las anomalías mencionadas anteriormente (A, A', A'' y B, B', B'', B'''). La proyección sobre el plano de los pozos horizontales que se han perforado durante los últimos años evidencia que fueron dirigidos hacia el lugar que cubren los máximos locales, especialmente hacia las anomalías A, A', A'' y B, B'. La proyección horizontal del pozo VP-712 partió del flanco norteño de C'' y se internó en la cadena de máximos A-A' cortando a su paso, después de los sedimentos postorogénicos, las rocas sinorogénicas y posteriormente las rocas de la UTE Placetas. Todo parece indicar que el máximo B'' es generado por las rocas de la Formación Carmita ya que su densidad (2.60 g/cm^3) supera a las de Vega Alta (2.24 g/cm^3), Morena (2.39 g/cm^3), Ronda (2.39 g/cm^3); sin embargo la cadena de máximos A-A' no puede justificarse por la presencia de “Carmita” ya que en ese lugar el pozo corta sedimentos de la Formación Cifuentes cuya densidad (2.42 g/cm^3) es ligeramente mayor que la considerada para las Formaciones Morena y Ronda. Los máximos A-A' entonces



están generados por los pliegues elevados de la Formación Cifuentes (Fig.-8). El desplazamiento relativo de los ejes de las anomalías permite seguir las alineaciones con rumbo sur suroeste-norte noreste, las que posiblemente están relacionados con fallas sinistralas. Dichas alineaciones del campo cortan las franjas de gradiente intenso que se disponen al norte de los máximos locales. En este caso tales alineaciones son el reflejo en el campo gravitacional de las culminaciones de las rampas de despegue que limitan por el norte a las escamas generadoras de los máximos locales. Partiendo de los argumentos aquí señalados, el máximo B''', por su similitud con el B' presenta interés para la búsqueda. Por su parte el máximo A'', análogo al A, y el máximo B'', (dónde es posible que el tope de la estructura esté más profunda), también presentan interés para la búsqueda.

CONCLUSIONES.

Para resolver el problema del enlace entre levantamientos gravimétricos de a bordo y terrestre fueron revisados los aspectos teóricos del tema y se desarrolló una metodología para su solución.

Se obtuvo un mapa en Reducción Bouguer del área investigada que permite por primera vez una visión global del campo gravitacional en el sector marino y terrestre.

Fueron delimitadas anomalías locales interesantes para la búsqueda de petróleo, y fueron asociadas a sus posibles causas geológicas.

BIBLIOGRAFÍA.

- Duska Leslie, Geophysics, 1958 Maximum Gravity Effect of Certain Solids of Revolution Vol. XXIII, N°3, pp 506-519.
- Egorov V, V.Buliga, H. Díaz, 1973 Informe sobre los trabajos gravimagnéticos detallados en las zonas de camarioca- Varadero y San adrián.
- Lerch F.J, S.M Klosko, R. E Laubscher, and C.A Wagner, 1979 Gravity model improvement using Geos-3 (Gem 9 and 10), J. Geophys. Res. V.84, p.3897- 3916.
- Mirónov V, 1977 Curso de Prospección Gravimétrica, Editorial Reverté, S.A, España.
- Prol J, M.Rodríguez Informe Sobre los trabajos Gravimétricos y magnetométricos de alta precisión en escala 1: 25 000 en la región Camarioca- Cantel- Varadero del proyecto 1053.
- Prol J, M. Rodríguez, 1992 Nota Informativa N° 16. Informe sobre los resultados del levantamiento gravimétrico de alta precisión en escala 1:25 000 en el Sector "Pina" correspondiente al proyecto 1165.
- Slack David, W Stewart, 2000 Shipborne Gravity and Bathymetry survey. Offshore North West.Cuba. Gulf of México. Data Processing. Report. Fugro- LCT limited..
- Sorá A, G. Miró, R. Gómez, G. Ameijeiras, J. Sánchez, 2003 Incremento de la Efectividad del Método Sísmico en el Cinturón Plegado Cubano (Primera Etapa) Proyecto 2511..
- Shaposnikova C, 1969 Propiedades físicas de las Rocas de Cuba Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos Publicación Especial N°7.
- Veselov N.E, M.I. Saguitov, 1968. Exploración Gravimétrica (en ruso). Editorial Nedra. Moscú.
- Zashina N.V, N.B Gruchinsky, 1966 Exploración Gravitacional (en ruso). Editorial nedra. Moscú.
- Zakatov B.S, 1981 Curso de Geodesia Superior. Editorial Mir.

Fig-8.-Mapa de generalización de los campos potenciales.
Autores: José G Prol Betancourt y María C Rifa Hernández.
Año 2003



ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA EL ESTUDIO DEL FONDO MARINO EN LA EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS.

Jacqueline Artiles Pérez, Carlos Salazar Pérez, José Raúl Gabilondo Márquez, Gustavo Godines Barrera, Omar Hernández Valdés.

(1).- GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 11200, Ciudad de La Habana, Cuba.
Telef: 97 7575, 8165, Ext. 114, Fax: 97 0019. E-mail: gabilondo@ emarinos.geocuba.cu.

RESUMEN

Con el desarrollo, en nuestro país, de la extracción petrolera; se han abierto vastas perspectivas en los servicios técnicos con vista a la exploración y explotación. Esta ponencia pretende mostrar alternativas técnicas, sus objetivos, aplicación y su utilización en una amplia gama de investigaciones en el campo de la exploración de hidrocarburos en nuestra plataforma y en aguas profundas de la ZEE.

Determinar índices de manifestación directa de hidrocarburos, mediante la geoquímica orgánica, técnicas de muestreo, geofísica de alta resolución y filmación constituyen herramientas para disminuir el riesgo de pozos fallidos permitiendo: cartografiar la presencia de emanaciones de petróleo y gas; presencia de hidratos y colonias químico-sintéticas en áreas con potencialidad de yacimientos petrolíferos; reducir el área a explorar concentrándose en regiones con índices promisorios y estructuras con emanación activa; obtener información para la evaluación medio ambiental de actuaciones en aguas profundas; y estudiar sitios para la ubicación de plataformas de perforación.

En nuestros mar territorial y en la Zona Económica Exclusiva se han realizado estudios oceanográficos, geológicos, geofísicos y medioambientales capaces de dar respuesta a las proyecciones técnicas planteadas en casos concretos como:

1. Estudio geólogo-geofísico integral, Bahía de Cárdenas, 1987.
2. Estudio geólogo-geofísico de sitios para emplazar plataformas de perforación, B. de Cárdenas, 1994.
3. Impacto Ambiental para ubicar plataforma de perforación, Cayo Rabihorcado, 1996.
4. Línea Base Ambiental en el Bloque L, norte de Villa Clara, 1999.
5. Estudio de corrientes marinas y oleaje, zona noroccidental, 2002.
6. Levantamiento magnético marino para búsqueda de petróleo. B. Cabañas a La Chorrera, 2003.

ABSTRACT

With the development, in our country, of the oil extraction; vast perspectives have been opened up in the technical services with view to the exploration and exploitation. This report seeks to show technical alternatives, its objectives, application and its use in a wide range of investigations in the field of the exploration of hydrocarbons in our platform and in deep waters of the ZEE.

To determine indexes of direct manifestation of hydrocarbons, by means of the organic geochemistry, technical of sampling, high resolution geophysics and filming. They constitute tools to diminish the risk of bankrupt wells allowing: Locate the presence of emanations of petroleum and gas; presence of hydrates and chemical-synthetic colonies in areas with potentiality of oil locations; to reduce the area to explore concentrating on regions with promissory indexes and structures with active emanation; to obtain information for the environmental evaluation of performances in deep waters; and to study places for the location of perforation platforms.

In our territorial sea and in the Economic Area right they have been carried out oceanographic, geologic, geophysical and environmental studies to give answer to the technical projections outlined in concrete cases.



INTRODUCCIÓN

Cuando en el año 1999 Cuba toma la decisión de abrir a licitación internacional los derechos de exploración y explotación de petróleo en la ZEE (Zona Económica Exclusiva) con extensión en el Golfo de México, abarcando un área de 112 000 Km.²; se abren perspectivas para el desarrollo de servicios técnicos asociados a la exploración en aguas profundas.

En la actualidad ya ha sido realizado el primer pozo exploratorio en aguas profundas y es uno de los principales objetivos del MINBAS el desarrollo de la exploración y explotación en la ZEE, donde los trabajos iniciales han validado las perspectivas del área y su coincidencia estructural con la geología del resto de la región; de donde países como E.U y México extraen respectivamente, el 50 % y 80 % de su producción.

En la exploración de aguas profundas, una valoración crucial aun después de tener determinadas las estructuras promisorias es si el petróleo fue o no generado y en caso afirmativo que podría conocerse de su calidad y madurez; antes de hacer costosas inversiones. El desarrollo tecnológico actual y la complejidad de los nuevos escenarios naturales de la prospección han determinado un extraordinario avance cualitativo de las metodologías tradicionales reconocidas como la sísmica, la gravimetría y la magnetometría; y a su vez el surgimiento de nuevas técnicas alternativas que de conjunto ayudan para la solución integral de los retos tecnológicos actuales.

Es entonces objetivo de esta ponencia brindar una panorámica de estas alternativas técnicas, donde el estudio de índices de manifestación directa de hidrocarburos mediante la geoquímica orgánica, asistida con las convenientes técnicas de muestreo, geofísica de alta resolución y otras disciplinas complementarias constituyen una excelente herramienta para el estudio del sistema petrolero.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Para esta ponencia se realizó una evaluación, revisión y recopilación de información referida a los avances de los servicios técnicos en la exploración y explotación de hidrocarburos a nivel mundial y fundamentalmente por medio de la Internet se consultaron:

- Trabajos aplicados realizados por diversas compañías líderes.
- Publicaciones sobre la política y estrategias del desarrollo petrolero en diferentes regiones del mundo.
- Promoción de nuevos productos y servicios técnicos de compañías vinculadas al tema.
- Manuales y promoción del equipamiento tecnológico utilizado en las diferentes disciplinas.

Además se consideraron:

Experiencias de GEOCUBA Estudios Marinos en trabajos afines realizados en aguas fundamentalmente someras.

Experiencias y resultados de trabajos realizados por la asociación ADC-GEOMAR- GEOCUBA-SERMAR, la cual con objetivos arqueológicos realizó trabajos en aguas profundas del occidente cubano.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

1- Objetivos y carácter de los estudios.

Con el incremento alcanzado en el conocimiento geológico y el desarrollo de los análisis geoquímicos, de tecnologías geofísicas de alto poder resolutivo y la utilización de sensores remotos; se crean las bases para un perfil técnico alternativo de búsqueda de índices directos de la presencia de hidrocarburos.

Pudiéramos resumir en grandes rasgos los principales objetivos que se tienen en cuenta para la utilización de estas alternativas técnicas:

1. Determinar y cartografiar la presencia y distribución de estructuras superficiales asociadas a la presencia de hidrocarburos: colonias quimiosintéticas, hidratos de gas, emanaciones de petróleo (seepage), volcanes de lodo (mud volcanoes, seep mounts), escapes de gases (pockmarks), etc.
2. Estudiar la relación de estos fenómenos con estructuras que puedan considerarse someras en las primeras decenas de metros de profundidad.
3. Reducir y organizar el área a explorar, concentrándose en las regiones con índices promisorios y estructuras con emanación activa.
4. Muestrear los materiales asociados a las áreas con estructuras promisorias y realizar una exploración geoquímica superficial para el estudio de las trazas de hidrocarburos que confirmen su presencia; hasta definir su tipo, su madurez, las rocas madre y colectoras, su ambiente de deposición, grado de evolución térmica, tipos de hidrocarburos y otros factores que brinden información sobre el tema petrolero.
5. Determinar la existencia de riesgos geológicos que pueden estar implícitos en la presencia de taludes inestables, fallas activas, sedimentos saturados de gas u otros que pueden convertirse en peligros durante la actividad de explotación.
6. Estudiar los sitios de ubicación de las plataformas de perforación para exploración o explotación.
7. Obtener la información necesaria para la evaluación del medio ambiental de las actuaciones en aguas profundas.

Si tratásemos de establecer una división del carácter de utilización de estos estudios podríamos resumir.

- Exploración de índices directos de presencia de hidrocarburos
 - Exploración regional
 - Evaluación de prospección y tendencias
 - Detalle de anomalías
- Estudios geotécnicos de los sitios.
 - Estudio regional
 - Estudio local.
 - Estudio del sitio
- Estudios medio-ambientales.

2. Metodologías y Aplicación.

Quisiéramos resaltar independientemente las diversas metodologías técnicas que en su conjunto al integrarse constituyen el grupo de alternativas técnicas como sistema de herramientas a utilizar en los estudios del fondo marino; haciendo alguna precisión del perfil de su aplicación.



Dentro del conjunto algunas son de carácter obligatorio para cualquier estudio, otras se alternan de acuerdo a los objetivos y carácter de los mismos.

1. Análisis de imágenes satelitales.

Se han desarrollado potentes metodologías para la detección de derrames de petróleo, su análisis y clasificación a partir de imágenes de radar de alta resolución (Radarsat), permitiendo diferenciar su ocurrencia por factores de polución o emanaciones desde el fondo.

Se han confeccionado mapas de anomalías gravimétricas, derivados de los datos de altimetría obtenidos por satélite como una variante rápida y económica para una visión regional de la existencia y posición de depósitos viables.

2. Sistema de posicionamiento satelital y submarino.

En cualquier estudio es imprescindible la utilización de sistemas DGPS referenciados por satélites para el posicionamiento preciso de la plataforma de investigación, es muy conveniente contar con un sistema de línea base de onda ultra corta para posicionar por debajo de la superficie del mar y desde el barco, los diferentes sensores de arrastre y otros equipos autónomos con rangos de alcance en distancia de mas de 10 Km y en profundidades mayores de 5 Km. La utilización combinada garantiza mantener y conocer con exactitud la posición dinámica del buque y seguir el desplazamiento preciso de los equipos de remolque. Debe ser utilizado un sistema de navegación por cartas electrónicas que permita integrar toda la información de las diferentes técnicas simultáneas en adquisición en tiempo real (Figura. 1).

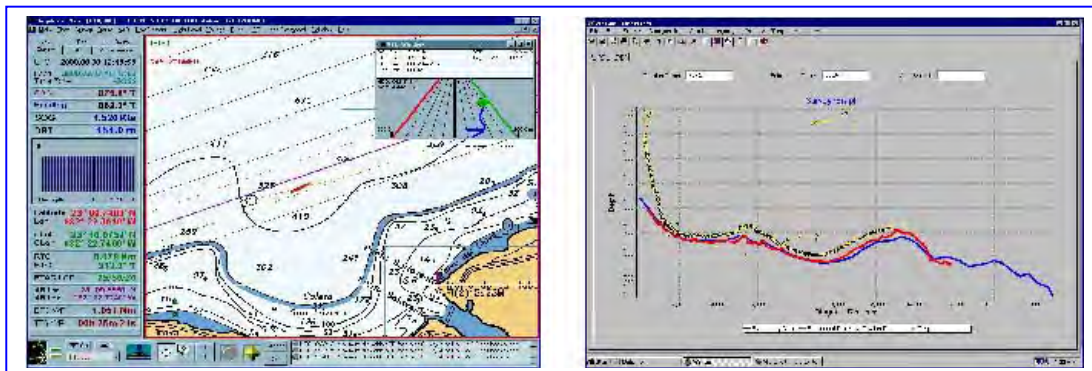


Figura. 1- Sistema de Navegación Electrónica con entrada DGPS y el Sistema Integrador de datos

3. Batimetría.

Metodología muy útil y prácticamente necesaria en cualquier objetivo, permite obtener datos precisos de profundidad y estudiar la morfología del fondo con detalles. En su modalidad actual multihaz (Multibeam) se hace muy productiva y rápidamente permite localizar zonas de interés con un cubrimiento amplio del área en estudio. Es imprescindible para evaluar las condiciones y geometría del arrastre de otros equipos en su desplazamiento cercano al fondo en etapas posteriores.

4. Sonografía.

Metodología complementaria que en forma semejante a la batimetría multihaz brinda información rápida de un área considerable al abarcar su barrido extensiones de hasta kilómetros a ambos lados de la línea de sondeo. Sus resultados brindan una imagen acústica del fondo marino y de esta forma incorpora información que no brinda la batimetría permitiendo detallar las zonas morfológicamente interesantes (Figura. 2). Los mosaicos que se componen



con su aplicación brindan criterios sobre el desarrollo de las estructuras y permiten diferenciar las características de los tipos de fondos, llegándose a interpretaciones geológicas preliminares, es de primer orden su aplicación en la delimitación de "obstáculos" u objetos en los fondos.

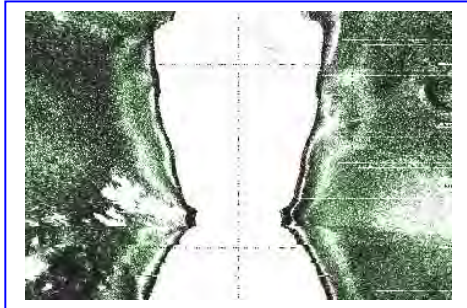


Figura. 2- Cráteres aparentemente formados al fundirse los hidratos, liberando metano (imagen de sonar).

5. Perfilaje sísmico de alta resolución.

Es la técnica que permite ampliar el alcance de la información que vamos obteniendo de los fondos con la Batimetría y la Sonografía, hasta profundidades que pueden llegar a las primeras decenas de metros y vincular los rasgos morfológicos del fondo con estructuras someras cubiertas de sedimentos y que la interpretación de los datos batimétricos de haz simple o multihaz no permiten revelar, pudiendo obtener criterios de identificación y localización de índices directos de presencia de hidrocarburos y de riesgos geológicos.

6. Magnetometría.

Es muy difundida la utilización simultánea con los métodos acústicos anteriores, de magnetómetros de alta sensibilidad (protónicos o de cesio), para la interpretación combinada y el apoyo al análisis de todo el conjunto de métodos

7. Sistemas Integrados.

Actualmente la tecnología ha permitido integrar en un solo equipamiento la combinación de datos simultáneos de varias de estas técnicas y así se cuenta con sonares multihaz, que vienen acoplados con perfiladores de subfondo y hasta magnetómetros, cuyos datos pueden ser integrados en un solo procesador en tiempo real. Aquí también se integran todos los sensores dinámicos para evaluar el rumbo, cabeceo, balanceo y profundidad de inmersión.

8. Muestreo y Ensayo.

Estas actividades en ocasiones constituyen el núcleo central de la exploración por la información que brindan, se proyectan su distribución y volumen a partir de los resultados de las técnicas anteriores con densidades y alcance que dependen además de la etapa y objetivos del estudio que se considere. Las muestras son descritas, clasificadas y ensayadas de forma general con multipropósito; desde geológicos, geoquímicos y hasta geotécnicos. El muestreo se realiza desde las variantes más simples pero muy útiles de los muestreadores de gravedad y pistón hasta estructuras más complejas que desde el fondo alcanzan profundidades de muestreo mayores y con menor alteración, inclusive llegando a perforar materiales rocosos.

Los ensayos de acuerdo al propósito de su evaluación pueden ser:

Geología: Físicos, paleontológicos, metales, químicos, biológicos.

Geotecnia: Físicos (granulométricos, humedad, plasticidad, densidad).

Mecánicos (consolidación, triaxiales).



Geoquímica: Intensidad de fluorescencia de hidrocarburos, cromatografía gaseosa, isótopos de carbonos e hidrógenos, biomarcadores.

9. Ensayos Geotécnicos In-Situ.

Ya en las etapas de estudio detallado del sitio de emplazamiento de la estructura se procede a ensayar directamente los suelos del fondo para precisar su comportamiento mecánico, desde plataformas complejas que se acoplan al fondo con diferentes instrumentos para realizar penetración y cortante en la profundidad de los sedimentos (Figura. 3). Generalmente se simultanea el muestreo de los materiales ensayados, con mínima alteración.

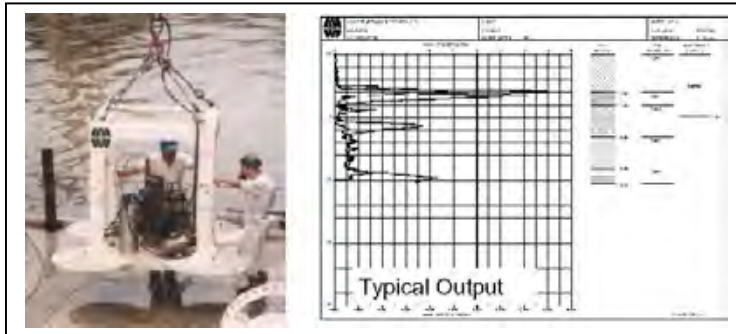


Figura. 3- Penetrómetro de aguas profundas con su registro.

En etapas iniciales se utilizan formas mas simples de ensayos como pueden ser los penetrómetros de caída libre, en todos los casos el objetivo es la obtención de los parámetros geotécnicos que caracterizan el comportamiento mecánico de los suelos marinos ante la interacción con las estructuras que en ellos se insertarán.

10. ROV's y AUV's.

Los vehículos operados por control remoto (ROV) y los de operación autónoma (AUV) son de las técnicas, las de mayor complejidad tecnológica de operación y de costos. Incorporan capacidades de filmación y muestreo autónomo en zonas inaccesibles y además sirven como vehículo de soporte para la integración de sistemas de metodologías múltiples. Con la precisión, independencia y rapidez de su utilización garantizan el detalle de sitios de mucho interés con la obtención de mucha información altamente integrada.

11. Hidroquímica y Oceanografía.

A través de estas investigaciones se obtienen las características físicas y químicas de las aguas en las que se encuentran las estructuras petrolíferas potenciales. Se obtienen datos como velocidad y dirección de las corrientes marinas, temperatura, turbidez, análisis químico de las aguas y otros.

12. Plataforma de soporte de los estudios.

No una metodología, pero de suma importancia para todas las descritas hasta el momento son las características de las embarcaciones que operan como plataforma de soporte de los estudios en aguas profundas donde por las complejidades tecnológicas y las particularidades de este entorno, requieren tener garantizados medios imprescindibles tales como:

- ✓ Sistemas y equipos de navegación de alta tecnología.
- ✓ Sistemas de comunicación de alta tecnología.
- ✓ Sistemas de propulsores de posicionamiento dinámico.
- ✓ Grúas y winches de izaje.
- ✓ Embarcaciones auxiliares.



- √ Capacidades de laboratorio y almacenaje.
- √ Operación en red de computadoras y monitores.
- √ Tecnología p/ rescate submarino.

3. Consideraciones Generales.

La experiencia internacional ha demostrado que las condiciones del Golfo de México son favorables para la utilización de estas técnicas en la exploración, donde cuencas permeables de gas y petróleo permiten que los hidrocarburos se filtren a través del lecho marino en gran cantidad; describiéndose un gran número de sitios con presencia de hidratos gaseosos en los fondos, desde profundidades de alrededor de 400 m hasta más de 2 400m.

Se ha descrito inclusive el proceso de migración dinámico vertical que ha sido observado como la causa de recarga de reservorios más someros desde yacimientos más profundos en conjunto y con mayor importancia que la migración lateral.

De su utilización en diversas partes del mundo por diferentes compañías, se coincide en señalar que el 32% de su aplicación no ha tenido resultados, un 36% ha tenido algún éxito y un 32% ha brindado información muy útil. Esto indica que un 68% de su aplicación brinda al menos resultados de utilidad; lo cual coincide con otras fuentes que indican que la utilización de estas metodologías alternativas ayuda a tener un 62% de éxito en las predicciones de pozos secos o positivos durante la exploración, a tenor de otras que indican que cuando no aparecen evidencias de hidrocarburos en las exploraciones el 95% de los pozos no determinarán acumulación y serán secos.

PEMEX ha relacionado la realización de una exploración geoquímica superficial en la parte sur del Golfo de México, donde se adquirieron 900 testigos de muestreador de gravedad-pistón en los suelos marinos con resultados positivos de hidrocarburos en algo más de 100 de ellos; lo que correlacionado con datos de sensores remotos ha evidenciado la existencia de emanaciones, confirmando la existencia de sistemas petroleros activos en las áreas de la plataforma continental y taludes hacia aguas profundas.

Para la realización de exploración y explotación en zonas del Golfo de México donde se ha descrito la presencia abundante de hidratos gaseosos este debe ser un tema de atención, no tan solo como índice de presencia de hidrocarburos (en ocasiones pueden tener una formación biogenética) sino también por las reconocidas dificultades geotécnicas, entre las que se encuentran bloqueo de tuberías, desestabilización de las plataformas y explosiones. Todo lo cual hace muy necesario la ubicación de las acumulaciones de estos hidratos, algo que se ha resuelto directamente con la aplicación de la sísmica de reflexión de alta resolución y el análisis de patrones anómalos de reflexión asociados al fondo (BSR).

Estas alternativas técnicas para la exploración de hidrocarburos relativamente recientes si se comparan con las técnicas tradicionales ampliamente reconocidas, han tenido que pasar por un proceso de desarrollo, validación, aprobación y confianza y aun hoy existen compañías, instituciones y organizaciones estatales que no favorecen su utilización.

No obstante es visible la paulatina aceptación y el incremento de su aplicación, siendo significativo el desarrollo de compañías líderes como TDI-Brooks Internacional, corporación establecida en 1996 que de \$ 2.3 millones en operaciones de proyecto al surgir ya reportaba \$11.7 millones en el año 2000 y describe recientemente el desarrollo de importantes proyectos



de exploración geoquímica en áreas tan disímiles como el Golfo de México, el Mar de Java en Indonesia, las costas africanas de Angola y otros escenarios.

Por nuestra parte, en GEOCUBA durante años se han utilizado, un grupo de metodologías que constituyen parte de estas alternativas técnicas para la exploración de hidrocarburos, sin que se hayan aplicado como un método integrado de prospección y fundamentalmente en aguas someras de nuestra plataforma. Podríamos resumir las principales que se han utilizado en estudios relacionados con la actividad de exploración y explotación petrolera en el mar:

A) Con perfil geólogo-geofísico.

➤ *Estudio integral de la Bahía de Cárdenas. CUPET, 1987.*

Se realizó un levantamiento de sísmica somera de reflexión (Figura 3), un levantamiento hidromagnético, batimetría y sonografía en toda la Bahía de Cárdenas, para el conocimiento de las estructuras de la región. Actualmente esta información se incorpora a un SIG con otras fuentes de información para su reevaluación y validación.

➤ *Estudios para los sitios de emplazamiento de plataformas de perforación en la Bahía de Cárdenas. TOTAL-1994.*

Se realizaron levantamientos sonográficos, batimétricos y de sísmica de reflexión en los accesos y áreas de los sitios Caracoles y Cayo Blanco. El muestreo de los suelos y rocas para la valoración del comportamiento geotécnico de los materiales se realizó por la ENIA.

➤ *Estudio de impacto ambiental para la explotación de un pozo de exploración de petróleo en un cayo, en el Golfo de Ana Maria. SHERRIT-1996.*

➤ *Estudio para la ubicación de una plataforma, mediante la conformación de una isla artificial en el Golfo de Ana Maria. SHERRIT-1998.*

Se realizaron estudios topobatimétricos, de sísmica de reflexión y análisis de oleaje para la caracterización de los bancos de préstamos de arena. Se confeccionaron los proyectos de dragado conformación de la plataforma artificial y obras de protección.

➤ *Estudio de línea de base en el bloque L, al norte del archipiélago Sabana-Camagüey. PETROBRAS-2000.*

Dentro del complejo de métodos se realizaron trabajos de sísmica de reflexión y muestreo de sedimentos por gravedad en el canal de Bahamas en las profundidades mayores alcanzadas por estos estudios en Cuba hasta ese momento; mas de 500 m. Con buenos resultados en la delimitación de los espesores sedimentarios y localización de estructuras de interés (Figura 3).

➤ *Levantamiento magnético marino para búsqueda de petróleo en un sector desde la Bahía de Cabañas hasta la Ensenada de La Chorrera. DIGICUPET-2003.*

Se realizó un levantamiento con un hidromagnetómetro, desde la costa hasta profundidades mayores de 1000 m para solapar con levantamientos aeromagnéticos realizados en los bloques exteriores, alcanzándose una favorable correlación.

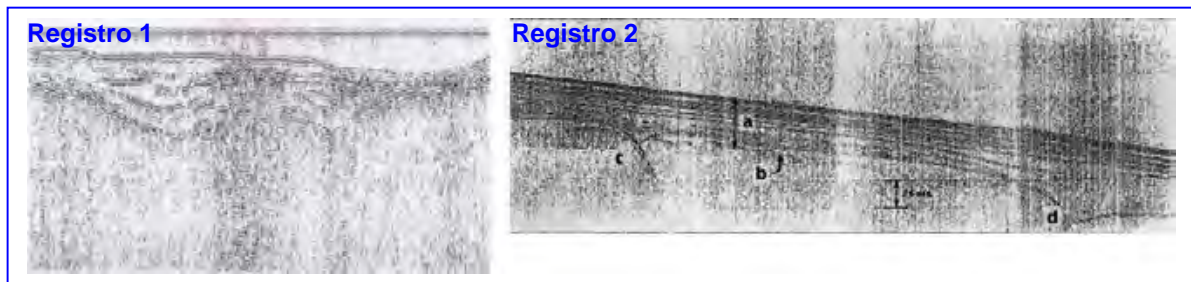


Figura. 3- Registros de sísmica somera de alta resolución realizados por Geocuba Estudios Marinos en aguas de la bahía de Cárdenas, donde aprecian sedimentos saturados de gas (Registro 1) y al NW de Cayo Guillermo, en profundidad de 370 m, donde se aprecian potencias considerables de sedimentos (Registro 2).

B) Con perfil oceanográfico-hidroquímico.

- *Pronóstico de trayectoria de manchas de hidrocarburos, estudio hidrometeorológico y un mapa de sensibilidad ambiental, para plan de contingencias en la Bahía de Cárdenas. CNW-CUPET 1993.*
- *Pronostico de trayectoria de manchas de petróleo y contaminantes en el archipiélago Sabana-Camagüey. MINBAS-1995.*
- *Caracterización oceanográfica general al norte de la Habana para proyecto de prospección petrolera en aguas profundas. REPSOL-YPF 2002.*

Durante un período de tiempo, realizó trabajos en Cuba la asociación ADC-GEOMAR inicialmente dentro del grupo Empresarial GEOCUBA, para el desarrollo de las investigaciones arqueológicas (en aguas profundas) y dentro de las técnicas de exploración de esta disciplina se empleó el método sonográfico para la localización de evidencias de pecios en la zona Noroccidental exterior de la plataforma de Pinar del Río y en los mosaicos acústicos obtenidos son visibles una serie de estructuras que pudieran considerarse evidencias típicas de actividad de emanaciones de hidrocarburos en los fondos, como depresiones (pockmark), montículos elevados (seep mounts). De estas estructuras, se registraron evidencias filmicas y un muestreo preliminar mediante un vehículo remoto equipado a tales fines con el que contaba este grupo de trabajo.

Ya en el período transcurrido de exploración en la ZEE de Cuba, han existido estudios e intenciones de las compañías que han adquirido los derechos de licitación de determinados bloques; para realizar exploraciones de los fondos con las características que analizamos en esta ponencia; ejemplos han sido:

- *Estudios del fondo marino de las áreas Ocuje y Yamagua solicitados y realizados por REPSOL-YPF en el 2002.*

Estos trabajos planteaban como objetivos el estudio batimétrico y morfológico de las áreas, valorar la presencia de colonias quicio-sintéticas y/o hidratos, estudiar las características de los sedimentos y caracterizar las condiciones oceanográficas e hidroquímicas de las áreas.

Se solicitaba la realización de batimetría multihaz, monografía, muestreo de sedimentos con pistón-Kullemberg, obtener videos de las zonas y estructuras de interés, así como caracterizar la temperatura, salinidad, corrientes y parámetros químicos de las aguas.



➤ *Estudios en los bloques de SHERRIT. (Área 12 000 Km² y profundidades entre 1 y 3 Km).*

En estos trabajos se planteaban como objetivos el estudio morfológico de las áreas, estudiar las características de los sedimentos y realizar levantamientos geofísicos.

Se solicitaba la realización de sonografía multihaz, muestreo de sedimentos y levantamientos gravimétrico y magnético.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- El enfoque integrado de estas alternativas técnicas, complementa una estrategia de servicios técnicos; que de conjunto con las metodologías tradicionales para la exploración petrolera brinda la perspectiva de orientar la exploración del fondo marino hacia la geoquímica de hidrocarburos, el estudio de índices directos en la estructura del fondo, la valoración geotécnica y la localización de riesgos geológicos para el emplazamiento de las estructuras, la caracterización oceanográfica e hidroquímica del medio marino y la evaluación multidisciplinaria del medio ambiente.
- En general es política de las naciones en desarrollo emprender los programas de exploración y explotación de los sectores de aguas profundas a través de esquemas de producción compartida (Joint ventures) con compañías petroleras internacionales con capacidades tecnológicas innovativas y potencial financiero para enfrentar los requerimientos de alta complejidad y riesgo de los estudios.
- No obstante lo señalado anteriormente recomendamos debe ser objeto de análisis la posibilidad de utilizar el potencial técnico creado y la experiencia acumulada en varias instituciones de nuestro país; para desarrollar una capacidad técnica en este perfil alternativo, que tal vez permitiría: Dejar en el país parte del capital invertido en la exploración, promover la concurrencia de mayor cantidad de inversores, lograr un renglón exportable de alta tecnología y de seguro un desarrollo científico y tecnológico para el país.
- Ya desde GEOMIN 2003 se presentó por especialistas del CEINPET, una ponencia con recomendaciones similares a las hasta aquí expuestas, pero ahora pudiéramos además agregar otro punto de vista a considerar para el apoyo de estas consideraciones:
- La exploración y explotación de la ZEE de Cuba se realizará en fronteras con EE.UU y México con aristas técnicas, jurídicas y políticas; donde entran a jugar un importante papel los procedimientos técnicos y obligaciones de un estado en sus costas para determinar los límites de su plataforma continental o insular y a su vez los de su ZEE, en consideración a los límites de los estados adyacentes. Esto implica una serie de regulaciones técnicas y delimitaciones físicas, para las cuales muchas de las metodologías aquí descritas constituyen las herramientas de trabajo y sobre las cuales existen definiciones por la Convención de Naciones Unidas sobre la Ley del Mar(1982) según una base científica y legal.

BIBLIOGRAFÍA.

- Linares Cala, Evelio, CEINPET. Las manifestaciones superficiales de hidrocarburos y los sistemas petroleros. Aplicaciones en la Exploración.
- E.K Bieger Shell, R.N Baker Amoco, S. Scantland, RADARSAT INT. Guif offshore satellite applications project detects oil slicks using RADARSAT.
- Dominguez, Réne; Tocucet Tellez, Sonia, et al. DIGICUPET. Resultados de la exploración geofísica en el sector occidental de la zona económica exclusiva cubana en el Golfo de México.



- N.R. Cameron, Brooks James, Bernard, B. Bernie; TDI-Brooks International. Surface Geochemical exploration continues to progress global deepwater frontiers.
- W Potter, Robert. Sta Fe Minerals Inc. Significance of Geochemical Anomalies in Hydrocarbon exploration: One company's experience.
- TDI. Brooks International. Discussion: Background versus seepage in the deepwater Gulf of Mexico.
- W Klusman, Ronald. Colorado School of Mines. Microseepage of light hydrocarbons as applied to surface geochemistry. Theoretical aspects.
- Winters, Bill; Lorenson, Tom, USGS. Gas Hydrate studied in the northern Gulf of Mexico.
- Schumacher Dietmar. Geo Microbial Technologies Inc. Petroleum Exploration in Environmentally Sensitive Areas: Opportunities for non-invasive Geochemical and Remote Sensing Methods.
- Holguín, Noel; Lara, Joel, PEMEX; Bernard, Bernie; Brooks, James. TDI-Brooks International. PEMEX'S Surface Geochemical Exploration Studies in the Southern Gulf of Mexico.
- M. Brooks, James, TDI-Brooks International. 2002 East Java Sea Surface Geochemical Exploration (SGE) Consortium Programs.
- Schumacher, Dietmar; C. Hitman, Daniel. Geo Microbial Technologies Inc. Geochemical Exploration in Mature Basins: New Applications for Field Development and Production.
- K Whelan, Dr Jean; Woods Hole Oceanographic Institution. The Dynamic Migration Hypothesis.
- Petroventures. Investment Opportunity in India's Upstream Oil & Gas sector.
- Y. H. Rao; Subrahmanyam, C. National Geophysical Research Inst. India; Rastogi, A.; Deka, B. Gas Authority of India. Anomalous Seismic Reflections Related to Gas/Gas Hydrate occurrences along the western Continental Margin of India.

MIGRACION KIRCHOFF EN TIEMPO ANTES DE LA SUMA EN UN AREA COMPLEJA DE LA PARTE CENTRAL DE CUBA.

Dr. Hector A. Zambrana Mazorra

UCTBIG DIGICUPET

Se muestra de forma practica el resultado de la migración en tiempo, utilizando el algoritmo de Kirchhoff para el procesamiento de los datos en varias líneas sísmicas de diferentes levantamientos donde anteriormente fueron realizados suma Post Stack en la parte central de Cuba.

El objetivo fue ubicar los altos estructurales perspectivas en su verdadera posición en el subsuelo, reducir las deformaciones de la imagen sísmica causadas por el campo de velocidades en la zona de tectónica compresiva.

La importancia del trabajo, radica en la determinación de las velocidades para hacer una migración correcta en tiempo y con un modelo preconcebido a veces sin tener la información de pozos.

Se da una secuencia óptima para el proceso que ahorra tiempo y memoria. Este procedimiento permite tres secuencias de trabajo diferentes, como la migración completa del conjunto de datos mediante el modelo de velocidad y obtener también el conjunto de salida de los datos y poder ejecutar un análisis de velocidad residual; obtención de la imagen migrada como un instrumento del análisis de velocidad iterativo por las áreas seleccionadas y con la realización del NMO y obtención de la imagen migrada mediante un análisis de velocidad por escaneo en áreas seleccionadas y la selección de velocidades optimas.

El método de control de la calidad consiste en determinar cual función de velocidad permite después demigrar los registros ordenados por puntos medios de profundidad (CMP gather) aplanar y horizontalizar los reflectores asociados a eventos geológicos de interés, permitiendo un modelo robusto de velocidad y estimar con una mejor precisión la profundidad en conversión. La nueva secuencia de la migración antes la suma permite obtener mejores resultados, mediante la preservación de las amplitudes, esquemas de compensación, la cinemática de los eventos, el conjunto de offset de salida y la implementación en paralelo.

Los resultados fueron positivos, empleando una ley correcta de velocidad y atenuando los ruidos, lo que demuestra la potencia del algoritmo y debemos seguir trabajando en esta línea para mejorar los mismos; debido al consumo de tiempo en el proceso de migrar en tiempo se utilizo la supercomputadora SGI – Origen 3200, con el software Geocluster de la CGG.



ASPECTOS DE PROCESAMIENTO QUE PUEDEN FALSEAR O ESCLARECER LA IMAGEN SÍSMICA 2D OFFSHORE.

Ing. Nancy E. Sterling Baños, Dr. Héctor Zambrana y Ing. Bárbara E. González Arce.

Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET)
Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba.
Email: nancy@digicupet.cu

RESUMEN

El presente trabajo refleja aspectos a considerar que pueden cambiar, enmascarar o esclarecer la imagen sísmica durante el procesamiento sísmico.

En una geología como la de Cuba, caracterizada por una compleja tectónica de cabalgamiento es recomendable trabajar en detalle y considerar algunos aspectos tales como:

- Selección adecuada de procedimientos para la atenuación de ruidos en
- el registro sísmico.
- Tratamiento detallado en los análisis de velocidad
- Transformación de los datos sísmicos adquiridos a fase mínima (tierra) y fase cero (mar).
- Conservación de amplitudes.
- Tratamiento cuidadoso en el post-procesamiento.

Otro aspecto a tener en cuenta asociado al modelo geológico es el paso de predicción (GAP) en la deconvolución, recomendándose:

GAP pequeño -----> para intervalos de tiempo donde existan presencia de cuencas sedimentarias.

GAP grande -----> para intervalos de tiempo donde existan presencia de eventos compresivos.

El tema reviste interés para todos los especialistas de datos sísmico, como herramienta para detectar errores que se cometen en los resultados del procesamiento sísmico, por ejemplo secciones sísmicas muy limpias de ruidos, sin embargo se han eliminado ejes cofásicos de ondas útiles con la atenuación de ruidos.

ABSTRACT

The present work reflects aspects to consider that can change, to mask or to clarify the seismic image during the seismic data processing.

In geology like as Cuban, characterized by a complex tectonic, like fold and thrust belt and over thrust, it is advisable to work in detail and to consider some of such aspects:

- Selection of the parameters for noise attenuation
- Detail treatment during the velocity analysis.
- Transformation of the acquired seismic data to minimum phase (land) and to zero phase (marine).
- Amplitude conservation
- Carefully treatment of the data during the post-processing.

Another aspect to keep in mind, associated to the geological model, it is related to the deconvolution gap:

Small gap -----> For time windows, where sedimentary basins are present.

Big gap -----> For time windows, where compressive events are present.

The topic is interest for all the seismic specialists, both data processing specialists and geologists, as well, as a tool to detect errors that are made during the seismic data processing, for example seismic sections to free of noises, however some useful waves have been eliminated together with the noises attenuation, mainly in the post-processing stage, with the two-dimensional filter FK (the



coherent noise attenuation), many examples are shown like that of a seismic section with wrong employment of the filter FK and another making a good use of the same one.

INTRODUCCION

El cuadro de ondas útiles de los datos de campo llegan al centro de proceso con problemas que requieren de una atención especial en su tratamiento tales como:

- Ruidos de diferente naturaleza.
- Líneas proyectadas con combinación de puntos de tiro (explosivos) y vibrados
- Deriva del cable sísmico producidas por las corrientes marinas.
- Ondas laterales (sísmica 2D) generadas por las cercanías del talud marino y/o relieve irregular del fondo marino (aguas someras y medias).

Un peso importante en el procesamiento es el estudio cuidadoso del cuadro de ondas de los datos adquiridos para dirigir el mismo a la atenuación y correcciones de los efectos nocivos con el propósito de obtener una buena imagen sísmica lo mas cercana al medio geológico.

MÉTODOS.

En la secuencia de procesamiento la atenuación de ruido tiene un peso importante, siendo tratado en la actualidad con las nuevas técnicas modernas que permiten realizar parte de la edición de trazas de modo automatizado y con menos pérdida de información. Esta operación se realizaba manualmente consumiéndose un tiempo muy grande y sumándosele además la perdida de información útil.

Cada tipo de ruido requiere ser tratado con el procedimiento adecuado y con los parámetros que garantice la no perdida de información útil.

Tipos de ruidos:

- Inductivos.
- De picos anómalos de amplitud (spike).
- Producidos por fuentes externas.
- Ground roll (terrestre).
- Múltiples del fondo marino.

Otro aspecto a tener en cuenta es el estudio detallado de las velocidades:

- Para el caso de Migración después de la suma:
 - 1^{er} Análisis de velocidades antes de la atenuación de las ondas múltiples.
 - 2^{do} Análisis de velocidades después de la atenuación de las ondas múltiples.
 - 3^{er} Análisis de velocidades de ajuste, con tratamiento de migración parcial por planos offset, obteniéndose una ley mas precisa para el DMO-Suma.
- Para el caso de Migración antes de la suma en profundidad:
 - 1^{er} Análisis de velocidades residuales a partir de la obtenida en la migración después de la suma.
 - 2^{do} Transformación de las velocidades a RMS.



- 3^{er} Análisis de velocidades residuales RMS.
- 4^{to} Transformación de las velocidades RMS a velocidades de intervalo en profundidad.
- 5^{to} Análisis de velocidades residuales de intervalo en profundidad.
- 6^{to} Actualización del modelo de velocidad de intervalo en profundidad con tratamiento de tomografía.

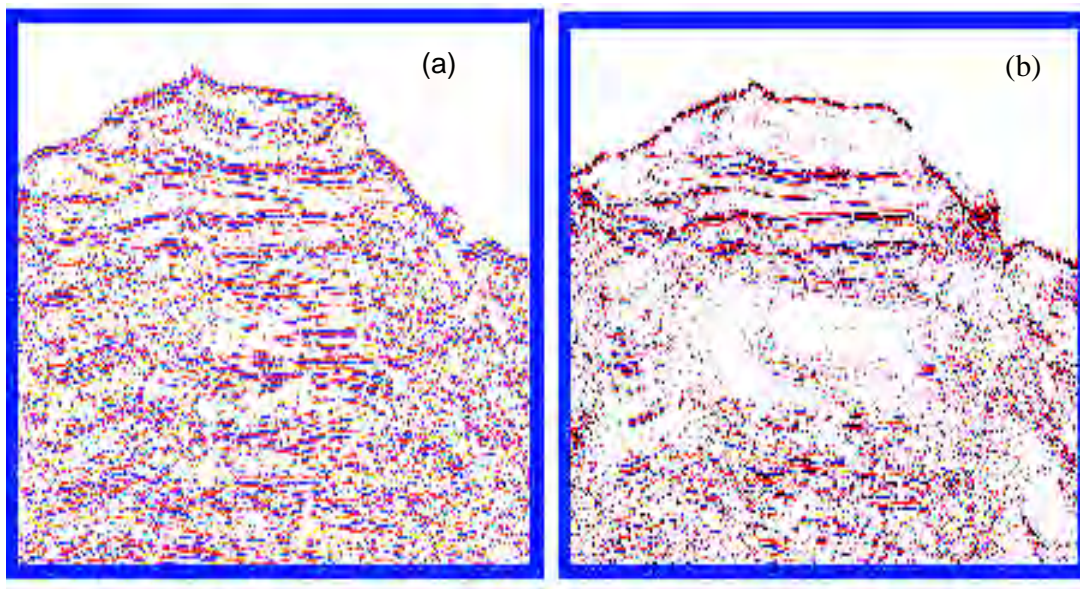


Figura 1 – En estas dos imágenes puede apreciarse el empleo del tratamiento de ruidos; coherentes, aleatorios y de las ondas múltiples. La atenuación de los mismos permitió hacer un mejor análisis de velocidad. En la imagen (a) se observa una mejor definición de la estructura (knolls) que en (b).

Transformación de los datos sísmicos adquiridos a fase mínima (tierra) y fase cero (mar).
Conservación de amplitudes.

Tratamiento cuidadoso en el post-procesamiento.

Otro aspecto a tener en cuenta asociado al modelo geológico es el paso de predicción (GAP) en la deconvolución, recomendándose:

GAP pequeño -----> para intervalos de tiempo donde existan presencia de cuencas sedimentarias.

GAP grande -----> para intervalos de tiempo donde existan presencia de eventos compresivos.

RESULTADOS

En el procesamiento debemos prestarle vital atención a etapas de los procesos aplicados que podrían enmascarar o distorsionar la resolución de la imagen sísmica.

- Compatibilizar las fases y amplitudes de las trazas sísmicas en líneas rectilíneas con combinación de puntos de tiro y vibrados.



- En la adquisición marina en Cuba el efecto de la corriente del golfo sobre los cables sísmicos (straemer) producen un ángulo de deriva considerable, es necesario dar un tratamiento adecuado para no provocar una imagen distorsionada en las secciones sísmicas.
- Para la atenuación de las ondas múltiples del fondo marino en régimen de producción es eficaz la aplicación del filtro de función parabólica y para los offsets cercanos que no se atenúan con esta filtro existen dos formas de atenuarlos: aplicando mute interno (etapa de búsqueda y reconocimiento) y aplicando filtro de función lineal (etapa de detalle). (ver Figura 1)
- Para la atenuación de los ruidos hay que analizar el cuadro de onda, identificar los tipos fundamentales presentes en la información y realizar las pruebas para establecer los procedimientos mas efectivos de atenuación. En cada paso de la atenuación de ruido se tiene que hacer un control de calidad para ver si hemos atenuado información útil, para ello se debe controlar la no alteración del espectro de frecuencia y amplitud y además hacer la diferencia del PT de campo con el PT atenuado de ruido.
- La corrección por la divergencia el método V2T, obtiene una imagen más real de la distribución de las amplitudes con el tiempo. Es importante a lo largo del procesamiento velar por la conservación de las amplitudes una vez realizada la corrección de la misma y no utilizar procedimientos que puedan alterarlas.
- En la etapa de post procesamiento debemos tener en cuenta aspectos tales como:
 - 1- Atenuar los ruidos antes de llegar a la etapa de migración.
 - 2- Atenuar solo residuales de ruidos en esta etapa.
 - 3- Tratar el filtro FK (atenuación del ruido coherente) muy suave bajo la observancia de que no exista ningún evento útil con la pendiente que vamos atenuar. (ver Figura 2)
 - 4- De aplicarse ecualización, el largo del operador debe ser grande para toda la sección sísmica y nunca variable en tiempo, es mas recomendable la aplicación de ganancia.
 - 5- Se debe evitar aplicar mezcla de trazas, que produce un estiramiento de los reflectores.

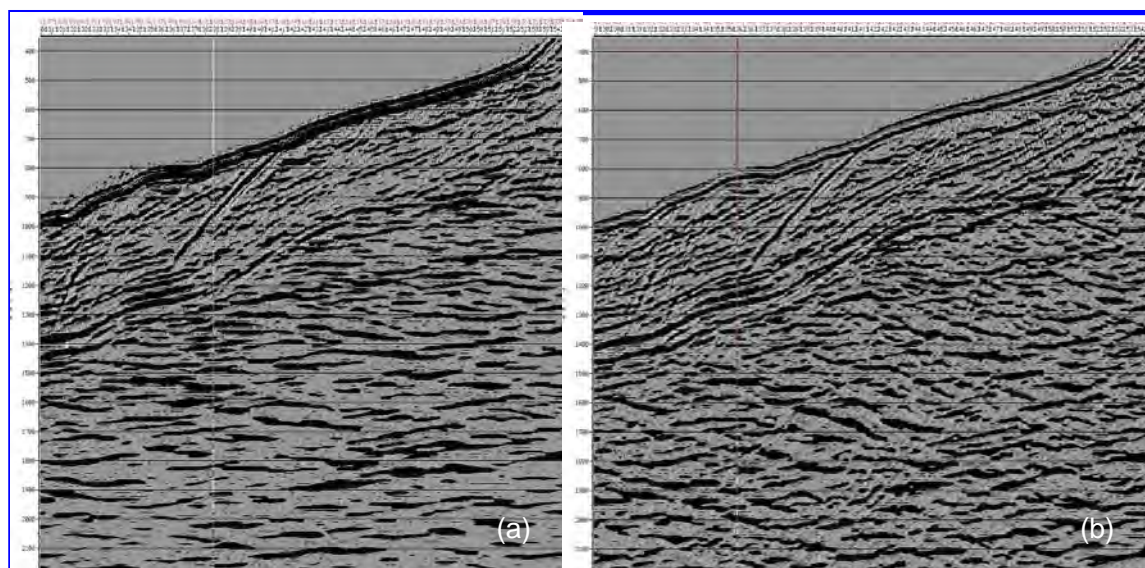


Figura 2 – En las dos imágenes se aplicó la misma secuencia de procesamiento, con las implicaciones siguientes; en (a) se obtuvo una imagen pésima por el mal tratamiento del filtro FK. En (b) se trató el filtro Fk de manera correcta. Observe como en (a) se pierde las estructuras compresivas.

CONCLUSIONES

Lo reflejado aquí es solo una pincelada de las infinitudes de errores que pueden cometerse en esta problemática compleja que es el procesamiento de los datos sísmicos y conlleva a representar imágenes sísmicas irreales, esto da la medida de la importancia que tiene, considerado por muchos especialistas como la primera interpretación sísmo – geológica. Errores en el procesamiento conllevan a interpretaciones erróneas por sísmicos y geólogos petroleros y trayendo como consecuencia una ubicación no real del pozo exploratorio.

RECOMENDACIONES

1. Durante todo el procesamiento se deben hacer controles de calidad no solo la observancia de las sumas sino también con análisis espectrales de amplitudes y frecuencias.
2. Debido a la influencia que tiene el ángulo de deriva en la calidad de la información sísmica se recomienda mantenerlo en un rango no mayor de 10 grados..
3. Velar porque en la adquisición sísmica 2D el nivel de ruido en los aspectos antes señalados no sobre pase el 10 %.

BIBLIOGRAFÍA

Yilmaz, O, 1994, Seismic Data Processing

PRIMERA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2005.
Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de Abril del 2005.



Bancroft, J., 1996, A Practical Understanding of Pre and Post-stack Migrations.
Stark, A., 2001, University of Calgary, Advanced Seismic Processing.
GeoDepth Power2D Training Manual, 2004Paradigm. The geoscience knowledge company.

LAS ELECTROFACIES COMO APOYO EN EL ESTUDIO DE LOS RESERVORIOS, TOMANDO COMO EJEMPLO LOS YACIMIENTOS DE LA FRANJA NORTE DE CRUDOS PESADOS DE CUBA

Olga Castro Castiñeira, Dania Brey del Rey, José Hernández León, José Fernández Carmona

Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, Esquina a Churruca, Cerro, Ciudad Habana.

La identificación de las facies es un momento primordial en la evaluación de las formaciones. Una facies geológica puede definirse en cuanto a su geometría, litología, paleontología, estructura sedimentaria y patrones de paleocorrientes. Como postulado inicial, por la importancia que reviste el término electrofacies en el estudio del corte de los pozos, se establece una definición del mismo: un conjunto de mediciones de registros hechas en un nivel particular de un pozo representa una evaluación de algunas de estas propiedades en términos de resistividad, densidad, e índice de hidrógeno entre otros. Entonces, un conjunto de registros representa una electrofacies que más tarde podrá correlacionarse con una facies geológica.

Para la mejor comprensión acompaña de la representación esquemática de los registros ante diferentes litologías y se analiza un ejemplo particular de un corte de carbonatos con diferentes propiedades, muy característicos en los yacimientos cubanos.

A partir de estas premisas se hace posible establecer y caracterizar las electrofacies presentes en algunos yacimientos importantes por su producción. Para esto se utilizaron los pozos con un complejo de registros completos que incluye los métodos eléctricos y radiactivos fundamentalmente. Además, se utilizan los registros de imágenes FMS y FMI. El estudio se complementa con los perfiles de calcimetría.

En los yacimientos tomados como ejemplo se relacionan las electrofacies con las litofacies que pudieron separarse.

Quedan sentados los patrones para encontrar semejanzas y diferencias durante el estudio de otras áreas con similar historia geológica, composición y propiedades de reservorios.

CARACTERIZACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS EN AREAS DIVERSAS EMPLEANDO METODOS GEOFISICOS Y GEOQUIMICOS

José Luis H. Dehesa; Roberto Hernández Z., Et Al.

*Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura
Unidad Ticomán, Departamento De Geofísica*

El desarrollo de la industria petrolera y de sus derivados ha traído muchas consecuencias, entre otras, desarrollo para algunos países productores; pobreza y dificultades para los países que no cuentan con el preciado recurso; codicia para los industriales del ramo; y hasta guerras por el control económico del mercado propiciadas por países abusivos y hegemónicos.

Pero definitivamente la única herencia que se deja como factor común a toda la industria en todas las naciones, es sin lugar a dudas la contaminación del medio ambiente.

La creciente necesidad de tener un equilibrio ecológico ha propiciado que un área muy específica, la de la contaminación de los suelos y los cuerpos de agua recurra a técnicas que faciliten la toma de decisiones en aquellos sitios que se han visto involucrados en actividades de producción, transporte, proceso y comercialización de petróleo y todos sus derivados.

La caracterización de hidrocarburos es al menos en México una de las prioridades que en ultimas fechas ha conducido a todos los sectores, desde el productivo, hasta el gubernamental, empresarial y académico, a integrar a todas las disciplinas relacionadas con las ciencias de la Tierra, en especial a la geofísica, geoquímica y geotecnia en tendencias, reglamentos, leyes y criterios para evaluar los volúmenes, desarrollos y evaluaciones de las plumas y estelas contaminantes en el subsuelo.

El presente trabajo mostrara la secuencia de actividades relativas a la exploración en sitios diversos que muestran la aplicación de métodos geofísicos eléctricos de potencial natural; resistividad eléctrica y radar de penetración, así como los geoquímicos de gasometría y determinación de concentraciones, los que auxiliados por datos petrofísicos y geotécnicos, permiten llegar a resultados sorprendentes en la determinación de las mencionadas plumas contaminantes, su modelado conceptual, así como la determinación de los métodos de restauración (remediación) que son necesarios para la recuperación de los suelos y los cuerpos de agua.

Se presentan evaluaciones para fugas en ductos; derrames por accidentes carreteros de autotankers transportadores; derrames paulatinos por la actividad comercial en estaciones de servicio (gasolineras) y centros de distribución y almacenamiento de productos petrolíferos, tanto en la Ciudad de México, como en el interior de la Republica Mexicana.

Asimismo, se presenta el diseño y evaluaciones de un reactor de prueba experimental que muestra la afectación de las propiedades petrofísicas por la actividad de la bacteria *pseudomonas putida*, siempre presente en los sitios contaminados por hidrocarburos del petróleo en suelos y que ha conducido a fuertes controversias entre los geofísicos involucrados en el área ambiental.

El trabajo presenta de igual manera las características que son necesarias para la aplicación de los geofísicos en la materia, ya que se ha demostrado que las disciplinas requeridas del conocimiento van mas allá de la simple preparación tradicional en materia de prospección a las que nos hemos acostumbrado en los últimos decenios.

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN UN DEPÓSITO DE RÍO TRENZADO. ANTIOQUIA, COLOMBIA.

Camilo Restrepo V.⁽¹⁾, **Maria V. Vélez O.**⁽¹⁾, **Humberto Caballero Acosta.**⁽¹⁾,
Juan Camilo Gómez R.⁽¹⁾

(1) Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Núcleo Robledo, Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio ambiente. Cra. 80 # 64- 223. Bloque M-2 of. 301. Medellín, Colombia. E-mails: crestre1@unalmed.edu.co, mvvelez@unalmed.edu.co.

RESUMEN

La prospección geofísica y específicamente hidrogeológica de depósitos originados por ríos trenzados es una de las tareas más difíciles para la hidrogeología (Fetter 1988), ya que la depositación de sedimentos finos y gruesos puede ser muy aleatoria, debido a la existencia de varios canales que tienen la capacidad de migrar lateralmente, característico de un río trenzado. Esta heterogeneidad dentro del depósito, influye tanto en sus propiedades hidráulicas como en su conductividad eléctrica.

Se presentan en este trabajo los resultados de la evaluación del potencial acuífero de una zona sobre el valle de un río trenzado, el Tonusco, situado en el municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia, donde la escasez de aguas superficiales convierte a las aguas subterráneas en una buena alternativa de abastecimiento.

Como herramienta principal de prospección se utilizaron los SEV (Sondeos Eléctricos Verticales) por medio del arreglo Schlumberger.

Se planteó un modelo geológico del subsuelo por medio de transectos o perfiles geoeléctricos, apoyados con información de columnas estratigráficas lo que permitió determinar los cambios bruscos en la granulometría del depósito.

Con la información del modelo geológico, y los niveles de agua medidos, se definieron los posibles acuíferos dentro de la zona. Se concluyó que estos no están siendo recargados en su totalidad por aguas del río Tonusco, sino que también existe la posibilidad de un flujo regional que aporta agua al depósito.

ABSTRACT

The geophysical exploration and specifically hydrogeological of deposits originated by braided channels is one of the most difficult works for the hydrogeology. The deposition of different size sediments can be very random, due to the existence of many channels which can migrate laterally, typical of a braided channel. The heterogeneity of the deposit influences its hydraulic properties and its electrical conductivity.

This work shows the results of groundwater potential evaluation over a zone on the Tonusco's river valley, a braided channel. At Santa Fé de Antioquia, Colombia.

The zone has shortage of superficial waters, and the groundwater turn in a good alternative of supply the necessity of drinking water.

The main exploration tool was the VES (Vertical Electrical Sounding) using a Schlumberger arrangement.

A geological ground model was made using geoelectrical profiles and stratigraphic columns; with these tools is possible to determinate changes in the deposit size grains.

Using the geological ground model and the water table levels, the possible aquifers were defined. A conclusion is that the aquifers are not being recharged just by the river Tonusco, because there is a regional flow which introduces water into the aquifers.

INTRODUCCIÓN

En el municipio de Santa Fé de Antioquia (Colombia), existe una demanda importante de agua que se incrementará a corto plazo con la inauguración del nuevo Túnel de Occidente. Debido a sus condiciones climáticas es una de las principales zonas turísticas de Antioquia, y en el área existe escasez de fuentes superficiales de agua por lo que el agua subterránea adquiere una importancia mayor.

El municipio de Santa Fé de Antioquia se sitúa en el occidente antioqueño sobre el abanico aluvial del Río Tonusco, el cual tiene corriente de carácter trezado y deposita materiales aptos para la acumulación de agua, pero que a su vez dificulta la exploración de agua por la poca homogeneidad del depósito. Para este trabajo se utilizó principalmente el método geoelectrico, usando SEV (Sondeos Eléctricos Verticales) como método de exploración geofísica. La información geofísica requirió de constante apoyo de información geomorfológica y trabajo de geología de campo, específicamente levantamiento de columnas estratigráficas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se revisó la información secundaria de tipo geológica – geomorfológico, a partir de fotos aéreas para determinar la geomorfología y geología superficial de la zona. Se hizo trabajo geológico de campo con levantamiento de 16 columnas estratigráficas para determinar los principales contactos entre las unidades geológicas presentes y así descartar las zonas con potencial nulo.

Geológicamente es una zona muy variada, con rocas metamórficas e ígneas en las zonas mas altas; pequeñas colinas compuestas de rocas sedimentarias (INGEOMINAS 1983) y una zona plana la cuál está compuesta de los materiales aluviales del río Tonusco en nuestro caso, serían los de mayor importancia hidrogeológica. Luego se realizó la exploración geofísica que constó de 16 SEV en el sector del abanico aluvial del río Tonusco y 3 calibraciones sobre sus terrazas aluviales las cuales se analizaron posteriormente. La figura 1 presenta la topografía y la ubicación de los sondeos.

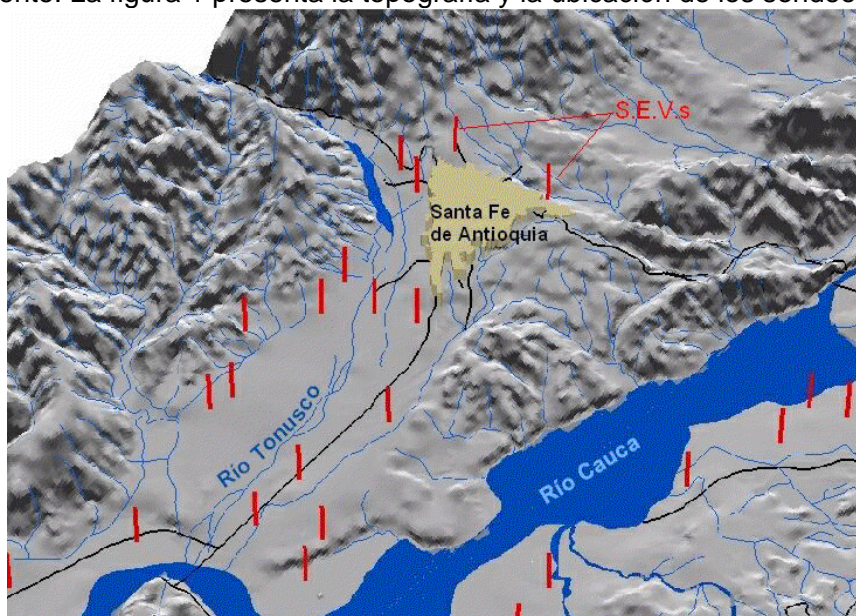


Figura 1. Ubicación de los SEV y Topografía de la Zona.

Se analizaron los sondeos por medio del programa IPI2WIN, el cual también permite hacer correlaciones entre sondeos (interpretados) para tratar de visualizar por medio de transectos, la variación y continuidad espacial de los estratos, de gran utilidad para la realización del modelo hidrogeológico. Cada uno de estos perfiles geoeléctricos se apoyó con información geológica de campo, específicamente de columnas estratigráficas, que indicaban la continuidad de los niveles de diferente tipo de material. Uno de los transectos se presenta en la figura 2., el perfil geoeléctrico muestra en el lado izquierdo la profundidad de información del sondeo, y en el lado derecho el valor de la resistividad.

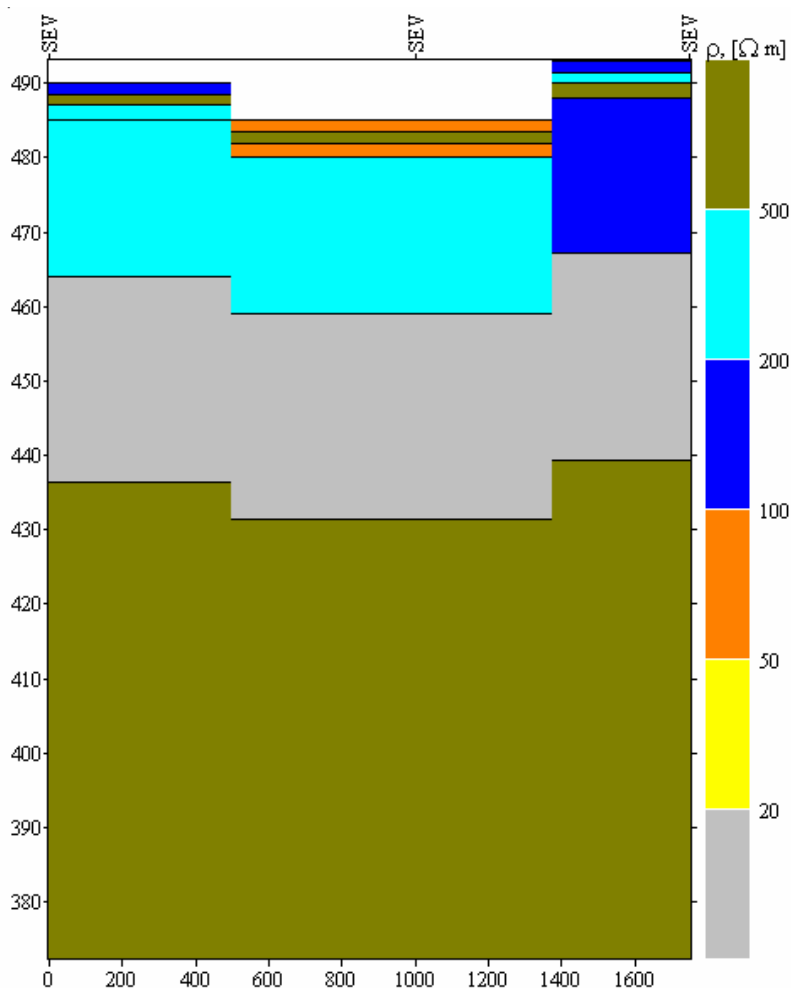


Figura 2. Transecto o Perfil Geoeléctrico de Tres SEV.

Luego de analizar varios perfiles con información de campo se plantea un modelo geológico del subsuelo, materializado por medio de perfiles geológicos que permitían visualizar el comportamiento de aquellos materiales en profundidad, para posteriormente ubicar dentro del modelo los diferentes niveles freáticos, hallados por inventario de pozos y por contrastes registrados en los valores de resistividad.

RESULTADOS

Luego del trabajo de campo se determinó que los depósitos cuaternarios del río Tonusco eran los mas importantes en cuanto a contenido de agua y se definen rangos de

resistividad, clasificándolos en secos y saturados. La Tabla I presenta los valores de resistividad hallados para cada uno de los materiales encontrados.

Tabla I. Rangos de Resistividades.

Tipo de Material	Resistividades (Ohm – m)	
	secas	saturadas
Cuaternario		
Intercalaciones de arenas finas, limos y arcillas	5 - 80	0 - 50
Arenas con menor contenido de grava	80 - 200	50 - 150
Arenas con mayor contenido de grava	200 -1000	150 - 500

Se realizó el modelo geológico del subsuelo, el cual se interpreta por medio de perfiles geológicos y diagramas de bloque realizados en el programa RockWorks 2002. Se hicieron varios perfiles geológicos, 2 perfiles longitudinales y dos transversales. La figura 3 presenta su ubicación dentro de la zona.

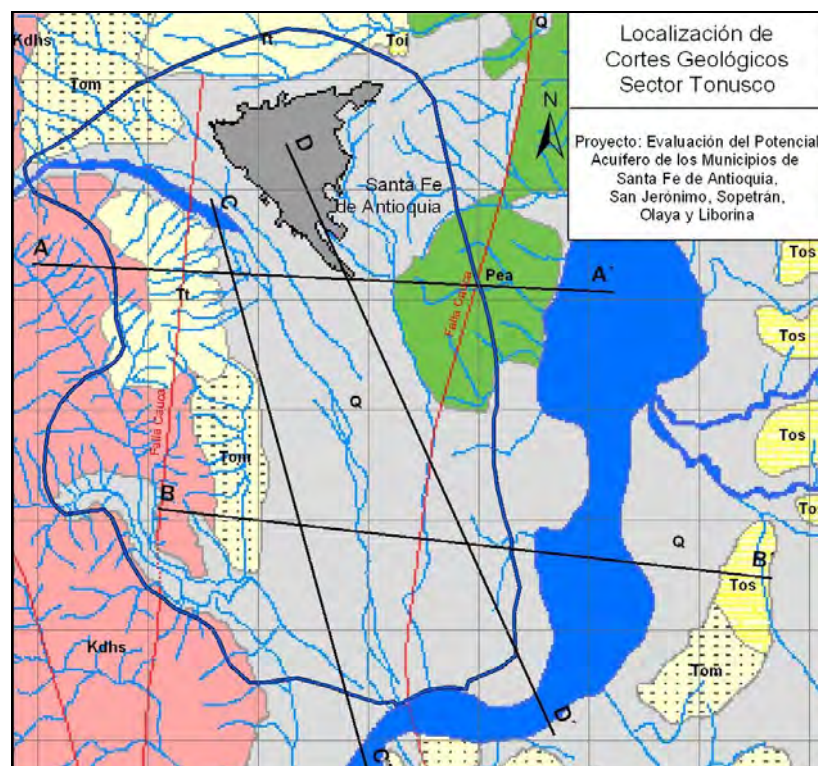


Figura 3. Ubicación de los Perfiles Geológicos de la Zona.

Se presentarán los dos longitudinales al abanico aluvial, pues dan más ilustración del depósito.

El Perfil C – C' ilustrado en la figura 4, tiene una dirección aproximada N17°W y 5500 m. de longitud. Este es un corte longitudinal y se realizó a lo largo de la margen derecha de las terrazas del río Tonusco y va desde el río Tonusco en cercanías al municipio de Santa fe de Antioquia hasta el río Cauca. En este se presentan materiales cuaternarios,

caracterizados en su mayoría por arenas con alto contenido de gravas y a mayor profundidad se encuentra una capa espesa de arenas finas. Además es posible observar el pinchamiento de las capas de arenas con alto contenido de gravas.

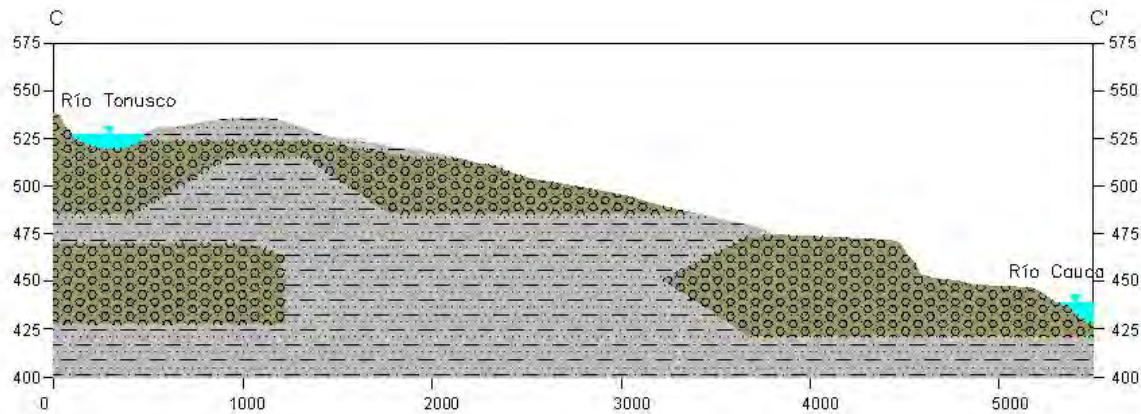


Figura 4. Perfil Geológico C-C'.

El perfil D – D' ilustrado en la figura 5 fue trazado en dirección N23°W y con una longitud de 6000 m. Esta ubicado desde el municipio de Santa Fé de Antioquia hasta el río Cauca. El sector de Santa Fé de Antioquia se encuentra sin información ya que no fue posible la realización de SEV en el sector. Hacia el Este se observan los depósitos del río Tonusco que se mezclan con los depósitos del río Cauca, empezando con un predominio de arenas finas y luego intercalándose con las arenas con contenido alto de gravas, en cercanía del río Cauca.

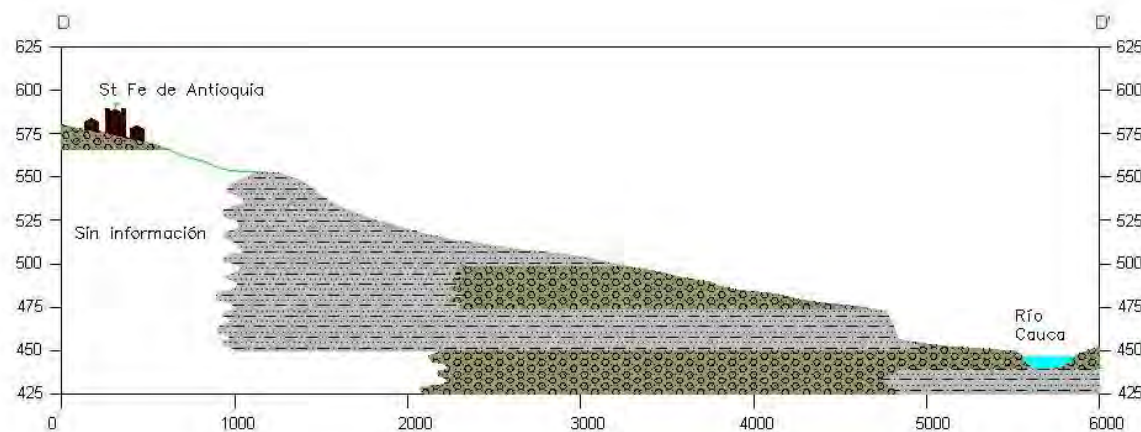


Figura 5. Perfil Geológico D-D'.

Luego de plantear los diferentes modelos se hizo el análisis de los niveles piezométricos. En los depósitos de la margen derecha del río Tonusco los niveles se encuentran relativamente constantes a 25 m. a excepción de zonas que tienen influencias de pequeñas corrientes superficiales, mientras que en la margen izquierda los niveles varían desde los 8 m en cercanías al municipio de Santa Fé de Antioquia hasta los 45 m. en la parte mas distal del abanico aluvial donde el espesor del depósito es mayor. Las figuras 6 y 7 presentan los diagramas de bloque del acuífero determinado y el comportamiento de este a ambas márgenes del río Tonusco.

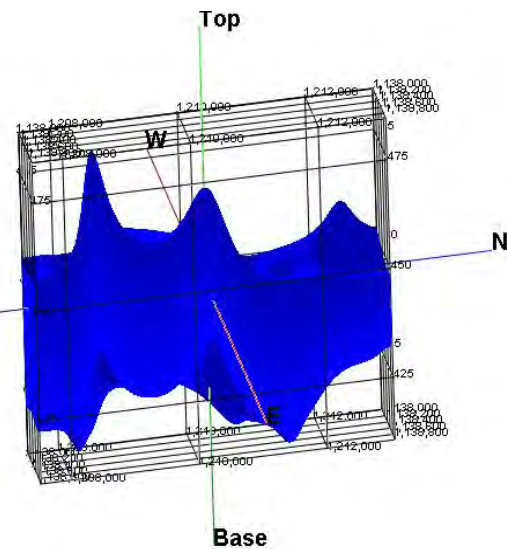


Figura 7. Acuífero Margen Derecha del Río.

Figura 8. Litología del Acuífero.

Los valores de resistividades no superaron los 1000 ohm-m. que nos indica la presencia de material poco consolidado y a su vez permeable, por medio del método geofísico fue

6

posible la determinación de grandes niveles de limos que a su vez eran permeables y que en ningún momento actuaban como barrera impermeable para el agua subterránea.

Según los resultados obtenidos es posible afirmar que los principales materiales acumuladores de agua se concentran en los depósitos originados por el río Tonusco. El depósito a pesar de tener materiales finos como los limos no presenta capa alguna que indique la presencia de un acuífero confinado; es libre con permeabilidad alta debido a la poca compactación del depósito.

Los niveles piezométricos a ambos márgenes del río son variables, mientras que en lado derecho la profundidad máxima de agua fue de 25 m., en la margen izquierda se presentaba a igual cota una profundidad de 45 m. Se plantea que en esta parte del acuífero no tiene influencia alguna del río Tonusco, sino que es posible la presencia de un flujo regional proveniente de la cordillera. Para comprobar esta hipótesis se requiere de estudios posteriores.

CONCLUSIONES

Por medio de la geoelectrica, se determinó la composición general del depósito, compuesto principalmente por diferentes tamaños de arenas con contenido variable de gravas, se encuentran intercaladas con niveles de limos poco compactados y permeables. Dentro del depósito hay barras distribuidas aleatoriamente de arenas medias y de limos (Salazar y Sánchez, 2003) .

Se identificó una sola unidad hidroestratigráfica relacionada con los materiales aluviales de las terrazas formadas por el río Tonusco. El acuífero aledaño a ambos márgenes del Tonusco tiene área superficial de 12,517 Km.² y niveles piezométricos muy variables a ambos márgenes del río; en la margen derecha el nivel piezométrico se halla relativamente constante a 25 m. y tiene espesor variable entre 25 y 55 m., en la margen izquierda del río los niveles piezométricos varían desde 8 m. en cercanías a Santa Fé de Antioquia hasta 45 m. en la parte mas alejada del abanico, donde el espesor del depósito es mayor y el espesor de acuífero, deducido de los cortes es 50 m.

La forma del depósito (abanico aluvial) permite que los niveles piezométricos aumenten a medida que se aleja de la parte proximal del abanico, siempre y cuando no presente barreras impermeables que impidan la libre circulación del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Fetter, C.W 1988. Applied Hydrogeology. 2^a edición. University of Wisconsin-Oshkosh. Macmillan Publishing Company. 269p.
- Ingeominas, 1983. Geología y geoquímica de las planchas 130 (Santa Fé de Antioquia) y 146 (Medellín-Occidental). Medellín (Colombia).
- Salazar, S., C. Sánchez, 2003. Caracterización geomorfológica y estratigráfica de los depósitos cuaternarios en los alrededores de Santa Fe de Antioquia. TDG. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 26p.



EVALUACIÓN GEOELÉCTRICA DEL RIESGO GEOLÓGICO EN CUENCAS DE DRENAJE, UN EJEMPLO EN EL PERÍMETRO URBANO.

Jorge L Chang Bravo*, Rubén Stout Smith*, Fidel Prieto Castro*, Pedro H. Pérez Delgado*, Eladio Kessel Herrera*, Antonio Oviedo Balbín*.

** Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana, CP 11000, Cuba. E-mail: chang@igp.minbas.cu*

RESUMEN.

El crecimiento demográfico no planificado en zonas periféricas a grandes urbes, generalmente favorece la aparición de severos problemas medioambientales; capaces de provocar situaciones de riesgos geológicos.

"La Corea", barriada periférica de la Ciudad de la Habana, donde el insuficiente control y desarrollo de la infraestructura urbana sumado a problemas socioculturales, propiciaron el surgimiento de daños ambientales; sirvió de escenario para un estudio del subsuelo, dirigido a la identificación del origen de agrietamientos, oquedades y hundimientos de placentas pisos, y cimientos de inmuebles.

Una técnica geofísica: levantamiento geoelectrico, revelo zonas de bajas resistividades indicativas de la presencia de altos contenidos de agua, en las direcciones naturales de las escorrentías y partes bajas del área estudiada. Fue posible establecer las direcciones de mayor escorrentía de las aguas en la micro cuenca local, destacar las zonas de mayor riesgo geológico por sobresaturación de aguas y degradación de los suelos, posicionar los puntos antropogénicos de recarga y ruptura del equilibrio natural del sistema de drenaje; y descartar la posibilidad de agrietamiento, fractura falla tectónica, capaz de encausar el flujo de las corrientes de aguas subterráneas tal como fue prevista en la hipótesis de partida.

Las investigaciones, que devinieron en evaluación geoelectrica de la cuenca de drenaje local, arrojaron que el área de estudio presenta sobresaturación de su sistema natural de drenaje; provocada por el inadecuado uso y mal manejo de aguas albañales y aguas residuales del consumo doméstico, y una numerosa concentración de fosas sépticas y cochiqueras (puntos de recarga). Este exceso de aguas de infiltración provocó un colapso en el sistema de drenaje y escurrimiento natural del subsuelo; propiciando un proceso de deterioro y marcada degradación ambiental.

Esta situación de riesgo demostró ser la causante de perdidas materiales: hundimientos, inundaciones, derrumbes y agrietamiento de paredes, columnas y pilotes, destrucción parcial de techos, viales; y capaz de generar afectaciones a la salud humana, tal como lo revela la presente investigación.

ABSTRACT.

The not planned demographic growth in outer zones of large cities, generally causes serious environmental problems; able to provoke geologic risky situations.

"La Corea", outer town in Havana City, where insufficient control and development of the urban infrastructure along with sociocultural problems, gave way to the rise of environmental damages, and was used as a scenario to study the underground, directed to the identification of the origin of fissure, holes, and sinking of backyards stories and foundation of houses and properties.

A geophysical technique: a geoelectric survey, showed low resistivities zones that indicate the presence of high water contents in the natural dripping directions and low parts of the studied area. It was possible to establish the directions of main dripping of water in the local basin, remark the greatest geologic risk zones due to water over-saturation and soil degradation of soil, locate the anthropogenic points of recharge and the natural equilibrium breaking point for the drainage system; and, disregard the possibility of fissure, fractured, or tectonic fault able to improve the flow of groundwater currents, such as it was planned in the beginning hypotheses.

The investigations, that gave way to geoelectric evaluation of the local drainage, showed that the study area shows over-saturation of its natural drainage system due to the wrong use and management of sewer waters, wastes of domestic consumption, and a great concentration of septic trenches, cisterns, and pigsty (as a point of recharge). This excess of infiltration water, caused the drainage system and natural underground dripping to collapse, giving way to a deteriorate process and environmental degradation.

This risky situation caused material looses, sinkings, floodings, collapses in columns and piles, walls cracking, partial destruction of roofs, roads; and can produce human health problems, just like the present investigation reveals.



INTRODUCCIÓN.

Hasta hoy resulta en extremo común la divulgación científica de los riesgos geológicos que ocurren a manera de desastres en circunstancias naturales, propiciando desenlaces catastróficos; que generalmente se materializan de forma episódica o incidental, a menudo con un alcance regional o global. En cambio, otros mas locales, comunes, cuya naturaleza resulta menos obvia tienen lugar en numerosas ciudades, comunidades, y municipalidades con perjuicios igualmente devastadores y efectos adversos para el hombre. Algunos son exacerbados por la actividad humana, como las inundaciones por sobresaturación y destrucción de condiciones naturales del drenaje, como lo refleja la presente investigación.

A instancias del gobierno municipal se condujo una investigación geólogo-geofísica para determinar los orígenes de oquedades y falta de relleno en pisos, que afectan estructuras de algunas viviendas en el capitalino barrio de La Corea. Como hipótesis de partida se tomo la ocurrencia de un paleocanal o cauce subterráneo de aguas, posible causante de la socavación de cimientos y pisos en inmuebles situados en supuesta alineación.

La evaluación geoelectrica en micro-localizaciones urbanas sometidas a riesgo por alteración del sistema natural de drenaje, constituye un ejemplo que pudiese resultar común en todo perímetro urbano de cualquier ciudad. La presente investigación pretende contribuir a la divulgación y promoción científica de fenómenos o situaciones locales de riesgo geológico, estudiadas a partir del empleo de técnicas tradicionales, con alto desempeño e indicadores positivos en su relación costo – beneficio.

TÉCNICAS GEOFÍSICA EN LA EVALUACIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS. CAMPOS DE ACTUACIÓN. APLICACIONES.

Durante años, un grupo de métodos geofísicos han sido probados con éxito en la solución de problemas de riesgo geológico. Tres, cuatro décadas atrás, estos mismos fenómeno eran abordados ya por la geofísica desde otra óptica u enfoque, en designaciones tales como: *Problemas ingenieros*, *Soluciones geotécnicas*, etc, hasta llegar a denominaciones contemporáneas: *Trabajos geoambientales* o simplemente *Estudios de riesgo geológico*.

De manera que hasta el presente, un sinnúmero de técnicas y configuraciones geofísica han sido confrontadas con éxito en disímiles y variados campos de actuación: Deslizamientos de tierras, estabilidad de laderas y taludes; Estudios de carso, detección de cavidades y agrietamientos; Caracterización ingeniero-geológica de objetos de obras; Evaluación no invasiva de sitios arqueológicos e históricos; Valoración ingeniera de riesgos en zonas sismogeneradoras; Monitoreo de la geodinámica marina y costera; Evaluación de acuíferos, drenaje e infiltración de aguas subterráneas, entre otros ejemplos recogidos en todo el mundo.

La diversidad y versatilidad de aplicaciones que tienen los métodos geofísicos en la solución de problemas de naturaleza geológica e ingenieril, alcanza ya prácticamente la generalidad de la tecnología previamente concebida para otros fines. Técnicas sumamente desarrolladas, generalmente costosas para países en



desarrollo, aparecen colmando el mas amplio espectro de aplicaciones en materia medioambiental. Sin embargo reajustes en la metodología de trabajo, escalas y configuraciones, continúan reafirmando que la esencia de la investigación geofísica radica en la determinación de contrastes en las propiedades físicas del medio, y que soluciones tradicionales suelen ser en muchos casos mas económicas.

La versatilidad de aplicaciones exhibe tecnologías previamente concebidas para exploraciones minerales o hidrocarburos. De esta forma es posible encontrar experiencias afines a la temática ambientalista enfocadas a la: Evaluación de la resistividad espectral en la evaluación de antiguas zonas industriales; Detección y estudio de contaminación en suelos mediante el empleo de GPR y Sísmica de reflexión; Resistividad (DC) y Polarización Inducida en el estudio de contaminación de aguas subterráneas; Evaluación de suelos contaminados por metales pesados a partir del estudio de la Susceptibilidad Magnética; Determinación Gravimétrica de estructuras cársticas y cavidades en zonas urbanas; Aplicación combinada de Sísmica de Reflexión (Alta Resolución) y Electromagnéticos (TD) para estudios detallados de acuíferos costeros; Evaluación sísmica y geoelectrica de taludes y deslizamientos; GPR y Tomografía Eléctrica en estudios de sedimentación y compactación del suelo y sus consecuencias en túneles y tuberías técnicas en grandes urbes; Detección y seguimiento de acuíferos confinados en la prevención de riesgos por inundación, usando técnicas Magnéticas y Eléctricas.

La actual investigación, esta soportada por la conducción de un levantamiento geoelectrico resistivo, dirigido inicialmente a la evaluación de hundimientos en pisos, agrietamientos de inmuebles y cimientos; propicio el análisis de los elementos geomorfológicos, e hidrogeológicos y su implicación para el área. En ella se realizó una detallada valoración del impacto ambiental que tienen los diferentes procesos naturales: erosión, corrosión, y degradación del suelo sobre el sistema de drenaje local.

RESULTADOS DE LOS TRABAJO GEOELECTRICOS.

Metodología de los trabajos realizados.

Las líneas de investigación inicialmente se proyectaron de manera casi perpendicular a la posible alineación principal de escurrimiento horizontal (hipótesis de partida) empleando un dispositivo simétrico, abertura entre los electrodos de medición 10 m, mediante un sistema geoelectrico compensado de registro digital "Geotrón Ω -25"; en cambio la practica obligo ha adoptar direcciones aleatorias condicionadas por la accesibilidad de jardines, patios interiores y solares de la vecindad.

Un reconocimiento geomorfológico detallado del área y sus terrenos circundantes, acompañado de observaciones geodésicas (topográficas) simples fue practicado. De igual forma un análisis detallado de las direcciones de escorrentías superficiales de las aguas para cada uno de los patios y placeres dentro del área de estudio.

Resultados de los trabajo geoelectricos.

El estudio geoelectrico practicado obviamente evidenció la existencia de contrastes en las características del medio; bajas resistividades indicaron la presencia da altos contenidos de agua hacia la mitad centro y norte del área estudiada, con una marcada zonación en dirección a la calle B.



Los valores de resistividad observados permiten concluir acerca de la naturaleza eminentemente terrígena de los primeros metros del corte geológico. Se está en presencia de un suelo muy conductor en términos geoelectrónicos dada su composición mayoritariamente terrígena detrítica con alto contenido orgánico, en ocasiones con rasgos arcillosos que le impregnan a estas propiedades impermeabilizantes, capaz de contener grandes volúmenes de agua.

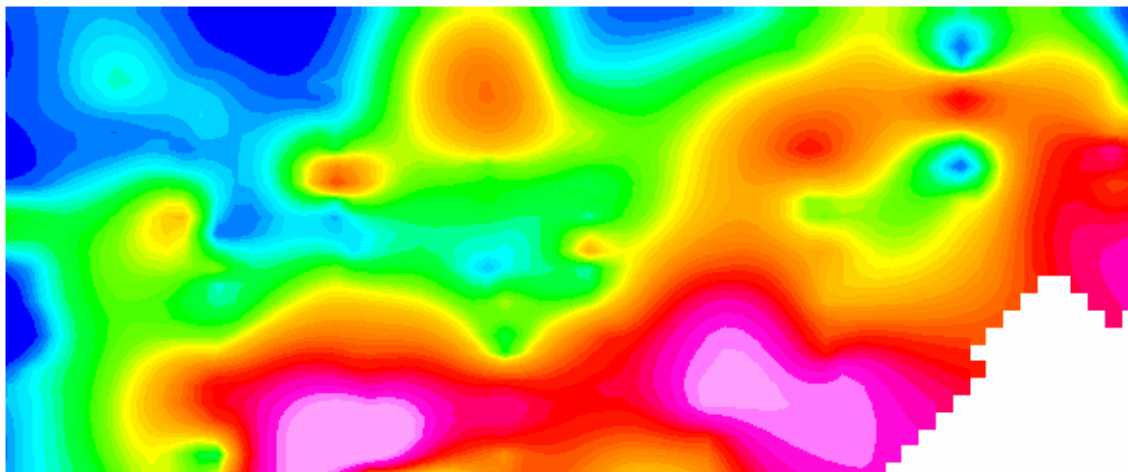


Fig. No 1. Imagen a color de la Resistividad aparente en el área de estudio. Los colores en tonos de rojo hasta violeta representan las áreas de mayor resistividad; los tonos de verde hasta azul los de menor resistividad y por tanto mayor humedad en suelo (contenidos de agua elevados).

La alta sobresaturación de agua en el suelo limita en muchos casos, la separación de las heterogeneidades naturales o estructurales, no obstante la poca accesibilidad que tuvo el levantamiento geoelectrónico es posible destacar zonas de mínimos resistivos locales evidenciando concentraciones de agua atrapada; es apreciable además la zonación alineada en dirección SW-NE espacialmente coincidente con la dirección natural del sistema de drenaje. Fig N° 1. Dicha zonación la conforman amplias franjas alargadas o anchas bandas de valores mínimos de resistividad aparente, que no parecen reflejar presencia de estructura hidrogeológica subterránea. El ancho de las bandas de baja resistividad no constituye evidencia alguna de falla tectónica, y/o fractura capaz de propiciar la formación de un canal con capacidad para encausar corrientes de aguas subterráneas; lo cual reflejaría un fenómeno estrecho dentro de un entorno mucho más resistivo.

En la Fig. N° 2. "Esquema de interpretación / Mapa de resistividades aparentes" se aprecia con mejor detalle en el plano la zonación de resistividades a partir del levantamiento con perfilaje eléctrico. A partir de este esquema resulta interesante observar como, en la dirección principal de estas aparecen ubicados o incluye muchos de los puntos de afectaciones locales actuales: socavón en el patio del inmueble 7612 de calle B, socavón en la sala del 7610 de calle B; como también engloba los puntos donde se ubican tanques sépticos o letrinas totalmente saturadas en niveles de cota superior a los puntos afectados anteriormente mencionados y que obviamente tributan a estos.

Tomando en consideración las pequeñas dimensiones del dispositivo geoelectrico empleado y los bajos valores de resistividad observados, es posible concluir que se esta en presencia de un suelo con un alto índice de saturación de aguas, alta humedad superficial es reflejada por áreas de escasa resistividad y buenas cualidades conductoras en la superficie. Los resultados del levantamiento geoelectrico se muestra en los Anexos Gráficos que se adjuntan al presente informe.

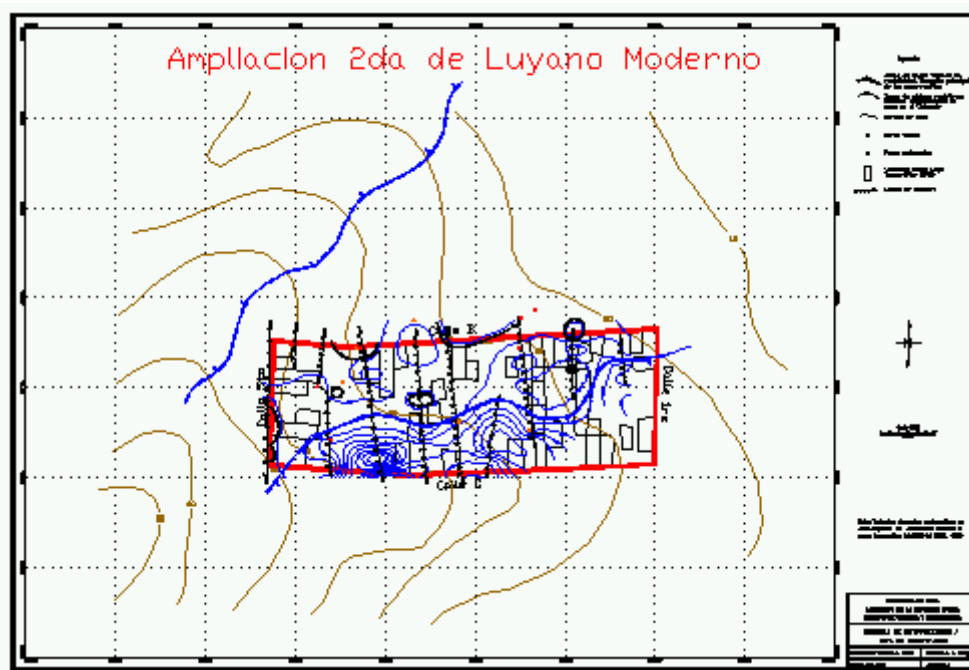


Fig. N° 2. Esquema de interpretación / Mapa de resistividades aparentes.

Una vez expuestos los resultados del levantamiento geoelectrico, es posible definir y discutir el origen de los problemas que tienen lugar en la comunidad.

EVALUACIÓN INTEGRAL DE LOS FENÓMENOS QUE FAVORECEN LA FORMACIÓN DEL RIESGO GEOLÓGICO.

Para la solución del problema planteado se realizó un análisis integral de las características geomorfológicas, topográficas e hidrogeológicas a pequeña escala en la micro-localización objeto de estudio; así como una valoración preliminar del contexto socio-cultural del problema en el área

Análisis de la situación geológica y el contexto local.

El entorno permite definir la existencia de un conjunto de pequeñas estructuras antiformes (elevadas) del relieve y pliegues cuasi paralelos, muy común en los sistemas plegados al norte de la Habana. Estas disposiciones geomorfológicas conforman pequeñas elevaciones montañosas contiguas, entre las que se establecen zonas deprimidas o bajas en forma de valles entre dos alturas vecinas, favoreciendo la formación de una gran diversidad de pequeñas cuencas hidrográficas o sistemas de drenaje.

La micro-localización de la barriada objeto de estudio a partir de los elementos geomorfológicos y topográficos permite ubicar la misma en el flanco Norte Noreste de una elevación en forma de pliegue cuya divisoria de drenaje (parte elevada o parte-agua) coincide en gran medida con la posición y dirección de la



Calle C, teniendo su parte mas elevada con rumbo SW en dirección a la intersección entre calle 5ta y Calle C, declinando en dirección a Calle B y 1ra. De aquí que el escurrimiento de las aguas superficiales y sub-superficiales deba presentarse con rumbo NE, en dirección a calle B y a la intersección de calle B y 1ra.

Análisis de elementos hidrogeológicos y su implicación para el área.

Esta porción de la barriada de La Corea es una típica Cuenca Hidrográfica local cuyos orígenes parecen estar dados por los hundimientos, fracturas y plegamientos de la corteza terrestre.

En países tropicales como el nuestro, la mayor parte de las precipitaciones se pierde por la evaporación que tiene lugar en el suelo y por la transpiración de las plantas. El volumen restante alcanza su viabilidad en forma de escorrentía la que siempre dependerá, además de la tasa de evaporación, de la pendiente del terreno, de la naturaleza de las rocas y de la presencia o ausencia de manto vegetal entre otros factores naturales. Cuando otros factores externos (construcciones y obras humanas) gravitan sobre el equilibrio natural del sistema de drenaje y el ciclo hidrológico, la vulnerabilidad de estos provoca efectos adversos en el medio. Cuando las precipitaciones superan a la pérdida debida a la evaporación y transpiración, el excedente de agua sigue su curso en el sistema de drenaje y corre sobre la superficie del terreno.

La estructura de las rocas subyacentes influye en el impacto de la erosión sobre el terreno, que da lugar a la existencia de zonas bajas que se forman sobre rocas erosionables y zonas altas con rocas resistentes a la erosión. Tanto el clima como el relieve del suelo influyen en el patrón de la red de drenaje que la cuenca adquiera, pero la estructura geológica subyacente suele ser el factor más determinante. Los patrones hidrográficos están tan íntimamente relacionados con la geología que, su comportamiento y desarrollo dependerán en gran medida, de las características geológicas del subsuelo: su composición mineral y petrológica, dureza, plasticidad, porosidad, impermeabilidad, etc; las que a su vez tendrán estrecha vinculación con la interacción que sobre estas tenga la actividad del hombre.

Procesos naturales como la *Erosión*: el desplazamiento de materiales sólidos y su sedimentación, también pueden ser alterados por las modificaciones que el hombre efectúa en los sistemas de drenaje. La erosión como acción hidráulica desintegradora tiene su origen al introducirse el agua en las grietas de lecho rocoso. Con el tiempo, se debilita la roca, continua el desprendimiento de fragmentos y estos finalmente acaban por desmoronarse, fenómeno denominado *Corrosión*, responsable en gran parte del hundimiento y socavación de diferentes construcciones, hasta su parcial destrucción, creando daños materiales considerables.

Por otra parte también se observa en La Corea el fenómeno de *Degradación*, como la pérdida de calidad y cantidad de suelo. El proceso de degradación más importante aquí es la pérdida de suelo por acción del agua, el viento y los movimientos masivos o, más localmente, la acción de los vehículos y el pisoteo de humanos y animales.

Contexto socio-cultural del problema. Valoración preliminar.

En la apreciación del fenómeno objeto de investigación resulta imprescindible la profunda valoración del entorno socio-cultural en que se presenta; y los problemas sociales que los generan y/o agudizan.



Los levantamientos cartográficos (fotografías aéreas) sobre el área, denotan una modificación sustancial en el espacio urbano (área construida) de la localidad, mostrando un incremento en el número de viviendas lo que sin dudas significa un salto en el crecimiento urbano a partir de 1980. La construcción de nuevas viviendas durante los últimos 20 años, ha estado estrechamente vinculado entre otros fenómenos a: las migraciones desde el interior del país, y un marcado crecimiento poblacional; situación que provoca una superpoblación inducida sobre una localidad dada en un corto período de tiempo. Se observa un desarrollo urbanístico muy ligado a la solución de problemas a bajo costo y corto plazo, para un estimado de tiempo relativamente breve, bajo el precepto de solucionar el presente sin prever consecuencias futuras.

De forma casi mayoritaria, la comunidad “La Corea” esta conformada por núcleos familiares de limitados recursos económicos y bajo nivel cultural; que al igual que muchos otros barrios periféricos de la capital cuyos orígenes se enmarcan en contextos histórico-sociales similares, corresponde a un asentamiento poblacional con un crecimiento demográfico y urbanístico poco controlado; capaz de generar complejos fenómenos medioambientales en su entorno.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS INTEGRAL DEL PROBLEMA.

El análisis de las características geomorfológicas, hidrogeológicas, y los resultados del estudio geoeléctrico del medio permite definir la existencia de una situación de riesgo geológico inducido, dada por la ruptura del equilibrio o estabilidad natural del sistema de drenaje del subsuelo. La barriada objeto de estudio presenta una sobresaturación de su sistema de drenaje natural. El nivel de agua en los primeros metros del corte es muy superior al que podría evacuar el suelo en condiciones normales, a tal punto que existen numerosos puntos de la vecindad, donde el agua de escurrimiento e infiltración aparece estancada al nivel de la superficie del suelo.

Esta situación de riesgo podría ser la causante de cuantiosas pérdidas materiales: hundimientos del suelo, inundaciones de viviendas, derrumbes de columnas y pilotes, agrietamiento de paredes, destrucción parcial de techos, destrucción de viales, etc; y a su vez generar incalculables afectaciones a la salud humana. En cambio resulta reconfortable saber que puede ser paulatinamente revertida hasta su total recuperación.

La numerosa concentración de fosas sépticas antiguas o actualmente en uso (en la zona alta de la barriada, SW del área), antiguos pozos artesianos, u otras excavaciones en forma de pozas practicadas por el hombre durante la historia y desarrollo sociocultural de la comunidad constituyen los principales “Puntos de recarga” o “cono de abatimiento” funcionando como embudo concentrador y canalizador a través del cual se encausan grandes volúmenes de agua al subsuelo, provocando la sobresaturación de agua en los primeros metros del corte, y por tanto el elemento que mayor daño provoca a la estabilidad del sistema de drenaje y su entorno.

La sobresaturación de aguas subsuperficiales en un sistema de escurrimiento ya colapsado, y continuamente agravado por mal manejo y abuso comunitario de las aguas albañales; ve incrementar los



niveles de riesgo por deslizamientos de las capas superficiales del terreno, una vez que aparecen los periodos lluviosos típicos de los meses de verano.

Las aguas de escurrimiento superficial y subsuperficial van socavando los rellenos “antropomórficos” (conformados por algún rocoso, escoria de material de construcción y material terrígeno-orgánico empleados como cemento o aglutinante mayoritariamente) Fig. N° 3. Las aguas de infiltración durante los periodos de lluvia incrementa los flujos de escurrimiento, propiciando que el grado de socavación de las aguas alcance niveles extremadamente críticos. Los suelos con alto contenido orgánico llegan a comprimirse con el paso del tiempo bajo el peso de las construcciones o viviendas, disminuyendo su volumen inicial y provocando el hundimiento de la estructura. Otros tienden a deslizarse bajo el peso de estas.



Fig. N° 3. Ejemplos de la socavación de pisos en inmuebles de la barriada, resultado de la acción de las aguas de infiltración.

Por su parte la proliferación de patios tapiados con cemento, losas, hormigón y mezcla asfáltica provocan afectación y hasta interrupción del ciclo hídrico natural del medio, al impedir los niveles de evaporación del terreno. El 70 % de la población que habita los terrenos bajos de calle B tienen los patios cubiertos o tapiados como remedio al problema de anegación; entonces baste recordar el proverbio popular “*fue peor el remedio que la enfermedad*”. El aporte de agua superará siempre la pérdida, al truncarse los mecanismos de transpiración y evaporación del sistema. Un patio cementado impedirá la evaporación en cambio favorecerá el incremento del flujo de infiltración de las aguas y por tanto favorecerá la erosión y corrosión de los cimientos de dichas viviendas.

Hacia las zonas de terrenos bajos en calle B, es frecuente observar terrenos anegados producto de una posición mas baja de las cotas de relieve, estos suelos donde también ocurre un proceso de sedimentación son propicios para la ocurrencia de deslizamientos y dilataciones, toda vez que se han quebrado sus características originales. Se han encontrado suelos arcillosos que se llegan a expandir hasta 23 cm o más al someterlos a largos periodos de humedecimiento o secado, con lo que se producen potentes fuerzas que pueden cizallar o fragmentar los cimientos y elevar hasta edificios poco pesados. Los terrenos modificados de alguna forma suelen tener un comportamiento diferente, en especial cuando se ha añadido o se ha



mezclado otro tipo de suelo con el original, así como en aquellos casos en que el suelo se ha humedecido o secado más de lo normal. A veces el tipo de suelo sobre el que se proyecta construir varía tanto a lo largo de toda la superficie prevista que no resulta viable desde el punto de vista económico o no es posible edificar con seguridad.

CONCLUSIONES.

Como conclusión podría dictaminarse que el área de estudio presenta una situación de riesgo geológico inducido (producto de la ruptura de la estabilidad del sistema natural de escorrentía de las aguas superficiales y subsuperficiales por factores ya analizados), que puede ser paulatinamente revertida hasta su total recuperación.

La barriada objeto de estudio presenta una sobresaturación de su sistema de drenaje natural. El nivel de agua en los primeros metros del corte es muy superior al que podría evacuar el suelo en condiciones normales, resultado del continuo vertimiento de aguas al sistema desde los diferentes "puntos de recarga". La concentración en un área relativamente pequeña de un gran número de fosas sépticas (antiguas o actualmente en uso), constituye la causa fundamental de la recarga del sistema natural de drenaje. La sobresaturación del medio producto del exceso de aguas de infiltración provoca un colapso en el sistema de drenaje y escurrimiento natural del subsuelo; constituyendo un marcado proceso de degradación del medio ambiente.

Es necesario observar que, el escaso desarrollo de los sistemas de alcantarillados y sanitarios en el área de estudio, acompañado del mal manejo y abuso comunitario de las aguas albañales y salideros; provoca un incremento en los niveles de riesgo por deslizamientos de las capas superficiales y sub-superficiales del terreno; generando situaciones extremadamente críticas una vez que aparecen los periodos lluviosos típicos de los meses de verano.

En esta comunidad se impone un trabajo de saneamiento urbano, donde la comunidad misma juegue el papel fundamental. Se deberá tomar conciencia del daño ocasionado por un mal manejo de los albañales, la existencia de fosas sépticas sin encamisar, cochiqueras, salideros de agua, zanjas de aguas marginales en los patios, etc. Se requiere el rescate de los niveles de drenaje natural del medio, a partir de la reevaluación, reparación y desarrollo de los sistemas de drenaje urbano (sistema de alcantarillado). Se debe incentivar la transformación paulatina de patios tapiados; en patios cubiertos por vegetación, jardines, grava o la combinación de estos. En fin una serie de medidas pudiesen adoptarse para comenzar a revertir la situación, recuperar el escurrimiento natural, secar el suelo hasta su nivel de humedad natural y rescatar el Medio Ambiente de la localidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Aspinall, A., and Lynam, J.T. (1970). An induced polarization instrument for detection of near surface features. *Prospezioni Archeologiche* 5, 67-76.
- Belshe, J.C. (1957). Recent magnetic investigations at Cambridge University. *Advances in Physics* 6, 192-193.
- Breiner, S. and Coe, M.D. (1972). Magnetic exploration of the Olmec civilization. *American Scientist* 60, 566-575.



- Carson, H.H. (1962). A seismic survey at Harpers Ferry. *Archaeonze* 5, 119- 122.
- Clark, A.J. (1986). Review of archaeological geophysics in Britain. *Geoph. vsics* 51, (in press).
- Chang J. L.; y otros. (2004). Informe técnico de los trabajos geólogo – geofísicos para el estudio del terreno, evaluación de la estabilidad de cimientos y suelos, en La Corea. Archivo UMIV San Miguel del Padrón, Consejo de Administración Municipal. Ciudad de La Habana. pp 25.
- Chang J. L.; y otros. (2004). Aplicación de técnicas geofísicas en la evaluación de riesgos geológicos en la comunidad. Resúmenes de la VII Jornada Científica de la SCG, Filial del Centro. Santa Clara.
- Dolphin, L.T. (1981). Geophysical methods for archaeological surveys in Israel: Stanford Research International, Menlo Park, Calif., December 1981, 7 pp.
- Fajklewicz, A., Glinski, A., and Sliz, J. (1982). Some applications of the underground tower gravity vertical gradient- *Geophysics* 47, 1688-1692.
- Foster, E.J. (1968). Further developments of the pulsed induction metal detector. *Prospezioni Archeologiche* 3, 95-99.
- Frohlich, B., and Lancaster, W.J. (1986). Electromagnetic surveying in current middle eastern archaeology- Application and evaluation. *Geophysics* 51, (in press).
- Gibson, T.H. (1986). Magnetic prospection on prehistoric sites in western Canada. *Geophysics* 51, 553560.
- McGuffey V; Modeer (Jr). V; Turner K (1999). "Subsurface Exploration" Chapter 10 in "Landslides. Investigation and Mitigation". Special Report 247. Transportation Research Board. National Research Council. pp 230 – 277.
- Scollar, I. (1962). Electromagnetic prospecting methods in archaeology. *Archaeometry* 5, 146-153.
- Stright, M.J. (1986). Evaluation of archaeological site potential on the outer continental shelf using high-resolution seismic data. *Geophysics* 51, 605-622.
- Sumner, J.S. (1976). Principles of induced polarization for geophysical exploration. New York: Elsevier, pp 277.
- Tabbagh, A. (1986). Applications and advantages of the Slingram EM method for archaeological prospecting. *Geophysics* 51, 576-584.
- Tite, M.S., and Mullins, C. (1970). Electromagnetic prospecting on archaeological sites using a soil conductivity meter. *Archaeometry* 12, 97-104.
- Ulriksen, C.P.F. (1982). Application of the impulse radar to civil engineering. PhD Dissertation, Lund University of Technology, CODEN:LUTVDG, Lund, Sweden 179 pp.
- Vaughan, C.J. (1986). Ground penetrating radar surveys used in archaeological investigations. *Geophysics* 51, 595-604.
- Wolfman, D. (1984) Geomagnetic dating methods in archaeology, in M. Schiffer, ed., *Advances in Archaeological Method and Theory* 7, 363-458.
- Wynn, J.C., and Sherwood, S.I. (1984). The self potential (SP) method. An inexpensive reconnaissance and archaeological mapping tool. *Journal of Field Archaeology* 11(2), 195-204.

MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PRESA EN LA VEREDA TOIBITA, PAIPA, BOYACÁ, COLOMBIA

María del Carmen Fuentes Fuentes

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Sogamoso, Escuela de Ingeniería Geológica, Boyacá, Colombia, Email: marcaf_humb@latinmail.com

RESUMEN

En este trabajo se exponen resultados obtenidos por medio de la geofísica que se llevó a cabo en la Vereda Toibita, Paipa, Boyacá, Colombia, con el fin de estudiar el subsuelo como una etapa complementaria y posterior a la cartografía geológica de superficie y como una etapa previa a las perforaciones exploratorias que se efectuarían posteriormente.

Se observa la estrecha relación existente entre los campos físicos anómalos observados y las características geológicas del lugar, a través de la exposición de los resultados, que se complementan con algunas figuras representativas, correspondientes fundamentalmente a cortes geólogo - geofísicos de perfiles obtenidos.

Para la presentación de este trabajo, se contó con una valiosa fuente de datos de campo obtenida con estos métodos, los cuales permitieron que la interpretación compleja realizada revelara interesantes resultados que sirvieran de base para la continuidad de los trabajos que recientemente fueron culminados en la zona.

ABSTRACT

In this paper exposed the obtained results of geophysicists methods or surface applied in the area Toibita, Paipa, Boyacá, Colombia; with the end of the research of subsoil who the one complementary stage and posterior of the geological map making and the exploratory drillers previous posteriors.

Is observed the strait relation between of the physics camps anomals and the geologist characteristics of the place, through the exposition of the results, that was complemented with someone representatives figures, that corresponded at courts geophysics - geologist of profiles obtained.

For the presentation of the work, was utilized one font valuable of camps dates, that serves for that the complex interpretation realized, reveal interest results that as the base for the continued of the works that recently was culminated in the zone.

INTRODUCCIÓN

Fueron aplicados los métodos geofísicos de Sondeo Eléctrico Vertical, Perfilaje Eléctrico y Sísmica Somera con una adecuada metodología de los trabajos de campo de forma tal permitiera explicar más claramente, la naturaleza de las anomalías detectadas, su extensión y las características de los campos físicos observados que varían en dependencia de las litologías y minerales presentes en el área.

El Sondeo Eléctrico Vertical es un método de prospección eléctrica que se basa en el estudio del comportamiento de las resistividades aparentes de las rocas presentes en un corte geológico por debajo del subsuelo, y que por las particularidades del dispositivo de medición utilizado, permite detectar capas u horizontes geoeléctricos que se encuentren contactando en forma horizontal. Se utiliza en diferentes investigaciones de superficie, de pozos, marinas, etc. Los fundamentos físico- geológicos son los establecidos en los diferentes métodos de resistividad, los cuales estudian la respuesta del medio geológico

al paso de la corriente a través de dos electrodos de alimentación (A y B), que mantienen un circuito cerrado. Esta respuesta es determinable utilizando dos electrodos de medición (M y N). Este dispositivo fue creado por C. M. Schlumberger. (Ver figura No.1).

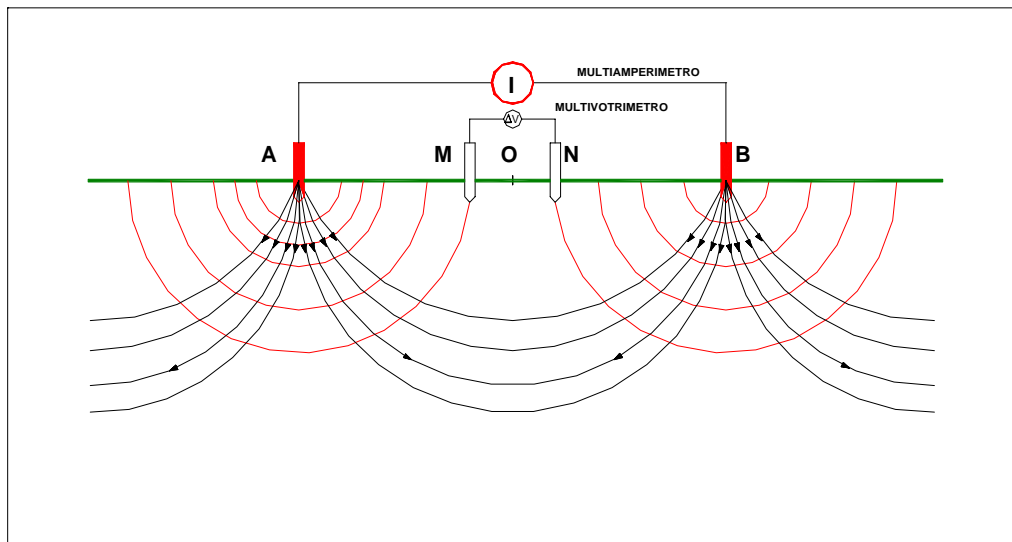


FIGURA No.1. DISPOSITIVO SCHLUMBERGER, (SIMÉTRICO DE 4 ELECTRODOS).

El parámetro que estudia es la resistividad (ρ), que es la resistencia que ofrece un material o roca, al paso de la corriente perpendicular a una de sus caras.

El Dispositivo Schlumberger (S.E.V.), se eligió para definir niveles freáticos, tipo de material y espesor aproximado de los estratos, de esta manera, se creó un modelo geoelectrico que fue muy importante para el desarrollo de las labores de perforación, permitiendo ubicar los sitios apropiados y el material a encontrar en profundidad.

Las Calicatas Eléctricas Simétricas (CES)¹: Es un método que como su nombre lo indica, se realiza a lo largo de líneas ó perfiles, por lo tanto, es un método de investigación horizontal, lo cual permite estudiar la distribución lateral de las resistividades, determinando los contactos verticales e inclinados a diferencia del Sondeo Eléctrico Vertical.

Teniendo en cuenta los alineamientos tectónicos definidos por fotografía aérea y visitas a campo realizadas por la comisión Geofísica, se hizo necesario realizar una calicata eléctrica alrededor de la posible zona de llenado de la presa (2732 m), Iniciando 200 metros antes del sector donde se propone realizar el muro, con la finalidad de confrontar la posible continuidad a lado y lado de la quebrada de las diaclasas o fallas presentes en la zona de interés.

El estudio sísmico tuvo como objetivo principal, determinar los espesores y las velocidades conque se propagan las ondas sísmicas a través de los depósitos superficiales y capas de roca subyacentes.

¹ En alguna literatura oriental se adopta el término de Perfilaje Eléctrico Simétrico, dado que se realiza a lo largo de líneas ó perfiles.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó el método de refracción con tiempos de intercepto línea directa, realizando nueve líneas distribuidas de la siguiente manera: dos junto a la quebrada Toibita, y siete restantes se realizaron sobre el depósito coluvial (Qc), parte alta margen derecha aguas abajo del sitio de presa.

El método de refracción sísmica suministra datos acerca de la geometría de las formaciones, haciendo posible intentar la identificación de los materiales que hayan de ser cartografiados. Es especialmente valioso para reconocimiento en áreas cuya estructura tiene gran relieve y donde haya, por lo menos, una capa de referencia de alta velocidad recubierta por formaciones de baja velocidad.

METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

Los trabajos de campo del SEV, consisten en medir repetidas veces en un punto de observación, la diferencia de potencial (ΔU) y la intensidad de corriente (I), para una sola posición de los electrodos de medición, variando la distancia entre los electrodos de alimentación, como se aprecia en la figura No.2. Las aberturas del dispositivo empleado garantizan una profundidad de alcance de 100 metros aproximadamente.

El equipamiento empleado está compuesto por un transmisor ó emisor, y un receptor, ambos digitales, marca PASI, de fabricación italiana, los cuales hacen que el método sea más rápido y productivo. (ver foto 1). En el equipo receptor se obtienen automáticamente tres valores de diferencia de potencial ΔU y de intensidad de corriente I para las diferentes posiciones del sistema de electrodos, con el fin de garantizar la calidad de las mediciones.

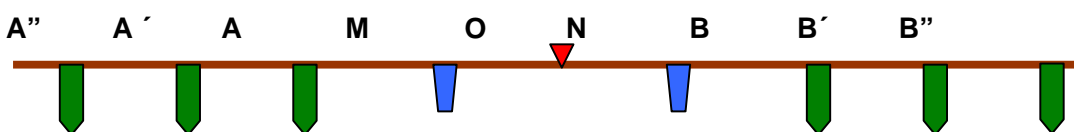


FIG. No. 2. ESQUEMA DE UBICACIÓN DEL DISPOSITIVO DE ELECTRODOS DE SEV

Por consiguiente, se determinarán tres valores de resistividades aparentes ρ_a , de los cuales se busca un promedio.

En el cálculo se emplea la fórmula:

$$\rho_a = K \Delta U / I \quad (1)$$

donde:

K: Constante geométrica del dispositivo

ΔU : Diferencia de potencial

I: Intensidad de corriente

Estos valores son expresados en $\Omega \times m$



FOTO No.1. INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS (RESISTIVÍMETRO Y TRANSMISOR)

Se realizaron 13 sondeos distribuidos de la siguiente manera:

Talud derecho aguas abajo: 3

Talud izquierda aguas abajo: 3

Sobre el nivel base de la quebrada Toibita: 7

La metodología de los trabajos de campo de las calicatas eléctricas, se realiza a partir de la observación en varios puntos de los valores de diferencia de potencial y de la intensidad de corriente mediante un dispositivo de electrodos que mantiene fija la posición de los electrodos de alimentación y variable la posición de los electrodos de medición, a diferencia del método de Sondeo Eléctrico Vertical.

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Como las mediciones son puntuales según los principios de medición del SEV, se obtienen curvas representativas del corte geoeléctrico que se encuentra por debajo de los puntos de observación, y éstas son representadas de la forma vista en la figura No. 3, donde en las ordenadas se representan los valores de resistividad aparente y en las abscisas las aberturas de los electrodos ($AB/2$, m).

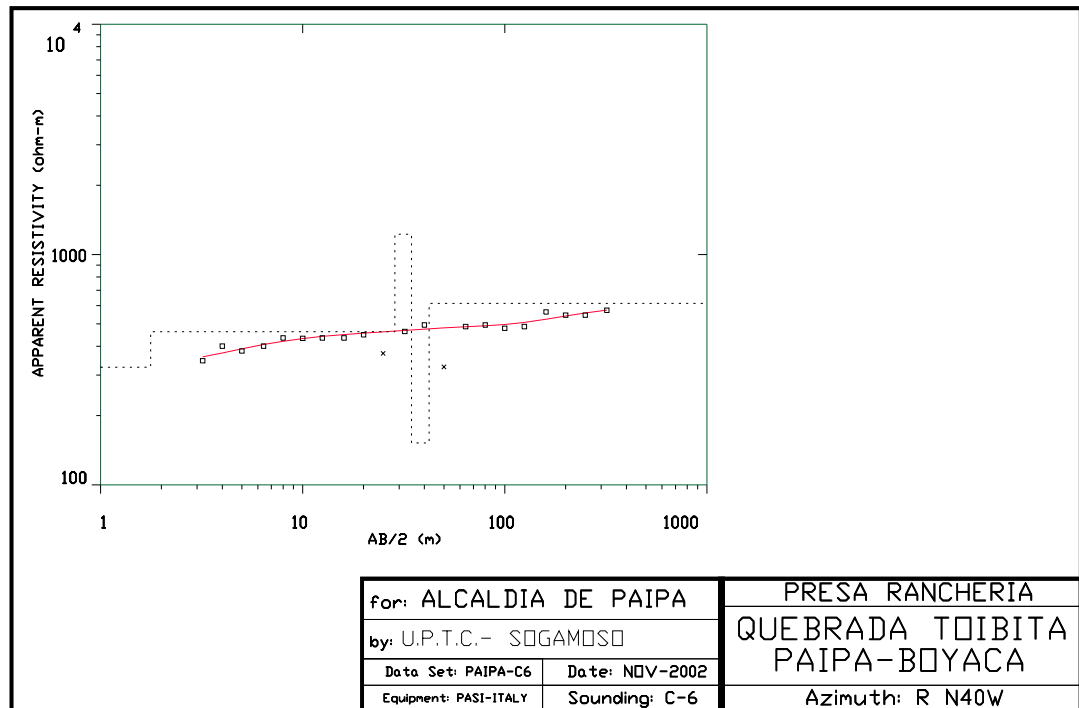


FIG. No.3. ESQUEMA QUE MUESTRA LA CONFIGURACIÓN DE LAS CURVAS DE SEV

El objetivo principal de la interpretación de las curvas de SEV, en todo estudio, es llegar a conformar el corte geológico que compone un perfil de mediciones, utilizando los espesores y profundidades que se determinan empleando ábacos, a través de un procesamiento manual o computarizado que consiste en comparar las curvas de campo obtenidas con las curvas teóricas que se encuentran en estos juegos de curvas patrones.

Los valores de resistividad aparente y espesores de las capas presentes, obtenidos de la interpretación realizada en este estudio, se encuentran en los datos de procesamiento anexos. Luego, se asocian los datos obtenidos de resistividad aparente a un tipo de litología teniendo en cuenta que los materiales menos densos (arcillas y materiales poco consolidados), presentan los menores valores de resistividad, y los más densos (areniscas, conglomerados, etc.), presentan los mayores valores.

El objetivo principal de la interpretación de los datos de las calicatas, es llegar a conformar el corte geológico que compone un perfil de estudio, a través de un procesamiento manual o computarizado. Finalmente, se determinan los contactos entre las litologías presentes. Con los datos suministrados durante la interpretación se elaboraron los cortes de los perfiles mostrados en las figuras más adelante.

Para la representación gráfica de los datos de refracción, lo más útil y conveniente, es construir una curva empleando como coordenadas el tiempo T de la primera llegada, y la distancia X entre la explosión y el detector. Cuando existen capas homogéneas discretas,

esta curva es muy fácil de interpretar, dado que consta de segmentos lineales, y cada segmento representa una capa. De dichos segmentos, se calcula la velocidad de propagación por la ecuación:

$$V = \Delta X / \Delta T \quad (1)$$

Las profundidades de las capas se determinan a partir de la ecuación:

$$T_i = 2 Z \sqrt{V_1^2 - V_0^2} / V_1 V_0 \quad (2)$$

relaciona las velocidades de las capas y la profundidad de una capa (en este caso Z_0), con el tiempo de interceptación T_i^2 . Este puede obtenerse del gráfico, leyendo el tiempo donde la pendiente corta al eje T ($x = 0$) y mediante la expresión:

$$T_i = T - X / V_1 \quad (3)$$

donde T es el tiempo total de la trayectoria de refracción, para cada segmento, que puede leerse del equipo y representa:

$$T = TAB + TBC + TCD \quad (4)$$

La profundidad hasta la capa de separación inferior es la suma de Z_1 y Z_0 , en donde Z_0 se calcula por la fórmula de dos capas, como se explicó anteriormente, haciendo uso de las pendientes de los primeros segmentos de la curva tiempo- distancia y de la interceptación del segundo segmento, y Z_1 se calcula por la fórmula:

$$Z_1 = \frac{1}{2} (T_{i1} - 2 Z_0 \sqrt{V_2^2 - V_0^2} / V_2 V_0) * V_2 V_1 / \sqrt{V_2^2 - V_1^2} \quad (5)$$

En un corte con un número mayor de capas, se denomina caso de capas múltiples, y sucede el mismo fenómeno explicado anteriormente.

En el procesamiento de los sismogramas, se elaboraron los domocromas, (hodógrafos) con los tiempos de llegada a cada uno de los frentes de ondas a cada sismo receptor, en función de las distancias entre ellos. Luego se calculó la velocidad de propagación de las ondas, las cuales se utilizan para definir los espesores de las primeras capas, y con estos datos, se conformaron los cortes

RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos con el SEV, se muestran en los cortes suministrados, detectando la presencia de fallas, contactos, etc. Se elaboraron perfiles topográficos transversal y longitudinales a la quebrada Toibita, sobre dichos perfiles se graficaron los espesores y resistividades encontradas correlacionando los sondeos realizados en la margen izquierda, derecha y centro de la quebrada.

PERFIL A – A'

Se ubica en la zona que se ha escogido como el sitio probable de presa. En este perfil se definen espesores y tipos de material, donde inicialmente se observa un espesor aparente del depósito cuaternario que yace discordantemente sobre la roca consolidada, seguidamente encontramos niveles arenosos de resistividades medias a altas; infrayacen capas de menor resistividad que se asocian a intercalaciones de arenitas y lodolitas, luego se aprecia un paquete de alta resistividad asociado a areniscas masivas saturadas, donde se confirma la inclinación hacia el este de los estratos cerca al sitio de presa, finalmente encontramos secuencias intercaladas entre areniscas y lodolitas.

² El tiempo de interceptación es, esencialmente, la diferencia entre el verdadero tiempo del recorrido de la onda y el tiempo que se necesitaría si la onda se propagase en línea recta, entre el punto de excitación y el detector, con la velocidad más elevada que encontrarse a lo largo de la trayectoria de refracción.

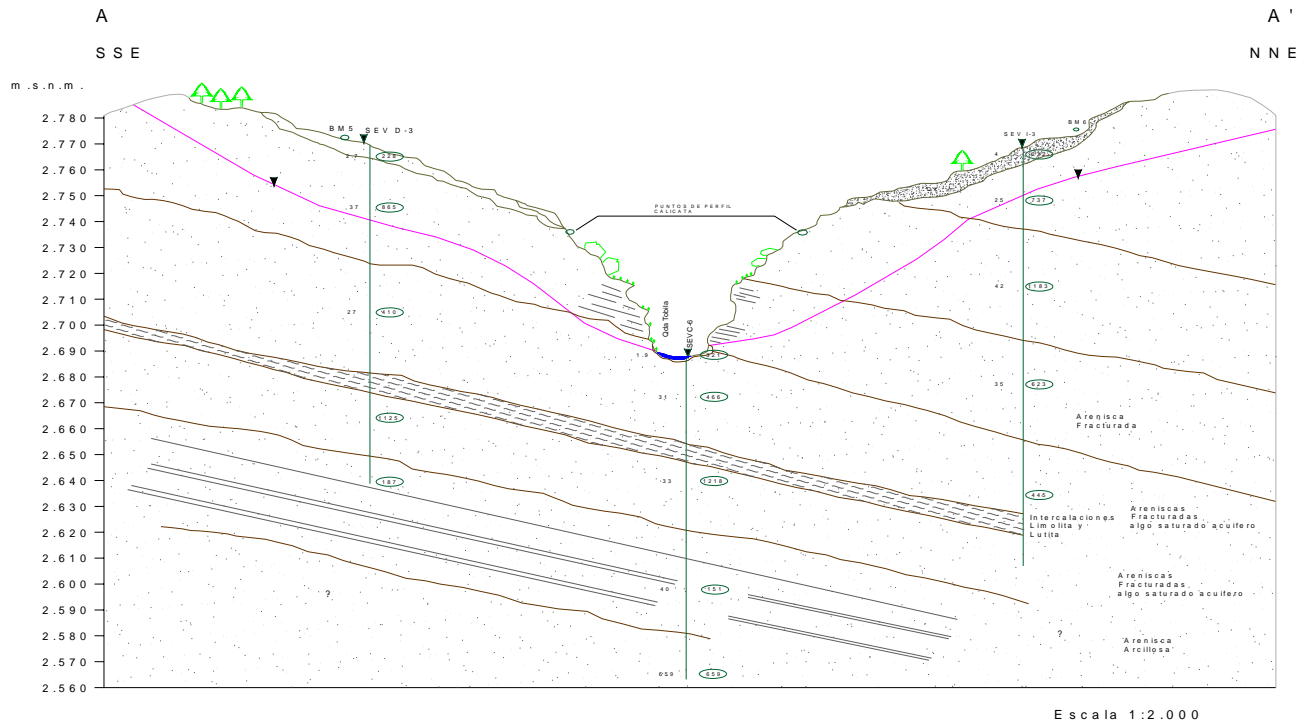


FIG. NO.4. ESQUEMA QUE MUESTRA EL CORTE A- A

PERFIL B-B'

Se realiza este perfil transversal a la quebrada Toibita hacia la parte media de la zona de estudio donde la corriente se desvía en sentido SW-NE, con la finalidad de determinar el espesor del cuaternario, confrontando continuidad ó posibles desplazamientos debidos a la acción de posibles fallamientos presentes en el sector. Entre los sondeos C-3 y C-4, se observa continuidad de las resistividades hacia la profundidad lo que descarta la presencia de desplazamientos verticales en la zona comprendida entre los dos, esto hace suponer una posible falla en sentido direccional.

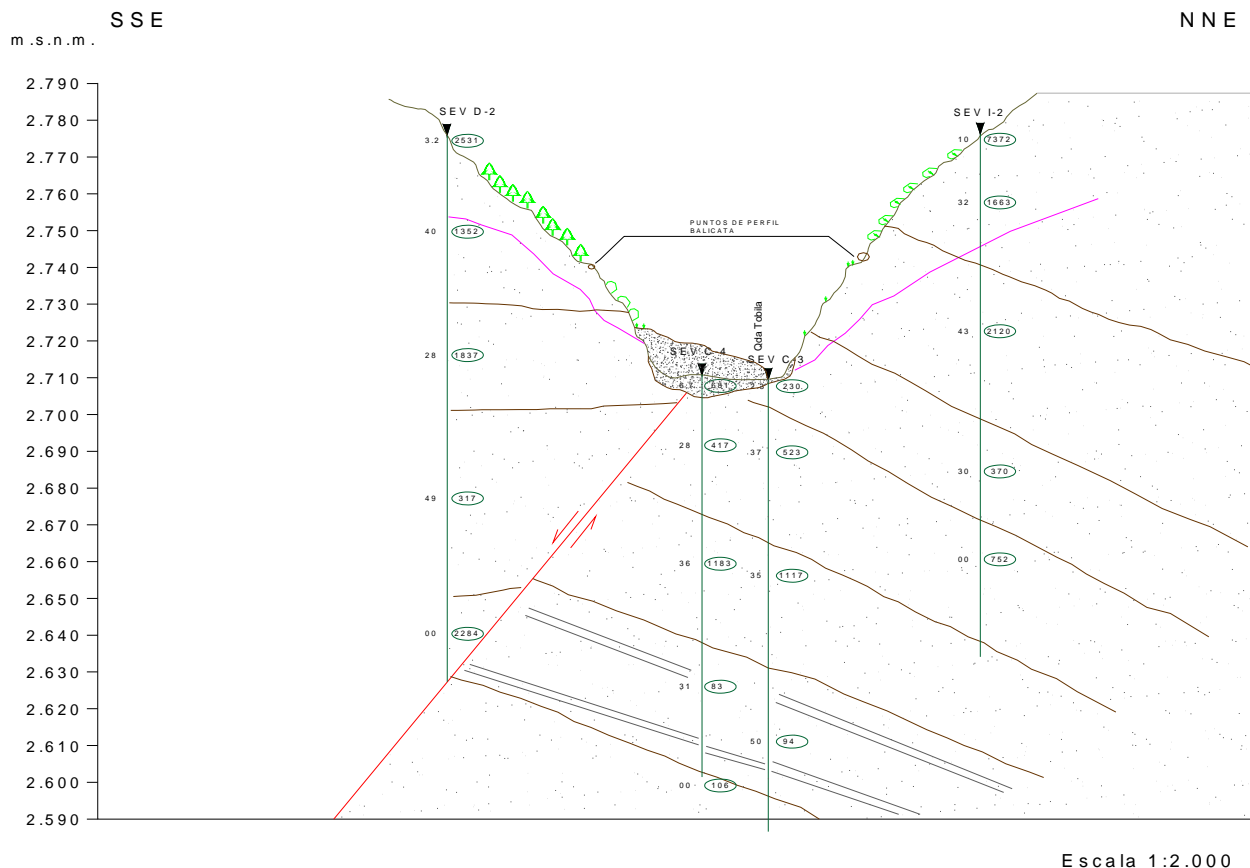


FIG. NO.5. ESQUEMA QUE MUESTRA EL CORTE B- B´

En los sondeos se detecta un depósito cuaternario inicial seguidamente encontrando resistividades altas asociadas a potentes banco de areniscas, por debajo se encuentra una secuencia de menor resistividad que se interpretó como una secuencia intercalada entre arenitas y lodolitas. Hacia la parte izquierda aguas abajo del perfil (S.E.V. I - 2), se detectan resistividades aparentes altas las cuales se asocian a potentes bancos de areniscas hacia la profundidad con inclinación preferencial hacia el este. Hacia la parte derecha aguas abajo (S.E.V. – D2), se pierde continuidad de la resistividad, lo cual se asocia a un desplazamiento de la secuencia anterior.

En los resultados con el Perfilaje Eléctrico, (calicatas eléctricas), se pudo apreciar la efectividad del método para la ubicación de zonas de fallas y contactos litológicos, además de servir para precisar los cambios de resistividades apreciados con el SEV según se muestra en los cortes anexos. En la parte superior del corte longitudinal se aprecian los cambios laterales de resistividades dándonos una idea de las posibles zonas de fracturas.

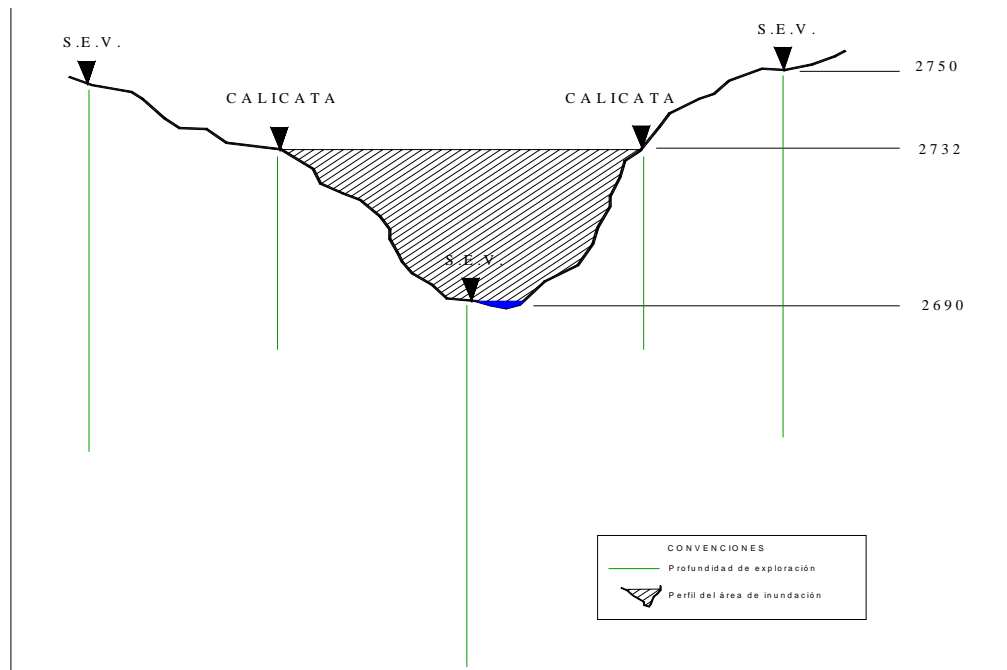


FIG. NO.6 ESQUEMA QUE MUESTRA LA DISTRIBUCIÓN DEL PERFILAJE.

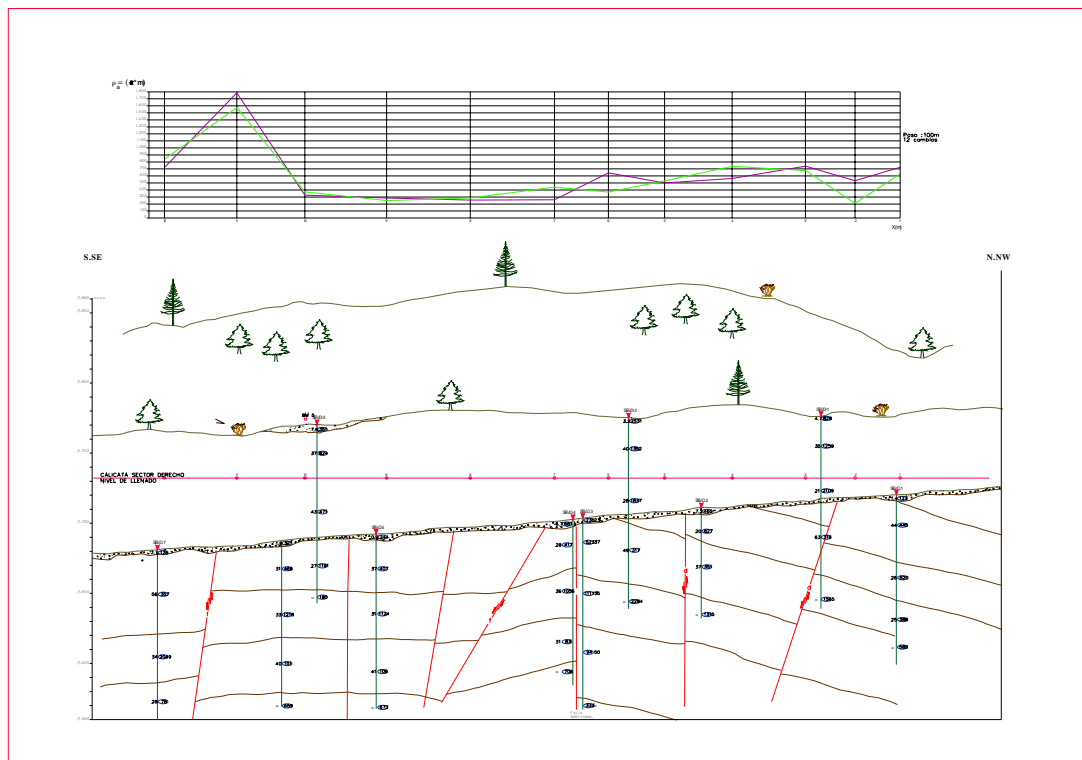


FIG. NO.7 ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL CORTE OBTENIDO CON EL MÉTODO DE PERFILAJE.

En el gráfico de la calicata eléctrica sector derecho aguas abajo se observan contrastes de resistividades altas hacia la parte baja del perfil que se asocian a un bloque fallado al sur de los BMS 4 y 5 y del sitio de presa. En este perfil se generaliza la estratigrafía presente bajo la quebrada Toibita teniendo en cuenta la pendiente entre el punto de sondeo C-1 y C-7.

Hacia la parte norte se observan cambios representativos en la resistividad que se asocia con el fracturamiento con la parte media de la zona. En la parte inferior de la figura donde se encuentra el perfil SE-NE, se muestran los cambios de resistividades a lo largo de la Quebrada Toibita, donde las resistividades menores y superficiales corresponden al cuaternario, mientras que las resistividades mas profundas corresponden a niveles de areniscas intercaladas con lodolitas. Algunos cambios laterales en resistividad no tienen continuidad por lo que se interpretan como fracturas o cambios litológicos.

Los resultados del método sísmico sobre la quebrada Toibita y el depósito coluvial, son los siguientes:

PUNTO N° 1 (SP.1)

VP.1 = 993 m/s	H.1 = 7.1 m
VP.2 = 2083 m/s	

PUNTO N° 2 (SP.2)

VP.1 = 1200 m/s	H.1 = 6.0 m
VP.2 = 2272 m/s	

PUNTO N° 3 (SP.3)

VP.1 = 667 m/s	H.1 = 13.0 m
VP.2 = 1650 m/s	

PUNTO N° 4 (SP.4)

VP.1 = 937 m/s	H.1 = 5.7 m
VP.2 = 1052 m/s	

PUNTO N° 5 (SP.5)

VP.1 = 967 m/s	H.1 = 12.4 m
VP.2 = 2480 m/s	

PUNTO N° 6 (SP.6)

VP.1 = 576 m/s	H.1 = 4.8 m
VP.2 = 1428 m/s	

PUNTO N° 7 (SP.7)

VP.1 = 517 m/s	H.1 = 10.9 m
VP.2 = 1667 m/s	

PUNTO N° 8 (SP.8)

VP.1 = 588 m/s
VP.2 = 2500 m/s

H.1 = 11.2 m

PUNTO N° 9 (SP.9)

VP.1 = 576 m/s
VP.2 = 1586 m/s

H.1 = 8.1 m

Donde:

VP.1 y VP.2: velocidades de propagación de los medios 1 y 2 respectivamente
H.1: espesor de la primera capa

CONCLUSIONES

El empleo de la geofísica reduce considerablemente el número de perforaciones y estudios destinados a estudiar las condiciones favorables para la construcción de presas y embalses, pues al detallar las anomalías superficiales de los métodos geofísicos, posibilita discriminar aquellas zonas que no guardan ningún interés.

Los métodos geoeléctricos más efectivos para este tipo de estudio, son los eléctricos en forma de perfilaje y sondeos, ya que posibilitan la determinación de resistividades y espesores de las capas, permitiendo con ello, dar una idea mas acertada acerca de la presencia de acuíferos.

El método sísmico de refracción juega un papel importante dentro de los métodos geofísicos, pues al estudiar el corte en forma vertical, permite comparar sus resultados con el SEV.

Otros métodos geofísicos como los electromagnéticos, sirven como estudio preliminar regional, con el fin de poder caracterizar las conductividades de las rocas. Las variantes modernas de los métodos eléctricos como son la tomografía dipolar y el empleo del SEV-PI, juegan un papel importante, ya que permiten detallar el corte en profundidad.

Para la localización de fallas, agrietamientos, etc, juegan un papel importante los métodos de Magnetometría y Gravimetría, debido a que alcanzan grandes profundidades de investigación, así como la Radiometría, al manifestarse anomalías elevadas frente a estos contactos. Las mediciones de las propiedades físicas y los demás métodos vistos sirven de complemento para la interpretación de los campos físicos estudiados con estos métodos.

Para un estudio más completo, sería recomendable complementar con los registros de pozos, ya que permiten programar el diseño de la presa.

AGRADECIMIENTOS

La autora desea expresar su agradecimiento a la Alcaldía de Paipa, Boyacá Colombia, por confiar en nuestro trabajo, así como a los demás ingenieros y auxiliares que participaron en la ejecución de los trabajos de campo, Ing. Jorge Mariño, Ing. Luis Humberto Pinto, entre otros investigadores que forman parte del colectivo de trabajo de la Escuela de Ingeniería Geológica, en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

También a la Comisión Organizadora de la Ira Convención de Ciencias de la Tierra, por la amabilidad que han tenido al hacernos partícipe de tan prestigioso evento.

BIBLIOGRAFÍA

- Orellana E.: Prospección Geoeléctrica en corriente continua, TI, Ed.Paranifo, España, 1976, pp 372.
Orellana E.: Prospección Geoeléctrica, TII, Ed.Paranifo, España, 1978, pp 375.
Informe sobre los trabajos de Geofísica en la Quebrada Toibita, Paipa, Boyacá, Colombia, 2004.



INVESTIGACIONES CON GEORADAR EN LA CORTINA DE LA PRESA CAUTO EL PASO

Ing. Marcial Guerra Piñeiro⁽¹⁾ , Ing. Jorge Acosta Breal⁽¹⁾ , Ing. Orlando Dussac Tamayo⁽¹⁾ Ing. Alfredo de Jesús Hernández Ramsay⁽¹⁾ , Ing. Maria Gentoiu⁽¹⁾

*Empresa Geominera Oriente, Carretera de Siboney km.2½, Alturas de San Juan
Santiago de Cuba Teléf.: 643836; 641603; 642624, Fax: (53-226)87130
Email: mg Guerra@geominera.co.cu, marcialg_p@yahoo.es*

RESUMEN

El grupo de Servicios Geofísicos de la Empresa Geominera de Oriente, ejecutó en un sector de la cortina de la Presa Cauto el Paso, de la provincia Granma, trabajos geofísicos utilizando la técnica conocida como GPR (Georadar).

Esta tecnología permite obtener imágenes del subsuelo con una elevada resolución, aportando un gran volumen de información. La utilización del Georadar en el estudio de las condiciones ingeniero geológicas y conservación de las características geoléctricas asociadas a las condiciones originales en la construcción de las obras civiles, es de uso amplio en la actualidad con excelentes resultados y confiabilidad.

En la presa Cauto el Paso se aprecian desde hace algún tiempo, agrietamientos en un sector de la cortina. Con la tarea de realizar una evaluación preliminar de estos problemas se ejecutaron en cuatro perfiles investigaciones con el sistema Georadar para detectar las posibles causas.

Los trabajos estuvieron orientados para el estudio preliminar, de un sistema de grietas y posibles deslizamientos en una sección de talud de la presa, esta sección de la cortina de la presa, es coincidente con un área del talud donde se están produciendo igualmente fenómenos de agrietamientos.

La aplicación de esta técnica geofísica (GPR) nos permitió, que se mapearan por hipérbolas muy bien definidas las obras ingenieras existentes, relacionadas con el canal de riego, y la toma de agua del canal magistral. En el tramo estudiado de la cortina, se cartografiaron zonas que pueden estar afectadas en sus características físico-mecánicas, las cuales se asocian con zonas de filtración y canalización de agua, así como zonas de sufusión, que pueden provocar riesgo, en la estabilidad de la obra.

ABSTRACT

The group of Geophysical Services of the Empresa Geominera Oriente, It executed in a sector of the curtain of the Cauto Prey the Step, of the county Granma, geophysical works using the well-known technique as GPR (Georadar).

This technology allows to obtain images of the underground with a high resolution, contributing a great much information.. The use of the GPR in the geologic conditions engineer's study and conservation of the characteristic geoléctricas associated to the original conditions in the construction works, is at the present time of wide use with excellent results and dependability.

In the Cauto prey the Step is appreciated for some time, crackings in the curtain. With the task of carrying out a preliminary evaluation of these problems were executed in four you profile investigations with a system GPR to detect the possible causes.

The works were guided for the preliminary study, of a system of cracks and possible slips in a section of bank of the prey, this section of the curtain of the prey, is coincident with the bank where they are taking place phenomenons of crackings equally.

The application of this geophysical technique (GPR) it allowed us that you mapearan for hyperbolas very well defined the works ingeniers, related with the watering channel, and the taking of water of the masterful channel. In the studied tract of the curtain, you t can be affected in their physical-

mechanical characteristics, being able to be associated with filtration of water, as well as suffusion areas that can cause risk, in the stability of the work.

INTRODUCCION

El geo-radar, radar de subsuelo o GPR (Ground Probing Radar) es una técnica relativamente nueva para la investigación a poca profundidad del subsuelo. A pesar de ser un método de prospección electromagnética, sus fundamentos son muy distintos a los demás métodos EM, ya que a las elevadas frecuencias que opera, las propiedades de desplazamiento eléctrico (polarización) dominan sobre las propiedades conductivas en la mayor parte de los materiales. Esta tecnología permite obtener imágenes del subsuelo con una elevada resolución, aportando un gran volumen de información. Por sus características algunos autores la comparan con la sísmica de reflexión.

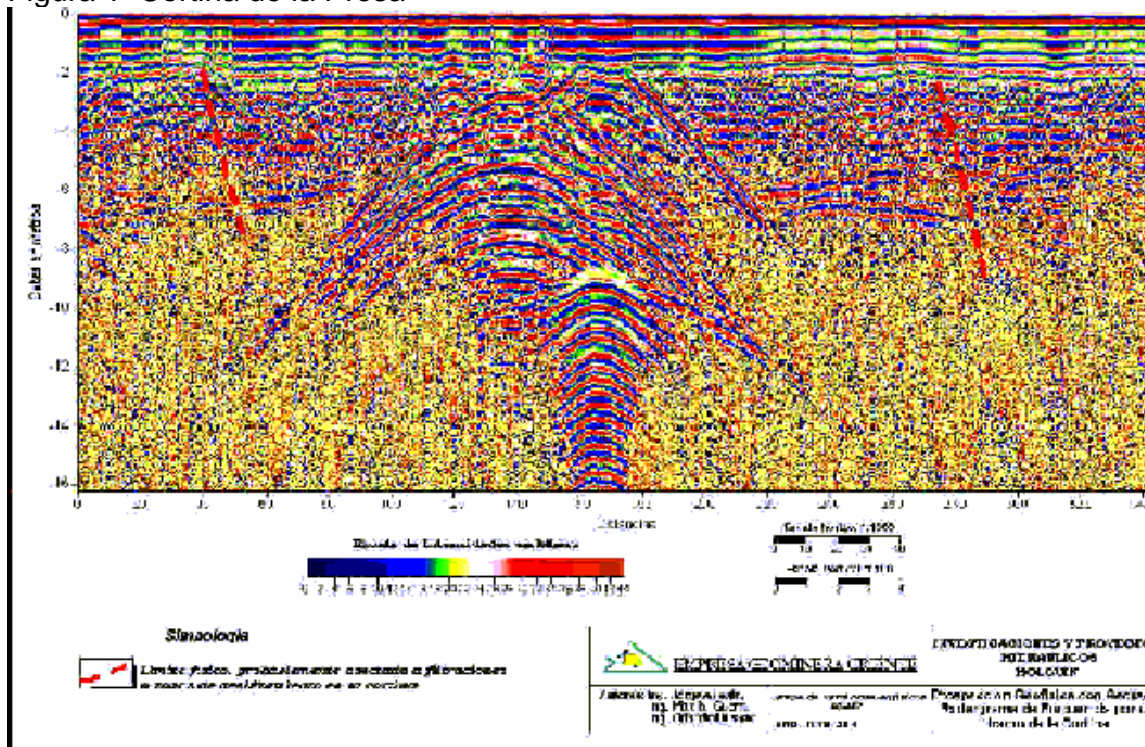
Los trabajos se concibieron para el estudio preliminar de los siguientes problemas:

- ♦ Estudiar un sistema de grietas y posibles deslizamientos en una sección de talud de la presa .
- ♦ Estudio de una sección de la cortina de la presa coincidente con el área del talud donde se están produciendo estos fenómenos de agrietamientos.

El equipo utilizado es un sistema georadar modelo RAMAC GPR™ de fabricación Sueca. Para ejecutar los trabajos de campo se utilizó la antena de 50 Mherz, que permite estudiar hasta una profundidad aproximada de 20 m y lograr así una primera imagen de los posibles problemas que afectan a la presa. En este trabajo las principales características físicas que el georadar permitirá analizar estarán basadas en los contrastes de la constante dieléctrica, de la conductibilidad eléctrica y de la impedancia eléctrica de los materiales que componen la cortina de la presa así como la influencia del medio.

Se ejecutaron 4 perfiles, que se referencian visualmente sobre el terreno a algunas estaciones topográficas existentes. El primer perfil con una longitud aproximada de 350m, se realiza en una sección de la cortina, los otros más cortos en el talud donde se observan la presencia de algunas grietas. El paso de medición en todos los casos fue de 0.30m, con el objetivo de lograr imágenes de gran continuidad.

Figura 1 Cortina de la Presa



En la Fig. 1 , se presenta el radargrama realizado en la sección de la cortina estudiada. En el nivel de profundidad y a una distancia entre 4-6 metros, se obtiene un fenómeno similar en los intervalos de 30 – 60 (observar línea roja discontinua) y 80- 100 metros respectivamente, donde existe un rompimiento de las reflexiones, este fenómeno nos podría estar indicando un debilitamiento o cambios en las características físicas y mecánicas del suelo en esta área.

En el intervalo de 100 – 200 metros aproximadamente se observa un fenómeno complejo de un conjunto de hipérbolas que están asociadas a las obras ingenieras del túnel – compuerta –tubería de metal que canalizan las aguas del canal, reflejando y describiendo esas estructuras. .

En el tramo de 200 – 240 metros aproximadamente se observa otro nivel de reflexiones de las ondas electromagnéticas mejor definidas indicándonos características geoelectricas diferentes en esta área , pudiendo estar produciéndose fenómenos físicos mecánicos que están alterando (alteran) el medio y el estado de la compactación en este nivel de la cortina ; como se puede observar coincide con el mismo nivel que el intervalo ya descrito de 30 y 60 metros a una profundidad entre los 6 –7 metros.

En el intervalo de 250 – 280 metros se observa que esta frontera, indicada por las reflexiones, presenta dos tendencias , una de las ramas tiende a ascender y la otra a descender , esto puede estar asociado a un proceso de alteración y cambios de las condiciones de compactación del suelo o de humedad, este fenómeno se acentúa a partir

de los 280 metros(se señala por la línea roja discontinua) donde se pierde totalmente la estratificación de las reflexiones. En esta zona (aparecen) algunas hipérbolas en el radargrama que pudieran indicar procesos de sufusión. Esta área debe ser estudiada con mayor detalle teniéndose en cuenta los resultados del georadar y la coincidencia espacial con el fenómeno geológico que se está produciendo en el talud y que consideramos que es provocado por filtraciones que ocurren en esta zona de debilitamiento en la cortina.

TALUDES

En el talud donde se observan los procesos de agrietamiento, se realizaron tres perfiles perpendiculares a la dirección del sistema de grietas. En dichos perfiles se puede observar un incremento del nivel de reflexión de las ondas electromagnéticas en la dirección perpendicular al canal , alejándose de este (Fig. 2). Este incremento de las reflexiones puede estar asociado a zonas de estratificación del suelo, donde se alternan capas de diferentes características físicas y que podrían estar favoreciendo al agrietamiento, asociado a zonas de filtración del agua, y al deslizamiento de este paquete de material. En la Fig.2 se observa nitidamente una zona de posible debilitamiento, que coincide con grietas observadas en el terreno.

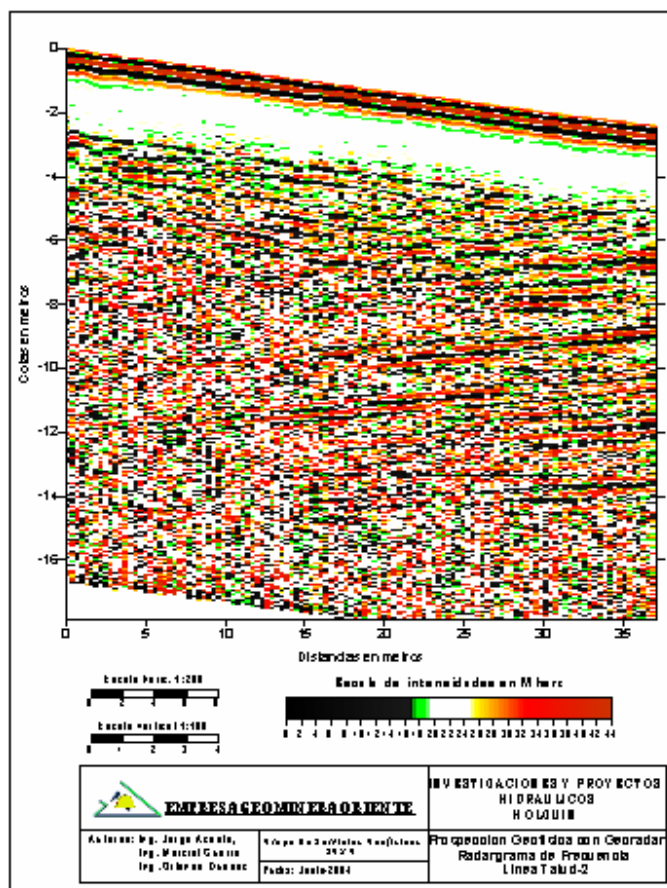


Figura 2. Corresponde al perfil intermedio realizado, perpendicular a la dirección longitudinal de cortina de la presa, en el talud donde se está produciendo el agrietamiento



CONCLUSIONES

El estudio preliminar realizado con la técnica Radar revela:

- ♦ La existencia de hipérbolas muy bien definidas están relacionadas con las obras ingenieras existentes.
- ♦ Las líneas de fuerte reflexiones pueden estar cartografiando zonas que pueden estar afectadas en sus características físico-mecánicas: agrietamientos, debilitamiento de la compactación por penetración de la humedad, y zonas con presencia de fenómeno de sufusión .



ESTUDIO CARTOGRAFICO DE EMANACIONES DE HIDROCARBUROS EN EL CAMPO OROCUAL

Gilberto Parra (1) Pedro Villarroel (2)

(1) PDVSA Punta de Mata, Venezuela

(2) PDVSA, Maturín, Venezuela

e-mail: parragi@pdvsa.com

villarroelp@pdvsa.com

La existencia de menas dentro del Campo Orocual, norte del estado Monagas, es bien conocida y documentada desde el año 1912, cuando se iniciaron las primeras exploraciones de geología de superficie con el propósito de conocer las potencialidades económicas que representaban aquellos afloramientos espontáneos de hidrocarburos, que marcaron el inicio de las actividades petroleras. No obstante el antaño conocimiento de estos flujos naturales, en épocas recientes esta realidad ha constituido un persistente elemento de controversia ante la opinión pública, al tenerse la idea a todas luces infundada, de que es la Industria Petrolera la causante directa de la existencia de estos flujos de hidrocarburos en superficie, y en consecuencia de la posible contaminación que de ello se deriva. Sin embargo, los modernos métodos de exploración del subsuelo desarrollados por la industria mediante la aplicación de nuevas tecnologías, han permitido no solo el conocimiento detallado de la existencia estos afloramientos naturales de hidrocarburos, sino que también, han contribuido a la ampliación del conocimiento sobre la interacción de los diferentes procesos geológicos que conllevan a la existencia de ellos.

Con miras a esclarecer las realidades ambientales de la zona en este respecto, se realizó un estudio cartográfico en unas 2000 Has que ubicara estas emanaciones naturales existentes en el Campo Orocual, así como la realización de 30 sondeos eléctricos verticales que permitieran determinar cualquier efecto contaminante, utilizando para ello posicionadores satelitales, sistema de información geográfica ArcView®, y los softwares SeisWork®, OpenVision® y AutoCad®.



PRONOSTICO DE CARACTERÍSTICAS INGENIERO GEOLÓGICAS DE LA SECCIÓN DE UNA OBRA HIDRÁULICO A PARTIR DE MÉTODOS GEOFÍSICO (TRASVASE SABANALAMAR – POZO AZUL)

Ing. Rodolfo Bordón Roger

Empi Holguín. SCG Filial Holguín

La Unidad Básica de Proyectos e Investigaciones de Holguín, EMPI, el Taller de Ingeniería Geológica de la propia entidad ejecutó un complejo de métodos geofísicos para la satisfacción del cliente, en este caso La EIPHH y El Centro Provincial de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Guantánamo con el objetivo de inferir las características ingeniero-geológicas del TRASVASE SABANALAMAR - POZO AZUL en el poblado de Puriales de Cageri municipio San Antonio, provincia Guantánamo.

Las tareas a resolver con la aplicación de métodos geofísicos en el trazado del túnel, Canal y Cierre del Río Sabanalamar según la tarea técnica emitida por el INRH fueron:

- Estimación de los contactos ingeniero geológico y litológico, potencia de las capas e inferencia litológica.
- Delimitación del contorno de valles o cauces enterrados.
- Estimación de las potencias de las zonas agrietadas.
- Localización y pronóstico de la dirección de las fallas y sus zonas de influencia.
- Estimación del nivel de las aguas subterráneas
- Pronóstico de la influencia del medio en la corrosión y la factibilidad de toma a tierra o aterramiento de las obras.
- Estimación de las propiedades físico-mecánicas a partir de la Vp.

El complejo de método empleado fue.

Eléctricos: SEV

PES Doble abertura

Sísmicos: Excitación con explosivos

Excitación por golpes

Radiación Sísmica

Presentamos los resultados de parte de los trabajos realizados utilizando Golden Software Surfer.

El área que abarcó la misma fue de algo más de 15 ha.

Los trabajos se iniciaron en Julio del 2003 y culminaron en Febrero del 2004 y fueron ejecutados por la brigada de geofísica del taller de Ing. Geológica.

APLICACIÓN DE LA GEOFÍSICA EN TRABAJOS GEOTÉCNICOS Y EN LA BUSQUEDA DE AGUA EN LAS PROVINCIAS ORIENTALES.

Orlando Dussac Tamayo(1), Jorge Acosta Breal (1)

(1) Empresa Geominera Oriente, Carretera Siboney, Km 2.5, Santiago de Cuba, Cuba
E-mail:odussac@geominera.co.cu

RESUMEN

En los últimos años el Grupo de Servicios Geofísicos de la Empresa Geominera de Oriente (EGMO) a desarrollado numerosos trabajos relacionados con la solución de diversos problemas Geotécnicos para diferentes clientes nacionales y compañías mixtas que operan en Cuba. En este trabajo se presentaran los resultados alcanzados en los siguientes Objetivos:

- Estudios geofísicos por el trazado de una Conductora de residuales de 10 Km de longitud, vinculada al desarrollo de un Polo Turístico en Baracoa, Guantánamo.
- Estudio geotectónico para el emplazamiento de una fabrica de Cemento en Santiago de Cuba.
- Estudios geofísicos para la actualización de canteras en el poblado de Yara, Granma.

Las investigaciones geofísicas resolvieron las siguientes interrogantes geológicas:

- Determinación de los contactos geológicos y litológicos, potencia de las capas y diferenciación litológica.
- Delimitación de zonas de sufusión o cavidades y zona de intemperización.
- Localización y determinación de las zonas agrietadas, dirección de las fallas, potencias de las mismas, nivel freático, zonas de desarrollo cárscicos y grado de cavernosidad de las rocas.

Para obtener estos resultados se realizaron trabajos de Georesistividad en las variantes de Sondeo Eléctrico Vertical, Perfilaje Eléctrico Simétrico de Doble Abertura, Tomografía Eléctrica y Magnetometría. Los resultados se presentan en forma de mapas de isolíneas de resistividad a diferentes profundidades, seudos cortes de resistividad, perfiles magnéticos, cortes sintéticos de interpretación geólogo – geofísicos.

ABSTRACT

In the last years the Group of Geophysical Services of the Empresa Geominera of East (EGMO) had developed numerous works related with the solution of diverse problems Geotécnicos for different national clients and mixed companies that operate in Cuba. In this work the results were presented reached in the following Objectives:

- Geophysical Studies for the layout of a Driver of residual of 10 Km of longitude, linked to the development of a Tourist Pole in Baracoa, Guantánamo.
- Studies geotectónico for the location of one it manufactures of Cement in Santiago from Cuba.
- geophysical Studies for the bring up to date of quarries in the town of Yara, Granma.
- The geophysical investigations solved the geologic following queries:
- Determinación of the geologic contacts and litológicos, power of the layers and diferenciación litológica.
- Delimitation of sufusión areas or cavities and intemperización area.
- Localización and determination of the cracked areas, address of the flaws, powers of the same ones, phreatic level, areas of development cárscicos and degree of cavernosidad of the rocks.

To obtain these results they were carried out works of Georesistividad in the variants of Vertical Electric Poll, Symmetrical Electric Perfilaje of Double Opening, Electric Tomografía and Magnetometría.

The results are presented in form of maps of resistividad isolíneas to different depths, pseudo resistividad courts, magnetic profiles, cut synthetic of interpretation geologist - geophysical.

INTRODUCCIÓN

Los trabajos de geotecnia constituyen un aspecto imprescindible para la construcción de cualquier obra de ingeniería, donde los métodos geofísicos juegan un papel importante para estas investigaciones por las diferentes tareas que resuelve, constituyendo un eslabón valioso en estos tipos de investigaciones.

En los últimos años el Grupo de Servicios Geofísicos de la Empresa Geominera de Oriente (EGMO) a desarrollado numerosos trabajos relacionados con la solución de diversos problemas Geotécnicos para diferentes clientes nacionales y compañías mixtas que operan en Cuba, Los resultados que mostramos constituyen una demostración más del poder resolutivo de los métodos geofísicos en estos trabajos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos utilizados para obtener estos resultados fueron: Sondeo Eléctrico Vertical, Perfilaje Eléctrico Simétrico de Doble Abertura, Tomografía Eléctrica y Magnetometría, se confeccionaron mapas de isolíneas de resistividad a diferentes profundidades, seudos cortes de resistividad, perfiles magnéticos y cortes sintéticos de interpretación geólogo – geofísicos.

RESULTADOS

Conductora Amores-Cayo Güin.

En el inicio de perfil desde donde debe construirse el cierre del embalse. El SEV ejecutado en ese punto revela la presencia del estrato rocoso constituido por peridotitas, desde la superficie, aunque agrietado y alterado, caracterizado por valores de resistividad de 66 ohm-m. A partir de los 2 m aumenta la resistividad de la capa a mas 325 ohm-m, lo que supone un incremento en la compactación y dureza de la roca hasta los 5.6 m, en que se produce una rápida disminución en la intensidad del parámetro medido (hasta los 9 ohm-m), debido, consideramos, al aumento de la humedad de la roca.

Los gráficos de la resistividad tanto para la abertura de $AB/2 = 5m$ como para $AB/2 = 15 m.$, presentan características similares, mostrando una alta variabilidad del parámetro medido, que se asocia a rocas alteradas y agrietadas. Los valores más intensos de resistividad cartografían rocas menos alteradas, por lo que puede esperarse que aumente su dureza.

Hasta los primeros 400m se observa una diferencia notable entre los gráficos de la resistividad, esto se debe a que al aumentar la profundidad en esa parte del perfil se incrementa la humedad de la roca, pudiendo encontrarse estas, bajo el nivel freático. Por lo general la resistividad medida con el dispositivo de mayor AB, que refleja profundidades de alrededor de los 7 m, presenta intensidades menores, reflejando en nuestra opinión mayor humedad en la capa, debido a la presencia cercana del río.

Entre los 900 y 2280 metros se puede separar de acuerdo a los resultados de los SEV una capa de hasta 1 metro como máximo de rocas muy alteradas, poco consolidadas.

En este tramo del perfil se señalan numerosas discontinuidades geoeléctricas, relacionadas con el intenso agrietamiento de las rocas y diferentes procesos de alteración.

El ultimo tramo medido, (figura-1), transcurre por la carretera de Baracoa. Aparece una capa superficial con valores inferiores a 50 Ohm-m. Los SEV muestran que en profundidad los valores continúan decreciendo, hasta magnitudes que permiten pronosticar la existencia del nivel freático o rocas muy húmedas, poco consolidadas. En el tramo comprendido entre 400 y 560 m se observa un incremento de la resistividad hasta cerca de 250 Ohm-m, medido por ambos dispositivos del PES, que cartografía en los primeros 7 m del corte la presencia de rocas mas compacta, que pudieran ser calizas recífales.

A partir de los 1100 m y hasta el final del perfil, se produce un cambio en las características de la resistividad, produciéndose el aumento de la intensidad de este parámetro, se aprecia además mucha variabilidad en las mediciones. Es evidente en esta zona la existencia de un contacto litológico. Por las características geofísicas determinadas y las observaciones de campo, en el corte geológico aparecen calizas, con numerosas grietas, como se propone en el corte esquemático.

Entre los 1900m y los 2400 aproximadamente se separa por los SEV una capa de poco espesor y superficial, de muy baja resistividad que puede asociarse a arcillas húmedas o a la presencia del nivel freático. En el área donde se planifica levantar el tanque predominan las calizas probablemente agrietadas.

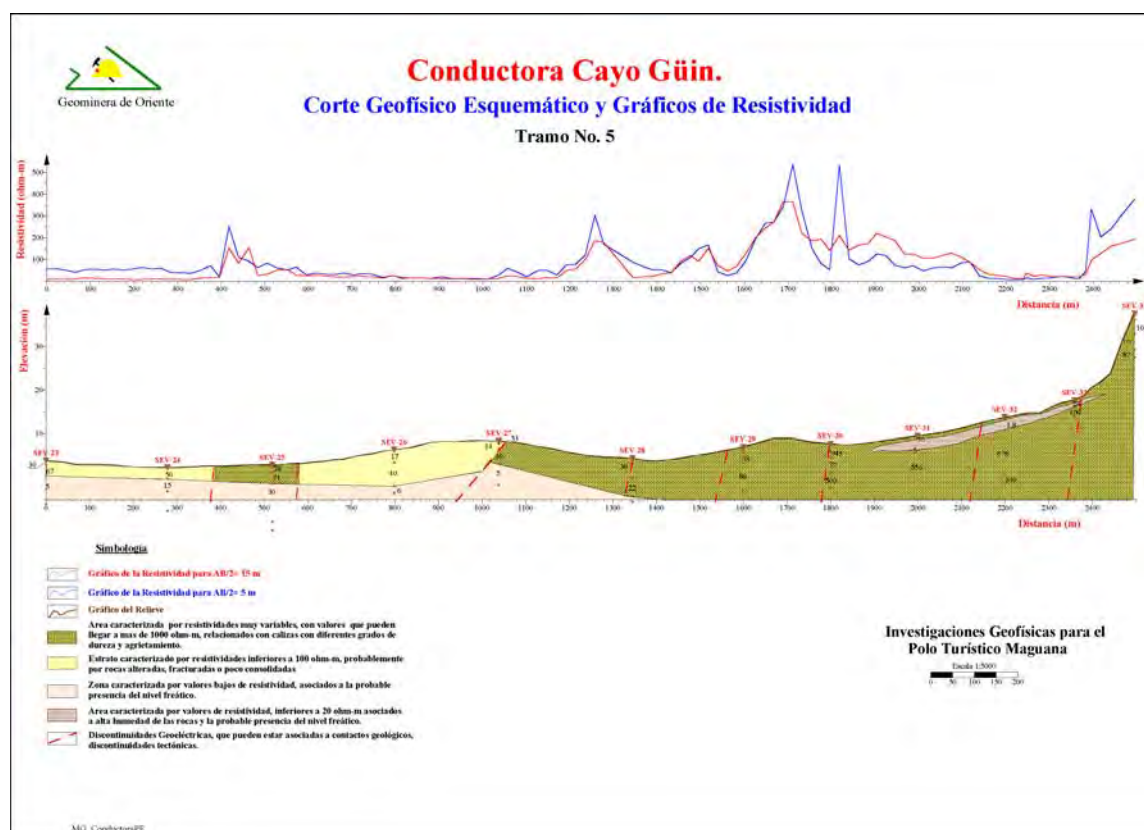


Figura-1. Corte geofísico esquemático y gráficos de resistividad(tramo No.5)

Estudio geotectónico para el emplazamiento de una fabrica de Cemento en Santiago de Cuba.

El mapa de la resistividad para la abertura $AB = 10m$, muestra que este parámetro, a una profundidad aproximada de 3 metros, presenta una alta variabilidad en el sector, pudiéndose separar tres zonas por la intensidad de sus valores.

La primera zona, con intensidades del parámetro inferiores a 20 ohm-m, que se destaca en el mapa por tonalidades de azul oscuro, presenta una anomalía alargada ocupando la parte Este del área y describiendo una zona tectónica que se presenta en el mapa de resultados figura-5, como F-I. Al Noreste, entre los perfiles L-600 y L-800, se observa una anomalía con valores muy pequeños de hasta 5 ohm-m, que pensamos se relaciona a sedimentos poco consolidados y húmedos sugiriendo la presencia cercana del manto freático o, como hay una zona de falla muy cerca, a procesos de cavernosidad con contenido de agua.

La segunda zona, caracterizada por valores relativamente mas elevados (entre 25 y 40 ohm-m), se relaciona con sedimentos más consolidados y con menor humedad. Hasta los primeros tres metros de profundidad esos sedimentos se extienden por la parte central -oeste del área.

La tercera zona, con resistividades entre 40 y 100 ohm-m, describe las rocas más consolidadas del sector, representadas en el mapa por tonalidades de rojo, y ubicadas fundamentalmente en la parte nor.-Oeste y Sur-Oeste del área, entre las líneas L- 325 y L-250. También aparece una pequeña zona en la parte Este.

El mapa del campo magnético (figura-2), se presenta variado, con gradientes no muy intensos. Se separan dos zonas bien marcadas caracterizadas por valores entre 40 nT y 70 nT la primera, y 90 nT y 200 nT la segunda. La primera zona está ubicada fundamentalmente en la parte norte y sur del sector y la segunda hacia la parte central, superponiéndose parcialmente a la segunda zona separada por el parámetro de la resistividad, confirmando a su vez que en esta parte los sedimentos están menos alterados, presentando una mayor cohesión.

La línea L-300 cruza una zona de alineación del campo magnético, que sugiere la cercanía de un contacto litológico o una falla. Solo la continuación de los trabajos en la parte sur puede confirmarlo.

La interpretación del campo magnético permite confirmar la discontinuidad tectónica revelada por la resistividad en la parte Este del sector (F-I) y además identificar otra falla en la zona Oeste (F-II) y una tercera, (F-III), muy bien definida, que se presenta entre los perfiles L-725 y L-800, con cerca de 100m de espesor y un buzamiento subvertical. La falla FII presenta espesores menores, sobre todo en su parte Sur, donde prácticamente desaparece.

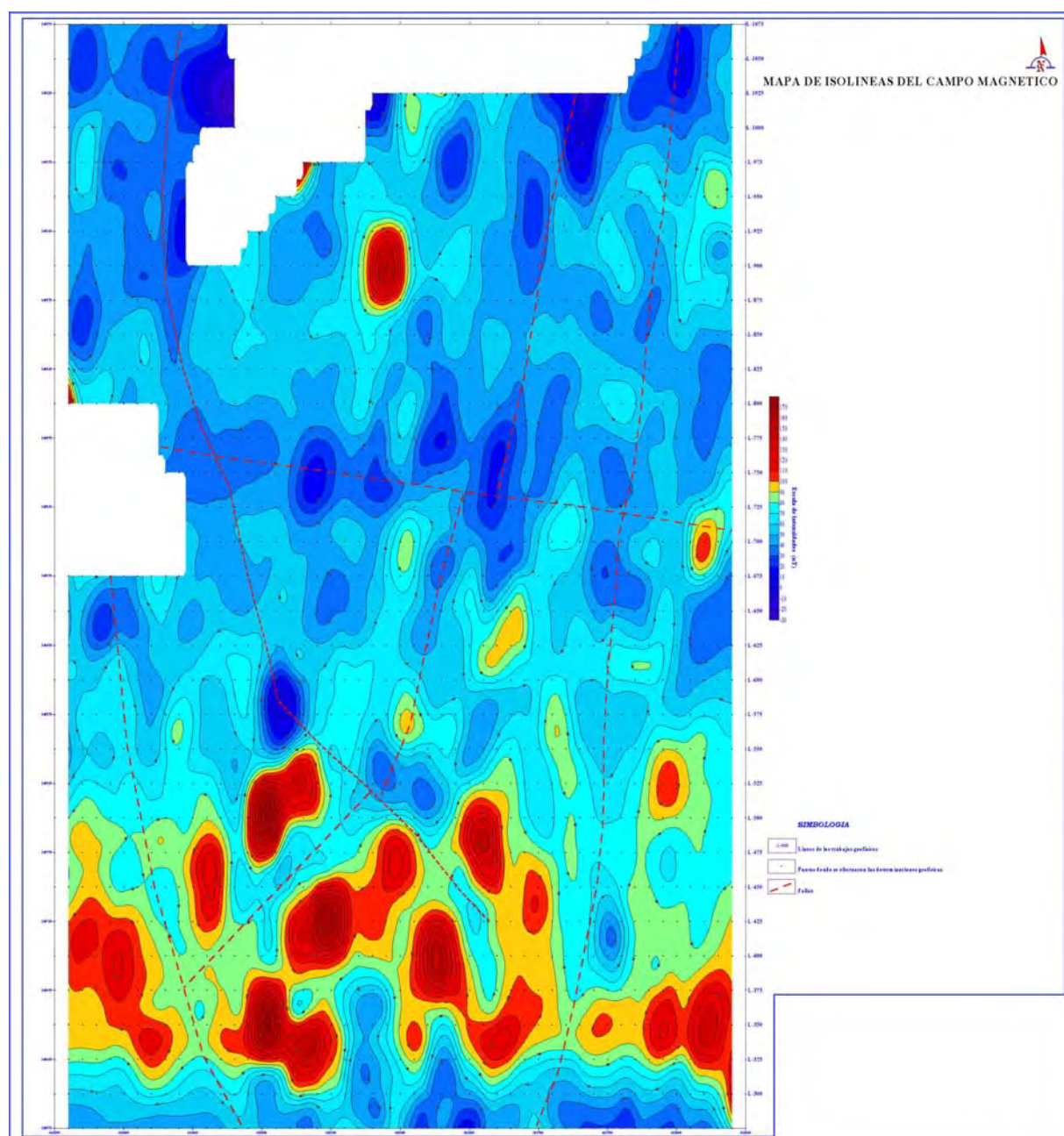


Figura-2 Mapa de isoclinas del campo magnético.

Cantera Calambrosio.

En el mapa de isoclinas de resistividad (figura-3), se puede observar una zona de gradiente o de discontinuidades eléctricas con una línea de color azul que puede estar asociadas al contacto de las arenas arcillosas hacia la parte oeste(hacia las primeras estacas) con color azul y verde generalmente de las arenas de color pardo con grava hacia la parte este(las ultimas estacas), en los perfiles 2,3,4,8 y 9 se puede observar a partir de la isoclinas con valor 180 y superiores, la zona donde se pueden esperar las mayores potencia de la arena con grava, en perfil 5 entre las estacas 22 y 30 y en el perfil 6 partir de la estaca 14 se observa un área de

color azul que puede estar asociada a la presencia del nivel freático cerca de la superficie que Provoca una disminución de la resistividad.

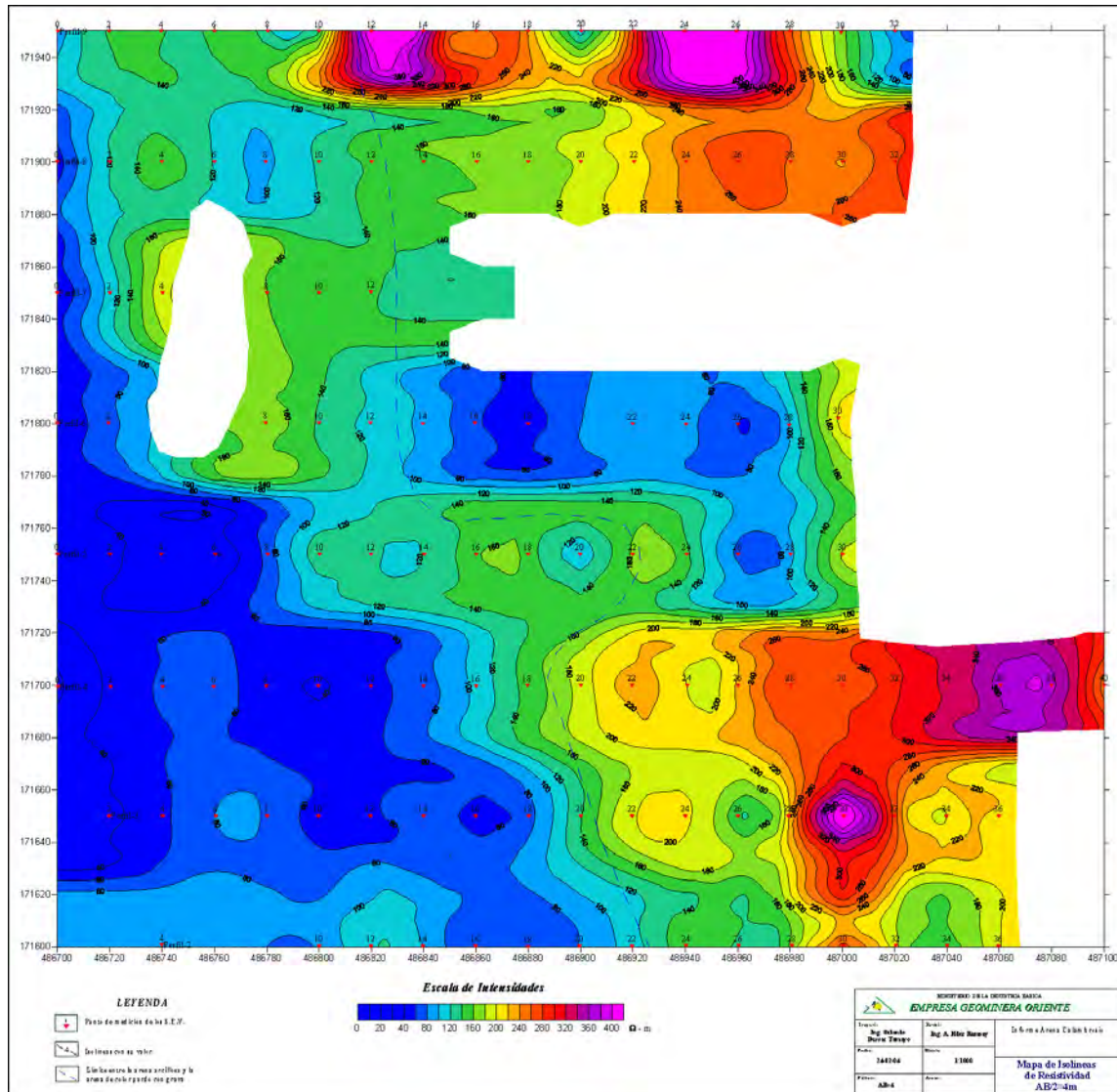


Figura-3 Mapa de Isolíneas de resistividad para AB/2= 4 m.

En los cortes geofísicos por el perfil 5 (figura-4), se puede observar el corte de isohomas el mismo nos da el comportamiento de la resistividad con la profundidad y nos permite caracterizar el corte de interpretación, en los cuales se puede ver la potencia de las capas de interés y el nivel freático, el mismo es variable con la época del año, si llueve mucho se acerca a la superficie y si la seca aumenta va profundizando.

En el corte de interpretación (figura-4), se puede observar que la potencia de la capa de arena arcillosa tiene potencia superiores a los dos metros por debajo aparece la capa de arena con grava que aflora hacia el final de los perfiles con una pequeña capa vegetal por arriba, por el centro del área de trabajo pasa un camino donde se realizaron algunos S.E.V y debido al grado de compactación del mismo se comportan con la misma resistividad que la capa de arena con grava, como es el caso de la estaca-12 del perfil 5.

- Se cartografiaron tres dislocaciones tectónicas en el sector. La situada al Este consideramos es la conocida como Sardinero, descrita por otros autores, con una dirección prácticamente Norte-SUR y buzamiento hacia el Este según nuestros resultados. Por los pequeños valores de resistividad detectados es posible que por esta falla circule agua.
- Se cartografiaron en el área sedimentos con diferentes grados de compactación, de acuerdo a sus características geoeléctricas y magnéticas.
- Se confirman las posibilidades de la existencia del manto freático en el sector de los trabajos y sus inmediaciones.
- Tener en cuenta para la ubicación de los distintos objetos de obras que forman la fábrica, la caracterización de los sedimentos y sobre todo la presencia de fallas con las cuales pueden estar asociados procesos de cavernosidad que pueden contener agua.

Cantera calambrosio:

- Se logró determinar el espesor de las capas de interés y área donde se encuentran así como el nivel freático de la zona de estudio.



DE LA ARQUEOGEOFÍSICA A LA ARQUEOLOGÍA VISUAL: LA RESTITUCIÓN ARQUEOLÓGICA

Orlando R. Carraz Hernández⁽¹⁾, Elina Valle Galindo⁽²⁾

⁽¹⁾Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Ave. 114 # 11901 entre 119 y 127. Marianao
15, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: orlando@civil.cujae.edu.cu

⁽²⁾Instituto Superior de Diseño Industrial, Belascoín # 710 entre Estrella y Maloja. Centro Habana,
Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: bib.lra@infomed.sld.cu

La restitución, en el contexto de la Arqueología Visual, se define como el procedimiento mediante el cual se realiza el levantamiento tridimensional de estructuras arqueológicas que se conservan parcialmente. En este artículo se describen las posibilidades de esta técnica a partir del aporte de los métodos geofísicos, o sea, sobre la base de la traducción a términos arqueológicos de los resultados de las interpretaciones geofísicas.

Se enfatiza, a través de ejemplos, en el valor utilitario de las reconstrucciones tridimensionales emprendidas con el sustento de la interpretación conjunta de los resultados de las prospecciones geofísicas y arqueológicas, y el carácter didáctico que posee de la representación mediante este proceder de las respuestas geofísicas y los cortes o secciones de los objetos arqueológicos.

EMPLEO DEL PERFILAJE ELECTRICO COMO HERRAMIENTA DE SONDEO MEDIANTE EL USO DE LA TURBO-SECCION GEOELECTRICA

M.Sc. Orestes F. Carballo Otero

Departamento de Geofísica del Instituto de Geología y Paleontología; CP 11000, Ciudad de La Habana, Cuba.

La TURBOSECCION GEOELECTRICA es un innovador procedimiento creado por el autor, que permite – a través de las técnicas de perfilaje eléctrico- realizar sondeos virtuales de resistividad y polarización inducida, a diferencia de las pseudos-secciones convencionales, basadas en el empleo de los sondeos dipolares.

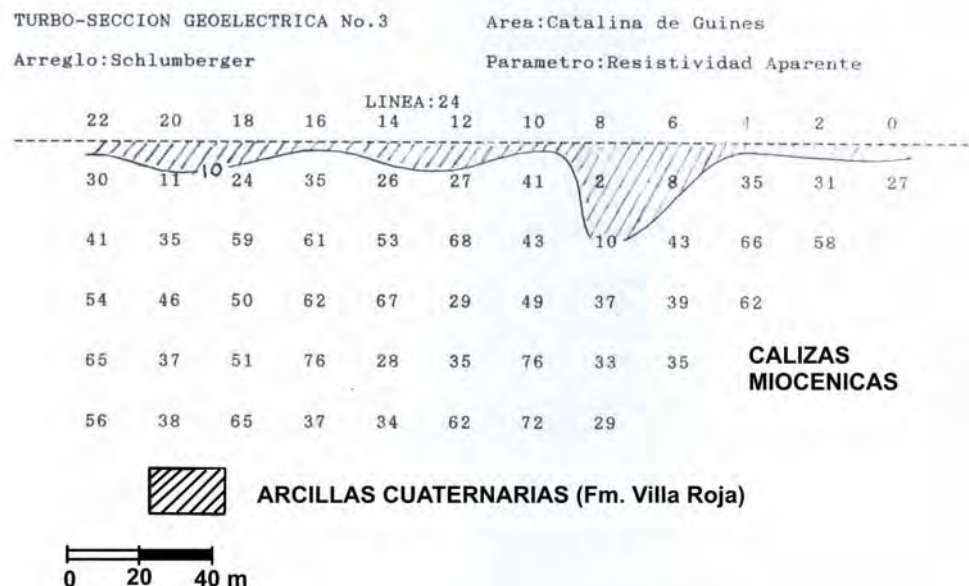
Esta metodología se fundamenta en el Modelo de Respuesta Integral del Subsuelo (MRIS) propuesto por el autor, cuya hipótesis principal plantea, que toda anomalía creada por un dipolo fijo de corriente en la superficie terrestre presenta una información integral de una parte del subsuelo, que puede aprovecharse con fines de sondeo.

Para rescatar esta información profunda se diseñó la metodología de las TURBO-SECCIONES, la cual mediante el trazado de radio vectores verticales y diagonales a partir de las estaciones de superficie, y de un sencillo algoritmo, permite la confección de contornos de isolíneas que visualizan aproximadamente, la morfología y ubicación en el corte de los cuerpos perturbadores.

Para la confección semiautomática de las turbo-secciones se diseñaron dos prácticos programas de software, denominados TS-1 y TS-2, para obtener la matriz de puntos para el posterior trazado de los contornos mediante los programas comerciales tipo Surfer u Oasis Montaj.

Hasta el momento se han confeccionado más de 40 turbo-secciones cuya comparación con sus correspondientes cortes geológicos reales han permitido validar la presente metodología, que permite abaratar y racionalizar las operaciones de campo a interpretación.

Se presentan ejemplos prácticos del uso de las turbo-secciones en la prospección geológica y geotécnica.



EMPLEO DE LA GEOFÍSICA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROGEOLÓGICO DE LA PRESA PINILLOS EN EL YACIMIENTO DE ASFALTITA MANUELA

Rubén Stout Smith

Instituto de Geología y Paleontología

Un nuevo estudio hidrogeológico en el yacimiento de asfaltitas Manuela, tenía como objetivo evaluar la posible influencia de las aguas de la presa Pinillos hacia los futuros pisos de explotación del depósito. Esta obra hidráulica fue construida después de realizada la evaluación hidrogeológica del yacimiento y teniendo en cuenta su cercanía al mismo así como la presencia en la región de un sistema de fallas detectado durante los trabajos del levantamiento geológico del territorio, surgió el cuestionamiento sobre la posible afectación del proceso de explotación del depósito por las aguas del embalse.

Dentro del complejo de investigación los métodos geofísicos debían resolver las siguientes tareas:

- Detectar las estructuras disyuntivas que se encontraban en el área comprendida entre la presa y el yacimiento.
- Determinar la dirección de máximo agrietamiento y de la circulación de las aguas subterráneas. Para esto se utilizó el complejo de métodos integrados por: Magnetometría, Potencial Espontáneo, Perfilaje Eléctrico Simétrico, Sondeo Eléctrico Vertical y Carotaje.

La efectividad del complejo de métodos geofísicos fue buena toda vez que con la interpretación compleja se logró resolver las tareas planteadas, ejemplo de esto es la comprobación positiva por la perforación del sistema de fallas (detectados por la magnetometría) existentes entre la presa Pinillos y el yacimiento Manuela y la coincidencia de la dirección del movimiento de las aguas subterráneas determinadas por los métodos eléctricos, con la dirección obtenida en la evaluación hidrogeológica realizada. Los sistemas de fallas predominantes en el área, tiene una dirección NE-SW y NW-SE coincidiendo esta última con la dirección de máximo agrietamiento y el flujo de las aguas subterráneas. Este flujo impide el movimiento de las aguas de la presa Pinillos hacia el yacimiento.

Como conclusión, se evaluó de negativo el impacto de la presa Pinillos en el yacimiento Manuela.



REPRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN EN ESTUDIO GEÓLOGO-GEOFÍSICO DE LAS FILTRACIONES DE LA PRESA SILANTRO.

Ing. Rodolfo Bordón Roger ⁽¹⁾

(1) Empresa de Proyectos e Investigaciones Holguín Carretera via Bayamo Km 2 ½ Holguín.
Calle 2^{da} # 12 % 9 y 11 Rpto. Emilio Barcenas Holguín Cl: 63022407867.
SCG Filial Holguín

RESUMEN.

Motivado por el surgimiento de importantes brotes de agua en la Presa Silantro, entre las cotas 18 y 27 aguas abajo, a unos 260 m aproximadamente del inicio del Aliviadero y cumpliendo con las orientaciones emitidas por la Dirección General de la Empresa y de la U.E.B.P.I Holguín, a instancias de la Vicepresidencia del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, se procedió al estudio geólogo-geofísico del macizo rocoso, en un área de 4 Km² dentro del cual se encuentra enclavada la obra y la zona de las principales filtraciones, ubicadas principalmente al sur del aliviadero.

En el trabajo se hace un análisis de la tectónica del área con los resultados de la fotointerpretación, la interpretación de las alineaciones del relieve, del procesamiento de las grietas, fallas y elementos de yacencia de las capas o estratos medidas en el campo, así como por la interpretación de los campos geofísicos dados por los métodos eléctricos C.E.N, S.E.V y P.E.S. Para la obtención de los resultados se emplearon los siguientes programas:

- **Geofísica:** SIS, para la interpretación de los sondeos eléctricos verticales que se realizaron en el área, EXCEL para el procesamiento estadístico y representación gráfica de los datos de CEN y PES, IMAGEN-EXPRES para el análisis de las imágenes digitales y SURFER para la representación cartográfica.

- **Geología:** DIPS, con el que se hicieron los diagramas de contorno y la representación de los planos principales máximos; mientras que la cartografía se realizó con el empleo del programa SURFER.

Finalmente se dan conclusiones sobre la estructura geológica general del área y de aquellas específicas por las cuales se producen las filtraciones, así como los campos físicos que determinan la extensión y dirección del flujo de las aguas, con lo cual se pudo orientar las perforaciones para la realización de investigaciones geofísicas en pozos y para el uso de trazadores en investigaciones hidrogeológicas.

ABSTRACT.

Motivated by the initiation of important buds of water in the Silantro Dam, between 18 and 27 elevation downstream, to some 260 m approximately of the beginning of the spillway and fulfilling the orientations emitted by the General Address of the Company and of the U.E.B.P.I Holguín, at the request of the Vicepresidencia of the National Institute of Hydraulic Resources, was proceeded the study Geology- Geophísic of the massive rocky, in an area of 4 Km² within the who it meet located the work and the zone of the principal filtration, been located mainly to the south of the spillway.

In the work becomes an analysis of the tectonic of the area with photointerpretation results, the interpretation of the ground alignments, prosecution of the cracks, faults and other elements of the ground like layers or stratum measured in the field, as well as for the interpretation of Geophísic fields considered for the electric methods C.E.N, S.E.V and P.E.S. For the obtaining of the outputs the following programs were employed:

- **Geophísic:** SIS, for the interpretation of them sound out vertical electricians that were carried out in the area, EXCEL for the statistical prosecution and graphic representation of the facts of CEN and PES, IMAGEN-EXPRES for the analysis of the image digitalis] and SURFER for the representation cartographic.

- **Geology:** DIPS, with that they became the diagrams of contour and the representation of the plans maximal principals; while the cartography was carried out with the employment of the SURFER program.

Finally this work give up conclusions on the structure general geologic of the area and of those specific for the filtration are produced, as well as the fields physics that determine the extension and direction of the water flow, with which one could guide the perforations for the realization of investigations Geophísic in wells and for the use of trazadores in investigations hidrogeologic



INTRODUCCIÓN.

Recientemente fue inaugurada por el ministro de las FAR, General de Ejército Raúl Castro Ruz, en el municipio de Pílon, provincia Granma La Presa Silantro, obra hidráulica que constituirá la solución definitiva de abasto a este municipio así como a las instalaciones que se construyen en esta zona del país.

Por instrucciones del Director de Investigaciones de la Unidad Básica de Proyectos de Holguín, EMPI, el Taller de Ingeniería Geológica de la propia entidad ejecutó un complejo de métodos geofísicos para la satisfacción del cliente, en este caso la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Holguín para dar una información de la dirección y movimiento de las aguas que producto al llenado de la Presa Silantro surgieron en el mes de noviembre del 2001 en la parte de descarga del aliviadero así como el estudio del agrietamiento de la roca que componen al mismo y su levantamiento Ingeniero Geológico.

Se procedió al estudio de la fracturación del macizo rocoso, en un área de 4 Km² dentro del cual se encuentra enclavada la obra y la zona de las principales filtraciones, ubicadas principalmente al sur del aliviadero.

Los objetivos de la investigación fueron:

Con el complejo geofísico empleado se respondiera a la tarea técnica, infiriendo de los resultados:

- Dirección y extensión de las áreas por donde ocurren las filtraciones así como la velocidad de los flujos subterráneos.
- Profundidad del horizonte conductor.
- Determinar los sistemas de grietas o fracturas por las cuales se producen las filtraciones o pérdidas del embalse y las medidas para contrarrestarlas.

El método de investigación (Geólogo - Geofísico).

Se hace un análisis de la tectónica del área con los resultados de la fotointerpretación, la interpretación de las alineaciones del relieve, del procesamiento de las grietas, fallas y elementos de yacencia de las capas o estratos; trabajos que se realizaron paralelos a los trabajos geofísicos.

El estudio geofísico se realizó con la finalidad de estimar la zona de filtraciones y flujos subterráneos provenientes del vaso de la Presa Silantro estimados en unos 50 litros por segundo, para ello se realizaron 458 puntos de CEN con paso de 4 metros, 25 puntos de Sondeo Eléctrico Vertical con AB/2= 75m, con paso 15 m a través de tres perfiles de investigación que cortaron perpendicularmente al eje del aliviadero para determinar el corte en profundidad, detallando la potencia de cada una de las capas existentes, así como 139 puntos de Perfilaje Eléctrico Simétrico con la finalidad de determinar la resistividad de la roca asociada a la zona de filtraciones. El método de Resistivimetría y Cuerpo Cargado se realizarán con el objetivo de estudiar la dinámica de las filtraciones cuando sean perforadas las calas para este fin.

La etapa de proyectos es la ejecutiva y la escala de investigación fue de 1: 1000 aunque las representaciones gráficas para una mejor visualización se presentan a escala 1:500. La profundidad de investigación alcanzada estuvo entre los 20 y 30 metros.

Se solicitó premura en la ejecución, procesamiento, y presentación de los resultados basados en las experiencias y efectividad de los métodos geofísicos en la resolución de este tipo de trabajo Eje. Presa Cauto El Paso y Cautillo (Granma), Presa Los Asientos (Guantánamo) etc.

Los trabajos de campo se iniciaron el día 21 del mes de Diciembre del 2001, concluyendo el día 17 de enero del 2002 los trabajos de la geofísica somera, pues para la ejecución de la geofísica de pozo para esta fecha no se habían realizado las calas. No obstante se ofrecieron partes de informaciones parciales.

La Hipótesis que se presenta para esta investigación es:

“las estructuras geológicas rigen y controlan las filtraciones, el movimiento de las aguas provocan potenciales de electro filtración y disminución de la resistividad en las rocas y estas filtraciones se producen por el aliviadero en su parte derecha.”



Las variables a estudiar son:

- Posición espacial de la fracturación (Elementos de yacencia.)
- Resistividad eléctrica.
- Potencial espontáneo (Campo Eléctrico Natural.)
- Dirección del flujo.
- Velocidad del flujo.

El trabajo también cumplimentó los objetivos del Diplomado de Geología que en coordinación con el I.S.M.M. de Moa se impartió en la sede del Dpto. de Investigaciones Aplicadas de la EIPHH

MATERIALES Y METODOS

Los trabajos anteriormente realizados en el área investigada, se pueden agrupar en trabajos geológicos regionales y detallados.

Dentro de los trabajos presedentes podemos mencionar el Informe ingeniero-geológico e hidrogeológico para el P.T.E de la ing. Alma Calzadilla de la ENIA # 6 de Holguín que data de 1986 y el Informe ingeniero-geológico de la Presa Silantro de la propia autora que data de 1989, los que sirvieron de base a las Investigaciones geológicas complementarias en la Presa Silantro desde el final del dique hasta el aliviadero del ing. Víctor Leyva Rivas, que culminó en septiembre del 2000 y que constituye la base principal de consulta para este trabajo, del cual se toman las descripciones de las capas ingeniero-geológicas.

Otro informe realizado para la obra fue el de proyecto del Dpto. de Obras Hidrotécnicas de la E.I.P.H. Holguín del Ing. Pedro Ricardo Martínez, titulado Presa Silantro P.T.E. Proyecto de Inyección en roca de 1991, el cual fue consultado principalmente en lo referente a las descripciones de las capas ingeniero-geológicas.

Generalidades

En el área de estudio afloran las rocas del miembro Pílon de la Formación el Cobre de edad Paleoceno al Eoceno medio (Cob-PL E1-22), la parte alta del Grupo El Cobre se caracteriza por la presencia de conglomerados vulcanomícticos tobaceos, intercalados con areniscas y aleurolitas de color crema y verde de granulometría gruesa a fina con buena estratificación de tipo laminar, fina y gradual y contorsionada. Las facies de la parte alta del Eoceno Inferior se localizan en el tope del Grupo El Cobre que se propaga por la Sierra Maestra y en el subsuelo hasta la Cuenca del Cauto y la parte sur de los valles Centrales y la Formación Sabaneta localizada hacia la porción central y septentrional de Cuba oriental. En la parte alta del grupo El Cobre se da un cambio gradual de las facies de flysch vulcanogeno sedimentario hacia molasas terrígenas carbonatadas con poco contenido de piroclastitas (Quintas 1989, Cobiella 1978)

Cuba Oriental durante el Eoceno Inferior formó parte de una microplaca junto a La Española limitada por el Oeste por la Cuenca Yucatán –Cauto donde se desarrollaba un proceso de expansión y constituían el límite entre las placas Caribe y Norteamericana. La microplaca tuvo una relación de convergencia que dio lugar a la formación de un doble arco de islas volcánicas: el mas septentrional localizado en Cuba Oriental de carácter toleítico y el mas meridional, poco desarrollado, localizado en La Española, de carácter calcoalcalino. La polaridad de la subducción aun es objeto de controversias existiendo opiniones contrarias que sitúan la subducción desde el Noroeste o desde el Sur. (Quintas 1994, Cobiella 1988), así como depósitos aluviales del Cuaternario.

CAPÍTULO II. METOLOGÍAS DE LOS TRABAJOS.

Lo primero que se hizo fue la revisión bibliográfica de todos los trabajos realizados en la región, fundamentalmente aquellos de interés ingeniero-geológico e hidrogeológico. Se analizaron las cartas topográficas 1:50 000, 1:25 000 y el levantamiento topográfico del aliviadero a escala 1:1000.

También se hizo la fotointerpretación de las fotos aéreas a escala 1:37 000 del vuelo K-10 soviético, donde se ubicaron las principales alineaciones de posible génesis tectónica, así como se delimitaron



algunos contactos geológicos. El trabajo se hizo combinando los métodos tradicionales de fotointerpretación, con el procesamiento digital de imágenes, usando los programas Telemap y SURFER principalmente.

Una vez tenido el esquema fotogeológico del área, se pasó a la ejecución de los trabajos de campo. Se documentaron 29 puntos, concentrados principalmente en la zona del aliviadero y sus alrededores (60 %), mientras que el resto se distribuyeron por todo el dique de la presa y sus hombros (40 %).

Los trabajos de campo para el levantamiento y mediciones de grietas tuvieron una duración de 5 días y en total se midieron 137 grietas, 10 fallas y 30 elementos de yacencia de estratos. Para esto se usó una brújula alemana, una piqueta y una cinta métrica de 30 metros. En la documentación de los puntos se hizo énfasis en las estructuras geológicas en primer lugar, en segundo lugar se ubicaron los puntos por donde se producían las fugas de agua y los posibles sistemas de grietas asociados a estas y en tercer lugar se documentó la litología, que estuvo en este nivel de prioridad, debido a las excelentes descripciones que se habían hecho en informes anteriores

El complejo de métodos geofísicos realizado fue:

- Campo Eléctrico Natural en la variante de potencial
- Perfilaje Eléctrico Simétrico con doble abertura $MN/2=5m$, $AB/2=10m$ y $A'B'/2=20m$.
- Sondeo Eléctrico Vertical $AB/2 \text{ max}=75m$

Campo Eléctrico Natural (Potencial Espontáneo):

Para las mediciones del potencial espontáneo se utilizó el multímetro digital SIZEEC EC8400.

El método es empleado en la Ingeniería Geológica para el estudio de los potenciales de electrofiltración los cuales dan información de presencia y circulación de aguas subterráneas, zonas de incremento de la porosidad etc.

Las anomalías de interés son de relativa baja intensidad (primeras decenas de mV a lo máximo) es por ello que se realiza observando un estricto control en las operaciones.

Para todas las observaciones el contacto a tierra debe ser óptimo, por ello en caso de sequedad el terreno se removió y humedeció.

En la variante potencial, se colocó un electrodo de medición fijo M cercano al centro del área que se va a levantar, constituyendo éste el punto de referencia y a través del desplazamiento del electrodo móvil "N" a los intervalos determinados se van efectuando las mediciones de las diferencias. Para el control de la precisión de las mediciones durante la recogida de la línea se repitieron observaciones cada 10 puntos. La precisión resultante debe ser menor que el 5%.

Luego procedimos a la representación de los datos los cuales se pueden realizar mediante gráficos de perfiles según metodología tradicional del Taller de Ingeniería Geológica.

Sondeo Eléctrico Vertical:

La esencia del método de Sondeo Eléctrico Vertical comúnmente llamado "SEV" consiste en el estudio en el sentido de la profundidad del parámetro resistividad eléctrica aparente (ρ_a).

Para la aplicación del mismo se siguen los siguientes pasos:

Se diseñó un dispositivo electródico que según su configuración define cada variante de este método regida por los objetivos específicos que se persiguen. Pero como cuestión general se define la existencia de dos o más electrodos de alimentación o de corriente, convencionalmente llamados AB y de dos ó más electrodos de potencial o de medición convencionalmente llamados MN. El proceso consiste en la sucesiva apertura de los electrodos AB con oportunas aperturas de los electrodos MN, según los requerimientos de magnitudes de voltaje apreciables con exactitud por el equipo de medición.

En nuestro caso fue utilizado el dispositivo de tipo Schlumberger, con las siguientes aberturas:

$AB/2 = 1.3, 1.8, 2.4, 3.2, 4.2, 5.6, 7.5, 10.0, 13.0, 18.0, 24.0, 32.0, 42.0, 56.0, 75.0$ y 100.0 metros

$MN/2 = 0.5, 2.5$ y 5.0 metros.

Los empalmes se localizaron en las aberturas (10.0, 13.0 y 32.0, 42.0)



Perfilaje Eléctrico Simétrico con doble abertura.

El diseño del dispositivo electródico se realiza en dependencia del tipo de tarea a resolver en cuanto a las probables dimensiones de los objetos geológicos que se pretenden detectar, la profundidad y elementos de yacencia del mismo. Por ello resulta muy conveniente contar con alguna información a priori sobre estas variables, resultados del método en condiciones similares, o bien la ejecución de algunos SEV aislados en el área que aporten elementos sobre la constitución del corte geoelectrico y las profundidades alcanzadas por las diferentes configuraciones electródicas.

El dispositivo diseñado para esta investigación tenía las siguientes dimensiones:

$MN/2 = 5m$, $AB/2 = 10m$ y $A'B'/2 = 20m$

La metodología de aplicación se corresponde con las instrucciones del manual de procedimientos vigente en el Taller.

VOLUMENES DE TRABAJOS GEOFISICOS REALIZADOS

No	Método	UM	Cantidad	Ordinarios	Control
1	Campo Eléctrico Natural	Obs.	458	456	52
2	Sondeo Eléctrico Vertical	Obs.	25	23	2
3	Perfilaje Eléctrico Simétrico	Obs.	139	119	20

Para la medición de los potenciales naturales se realizó en una primera etapa un perfil por la berma de inyección hasta el talud derecho del aliviadero donde se midió este parámetro con un paso de 5 metros en tres forma:

- Poniendo el electrodo fijo cercano al talud izquierdo del aliviadero y midiendo en ambas direcciones.
- Poniendo el electrodo fijo cercano al talud derecho del aliviadero y desplazándose hacia el dique hasta la posición central del macizo por la berma de inyección.
- Poniendo el electrodo fijo en la posición central del macizo y desplazándose hacia el talud derecho del aliviadero.

En una segunda etapa fueron medidos 8 perfiles perpendiculares al eje del aliviadero separados a 10 metros cada uno poniendo el electrodo fijo en la estaca 1 del perfil central y desplazando el móvil con un paso de 4 metros a través de dichos perfiles, para vincular el resto de los perfiles al electrodo fijo se utiliza una bobina.

Mediante el uso del software Ecxell, se plotearon los valores y se graficaron.

Sobre las zonas que brotaron las filtraciones se procedió a medir este parámetro y se plotearon de la misma forma.

El método de SEV se midió en tres perfiles perpendiculares al eje del aliviadero, abriendo los electrodos AB, MN en dirección paralela al eje ya que es la que permite la geometría del mismo y para lograr la profundidad de investigación requerida.

El primer perfil de SEV fue medido separado de la losa de inyección a unos 30 metros y paralela a ésta,

El segundo se midió separado a unos 30 metros y en ambos caso fueron medidos 7 SEV.

El tercer perfil fue medido desde el talud izquierdo del aliviadero y por toda la trocha confeccionada para esta investigación con una separación entre sondeos de 10 a 15 metros, estos fueron abiertos en la dirección de la trocha y complementado con CEN y PES.

Se utilizó el sistema SIS para la interpretación de los sondeos medidos. La representación de los cortes de isohmas fue realizada mediante el sistema SURFER y se utilizó el valor de la resistividad de capa que genera la interpretación automática del sistema SIS para cada sondeo

El método de perfilaje eléctrico simétrico fue realizado a través de 5 perfiles a lo largo del aliviadero y paralelos o casi paralelos al eje del mismo, como este aliviadero posee una inflexión a los 70 metros aproximadamente los perfiles tomaron la misma curva.



Los datos del PES fueron procesados utilizando el sistema SURFER y se representaron las carta de isohomas a las dos aberturas medidas ($AB = 20\text{m}$ y $A'B' = 40\text{m}$).

CARACTERÍSTICAS INGENIERO-GEOLÓGICAS.

Estas secuencias desde el punto de vista ingeniero-geológico se han dividido por otros investigadores en las siguientes capas: (Ref. bibliográfica)

III.1. Capas ingeniero-geológicas.

Capa N° 1. (Capa aluvial). Compuesta por balasto en matriz fundamentalmente de arenas gruesas, la cual se encuentra en la zona del cauce del río con potencias de hasta 13.0 m.

Capa N° 2. Tobas intensamente meteorizadas hasta el grado de eluvio, de composición limo arcillosa y colores carmelita claro y amarillo verdoso. Contiene fragmentos de tobas muy meteorizadas, angulosos, de tenacidad muy baja, pero que conservan aún la estructura de la roca madre. Presenta vetas de calcita y nódulos de carbonato de calcio, aunque de no forma de forma abundante.

Capa N° 3. Constituida por tobas andesíticas de grano fino, medio y grueso, así como areniscas tobáceas meteorizadas, muy agrietadas. El contacto entre los estratos de la propia capa es continua, no observándose separación entre las grietas de estratificación. La tenacidad de las rocas que conforman esta capa aumenta con la profundidad, en la misma medida que disminuye la influencia de los agentes del intemperismo, variando de tenacidad baja a medio-alta, en los estratos más profundos. En general los colores varían de carmelita a gris amarillento.

Capa N° 4. Está representada por tobas andesíticas generalmente silicificadas y carbonatadas, de alta tenacidad y afectadas por un intenso agrietamiento en varias direcciones que fragmenta a la roca en bloques o ladrillos, sobre todo en las partes más superficiales. Su color varía de gris a carmelitoso. El contenido de carbonato de calcio es de un 34 % (referencia bibliográfica N° 2). Estas rocas tienen grietas abiertas y selladas al igual que la Capa N° 3, los planos de las fracturas abiertas están manchados de óxidos de hierro y manganeso y el sello de las grietas rellenas es de composición carbonatada y silícica.

Los estratos de tobas andesíticas presentan intercalaciones de pequeños espesores de calizas tobáceas, areniscas tobáceas y tobas. Las potencias de estas últimas pueden ser incluso menores de 5 cm de potencia.

En el Punto N° 24 se observa un dique de andesita criptocristalina de 35 a 40 cm de espesor cuyos elementos de yacencia son: $340^{\circ}/66^{\circ}$.

Análisis de la fracturación.

De la consulta de los materiales de archivo, de la fotointerpretación y de los trabajos de campo realizados, se pudo concluir que en el área de estudio hay presentes 3 bloques estructurales con límites de fallas plano verticales y características distintivas. Estos son:

1. **Bloque I.** Limitado por la falla F-I vertical y desplazamiento al parecer tanto en sentido vertical como por el rumbo, cuyo desplazamiento no pudo ser medido, aunque debió ser significativo, por el giro brusco que toman los estratos de rocas con respecto a la yacencia característica de las secuencias de rocas de la Sierra Maestra el cual va desde el NNE al NE y sin embargo en el bloque esta yacencia es prácticamente hacia el oeste franco ($271^{\circ}/28^{\circ}$) lo que denota un giro de más de 90° en sentido antihorario..

Las familias de grietas principales son: $201^{\circ}/70^{\circ}$, $7^{\circ}/81^{\circ}$, $129^{\circ}/74^{\circ}$ y $35^{\circ}/40^{\circ}$, los cuales se corresponden más o menos a la de toda el área, teniendo en cuenta que este bloque da el mayor peso en el análisis de toda la fracturación, ya que en él se hicieron la mayoría de las mediciones, por ser la zona donde se producen el grueso de las filtraciones. Ver figuras N° 1 Y 2.



En este bloque se pudieron medir las siguientes fallas destapadas por la excavación del aliviadero:

- a. Falla con buzamiento $170^{\circ}/50^{\circ}$ y salto vertical de 50 cm. (PtoN^o 5).
- b. Falla con buzamiento $180^{\circ}/60^{\circ}$ y salto vertical de 1.50 cm. (PtoN^o 5) Zona de trituración tectónica de 10 a 15 cm.
- c. Falla con buzamiento $183^{\circ}/65^{\circ}$ y salto vertical de 1.50 a 1.8 cm de tipo normal. (PtoN^o 6).
- d. Falla con buzamiento $140^{\circ}/70^{\circ}$ y salto vertical de 1.0 m y zona de trituración de 3 cm. (PtoN^o 8).
- e. Falla con buzamiento $172^{\circ}/30^{\circ}$ y zona de trituración de 7 a 10 cm. (PtoN^o 9).
- f. Falla con buzamiento aproximado $195^{\circ}/90^{\circ}$ y zona de trituración tectónica de varios metros hacia la cañada. (PtoN^o 10).

Al parecer las fracturas que provocan las filtraciones son en primer lugar las grietas de estratificación que están abiertas moviéndose el agua subparalelamente al rumbo de los estratos ($271^{\circ}/28^{\circ}$), en segundo lugar el sistema $202^{\circ}/73^{\circ}$, moviéndose el agua subparalelamente al buzamiento. La alta fracturación del macizo principalmente cercano al plano de falla F-I, hace que el agua pueda brotar al final del aliviadero con cierta presión por los otros sistemas de grietas independientemente de que la yacencia no sea favorable para conducir el agua, por lo que las primeras son grietas que favorecen la salida del agua y las otras controlan su distribución por el macizo.

En este bloque afloran las capas ingeniero-geológicas N^o 4, 3 y 2 en el mismo orden de importancia, así como un pequeño sector al SE donde la Capa N^o 1 cubre discordantemente a un pequeño sector del bloque.

La geofísica realizada da mínimos de resistividad en las zonas de mayor trituración tectónica por lo que pueden ser las zonas por donde se produce la mayor fuga de agua correspondiendo estos mínimos a la parte superior del corte (cota entre 40-45 m) en la berma derecha del aliviadero, mientras que en la berma izquierda los mínimos están a mayor profundidad (cota < 40 m).

- 2. Bloque II.** Bloque estrecho ubicado entre las fallas F-I y F-II que al parecer responden a una misma familia con características semejantes, ambas producidas por los esfuerzos cortantes transextensivos de la falla transformante Bartlett-Caimán de movimiento siniestro. Este bloque tiene una orientación NW-SE correspondiendo con la misma orientación de las fallas. Estructuralmente este bloque está más hundido que el bloque I. Este giró al igual que el bloque I más de 90° en sentido antihorario..

Las familias de grietas principales son: $110^{\circ}/69^{\circ}$, $269^{\circ}/84^{\circ}$, $210^{\circ}/88^{\circ}$ y $178^{\circ}/58^{\circ}$. No se analizan aquí las grietas interestratificadas que en este bloque suelen ser más abiertas como ya se comentó. Se midieron dos falla cuyos elementos de yacencia son $30^{\circ}/66^{\circ}$ y $34^{\circ}/50^{\circ}$, pertenecientes a una misma familia de fracturas con desplazamiento. En orden de importancia expuesto, en el bloque afloran las capas ingeniero-geológicas N^o 3, 2 y 1.

En este bloque se detectaron nuevas filtraciones en el punto de documentación N^o 29. Estas filtraciones se producen al parecer por los sistemas $271^{\circ}/38^{\circ}$ (grietas de estratificación), $269^{\circ}/84^{\circ}$, $110^{\circ}/69^{\circ}$ y $178^{\circ}/58^{\circ}$.

- 3. Bloque III.** Situado al oeste de la falla F-II, se caracteriza por una yacencia muy diferente a la de los bloques anteriores ($157^{\circ}/38^{\circ}$). Al parecer este bloque rotó más de 90° en sentido horario o simplemente son estratos del flanco sur del anticlinorio Sierra Maestra, el cual fue cortado por la falla transformante Bartlett-Caimán, quedando un relicto en esta zona, lo que parece muy probable. No obstante de ser cierta esta última hipótesis, el bloque tuvo que tener



algún movimiento de su posición estructural inicial producto al complejo cuadro tectónico presente en la región.

En el bloque se presenta una dispersión mayor de las fracturas o grietas, lo que dificulta su agrupación en familias, no obstante se pudieron agrupar las siguientes: $244^{\circ}/53^{\circ}$, $322^{\circ}/69^{\circ}$, $110^{\circ}/41^{\circ}$, $52^{\circ}/53^{\circ}$ y $40^{\circ}/80^{\circ}$.

En el punto N^o 24 se midió un plano de deslizamiento de falla con estrías y espejos de fricción cuyos elementos de yacencia medidos fueron $260^{\circ}/60^{\circ}$, además se midió otra en el punto N^o 24, que sale también en la fotointerpretación con rumbo este-oeste, cuyos elementos de yacencia medidos fue $334^{\circ}/56^{\circ}$, observándose silicificación en toda la zona de trituración de algo más del metro de potencia. Además en el punto N^o 28 se midieron dos pequeñas fallas, la mayor con yacencia $210^{\circ}/70^{\circ}$ con brecha tectónica en su plano y la segunda más pequeña de tipo inversa con yacencia $336^{\circ}/54^{\circ}$, la que parece relacionada con la falla del punto N^o 27.

En orden de importancia en el bloque afloran las capas ingeniero-geológicas N^o 3, 4, 2 y 1.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS GEOFÍSICOS:

El método de potencial espontáneo reflejó anomalías de carácter negativo en la zona del eje del aliviadero hacia el talud derecho del mismo infiriendo de esto que las filtraciones pudieran estar asociadas a las grietas o fisuras que poseen las rocas que yacen en esta zona y pudieran estar relacionadas con las fisuras de interestratificación de las capas de tobas silicificadas, agrietadas y tenaces que yacen con una inclinación aproximada de 45° hacia la base del macizo que conforma la margen derecha del aliviadero y que estas capas están en contacto con el agua en el embalse, en esta zona se midieron valores de hasta -36.0 mv.

En los perfiles medidos sobre las salidas o emanaciones de las filtraciones las anomalías se reflejan con carácter negativo alcanzando hasta -14.6 mv.

Los valores de resistividad reflejan lo que en el aliviadero pudiera estar relacionado con las zonas más humedecidas del mismo encontrándose mínimos entre 20 y 40 ohm.m y que aparecen relacionadas a las anomalías de CEN.

Para ilustrar el resultado de los trabajos describiremos los anexos gráficos presentados:

Anexo #1

Representa los perfiles de campo natural medidos por la berma de inyección extendido hasta la margen derecha del aliviadero y poniendo el centro del perfil, como se observa, de izquierda a derecha el potencial espontáneo tiene carácter positivo a pesar que en los primeros puntos el valor está muy cercano a $+1$ mv, a mediados del perfil este cambia su polaridad y comienzan a aparecer lo que consideraríamos valores anómalos supuestamente asociados a potenciales de electrofiltración y coincidentemente con la zona donde comienza el corte del aliviadero, a unos 40 metros del talud estos valores se acentúan alcanzando los -6.7 mv y con una extensión aproximada de 20 metros finalizando la curva con tendencia negativa.

El segundo gráfico representa los valores medidos desde el extremo derecho del perfil hacia el dique, este define una anomalía más extensa abarcando unos 70 metros de extensión y un valor de -6.6 mv.

El tercer gráfico representa los valores medidos desde el extremo izquierdo del perfil hacia el aliviadero, los valores de la curva son negativos en casi su totalidad acentuándose en la zona del aliviadero y ya al final extremo derecho se midió un valor de -10 mv.

El cuarto gráfico representa la superposición de los tres, definiendo desde el punto 18 hasta el punto 28 una perfecta marcada anomalía de unos 50 metros de extensión probable zona de alimentación de las filtraciones.

Los valores medidos, como se observa en el gráfico culmina con carácter negativo y la tendencia a seguir estos hacia el macizo derecho.



Anexo #2

Representa un perfil medido sobre la zona donde afloran las filtraciones y las imágenes coinciden con el punto que marcan anomalías de potencial espontáneo alcanzando valores de -6.0 mv en una dirección y hasta -14 m v en la otra.

Los cortes de resistividad que se construyeron en los perfiles muestran la relación que existe entre las zonas anómalas para el CEN y los mínimos de resistividad.

Se observa en el **Corte No 1** que se encuentra situado a unos 30 metros paralelo a la losa de inyección y con una orientación Este-Oeste la distribución de las resistividades tanto en la horizontal como en profundidad y nos muestra la coincidencia de un mínimo resistivo en la parte derecha del corte con la zona donde el potencial espontáneo revela potenciales de electrofiltración o un acentuamiento de mínimo de potencial alcanzando los -18 mv.

Se debe destacar que este fenómeno se observa por debajo de la cota 36 y la presa en el momento de los trabajos estaba en cota 38 y es en nuestro trabajo la confirmación del mismo por ambos métodos geofísicos nos permite inferir que es el lugar más probable de ocurrencia del flujo que alimenta las emanaciones que se observan en el final del aliviadero.

En el **Corte No 2** orientado de la misma forma pero desplazado a unos 70 metros de la losa de inyección nos muestra igualmente aunque un poco apantallado la coincidencia de la variación del campo potencial con un mínimo de resistividad marcado en el perfil de sondeos desde unos 30 metros del talud izquierdo del aliviadero hasta el otro extremo del mismo de forma similar al corte No1, este fenómeno ocurre por debajo de la cota 30 y suponemos que la disminución de la resistividad está asociada con la ocurrencia de los flujos subterráneos.

El **Corte No 3** representa el perfil medido desde el talud izquierdo del aliviadero por toda la trocha preparada por el bulldozer, en éste se observa a unos 10 metros antes de la subida y a una profundidad aproximada de 16 metros aparece nuevamente el mínimo de resistividad que hemos asociado a los flujos subterráneos supuestamente y que se extiende hacia el interior del macizo derecho.

Las cartas de isohomas representadas a partir de los valores medidos con dos aberturas del perfilaje muestran anomalías de mínimos de resistividades alargadas en la dirección del aliviadero lo que nos permite inferir la dirección de las filtraciones y su principal evidencia es del eje hacia el talud derecho del aliviadero.

EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LAS MEDICIONES

Una vez terminados los trabajos de campo se procede al cálculo de la precisión de los trabajos.

La calidad de la obtención de datos de campo puede evaluarse de satisfactoria alcanzándose los resultados esperados.

Para el método de CEN se calculó el error más probable mediante la fórmula del error medio cuadrático.

$$m = \pm \Sigma \Delta U_i / n$$

donde:

ΔU_i = Diferencias entre el potencial natural ordinario y el de control

n = número de repeticiones.

El valor del error calculado fue 2.1 mv.

Para los métodos de resistividad se realizaron dos sondeos de control y 20 puntos de PES de control.

El error para este caso se calculó mediante la fórmula:

$$p = \Sigma 2 \frac{\rho^1 - \rho^2}{\rho^1 + \rho^2} \cdot 100\% \text{ donde:}$$

ρ^1 = resistividad aparente en las mediciones ordinarias.

ρ^2 = resistividad aparente en las mediciones de control.



Para el SEV el error fue de 4.9 %.

Para el PES el error fue de 5.1 %.

CONCLUSIONES

Los campos físicos reflejan el carácter local de las filtraciones así como su extensión a través del aliviadero paralelo al eje del mismo y con tendencia a hundirse por debajo del macizo rocoso del talud derecho del aliviadero y son la herramienta con que contamos para concluir que:

- De la aplicación del método de CEN consideramos que reflejó la existencia de potenciales de electrofiltración con carácter anómalos los cuales deben estar asociados a las filtraciones, a pesar de los buenos resultados reflejados en el informe al parecer estos están algo apantallados por la potencia de roca que existe entre el piso del aliviadero y el nivel o cota a las cuales se están desarrollando los flujos, además las condiciones de tomas a tierra se consideran difíciles por la característica de que es un corte de la roca fresca.
- Los métodos de resistividad reflejaron como mínimos de esta, las zonas por donde pudieran estar circulando flujos de agua proveniente del vaso de la presa y de la correlación de los perfiles podemos decir que la dirección de estos mínimos coinciden con la dirección a las cuales brotan las emanaciones de agua.
- Durante los trabajos de campo se observaron nuevas emanaciones de agua en la base del macizo que conforman el cierre, entre el aliviadero y el dique por la parte posterior y en el corte del antiguo cauce del río, además las filtraciones que aparecen aguas abajo del cauce después de la cascada y que están erosionando aún no se han encausado para su medición.
- El cuadro tectónico determinado por fotointerpretación y trabajos de campo, da la presencia de dos grandes fallas plano verticales F-I y F-II, que dividen el área en 3 bloques estructurales: bloque I, bloque II y bloque III con características estructurales distintivas de yacencia y fracturación principalmente, donde la yacencia del bloque III es de $157^{\circ}/38^{\circ}$ contra $271^{\circ}/28^{\circ}$ la de los bloques I y II, este último, estructuralmente más bajo que el I.
- Las filtraciones en el bloque I se producen desde el centro del aliviadero hacia la parte derecha de éste, de acuerdo a la orientación de las grietas y a la posición espacial de los brotes de agua, además estos no deben continuar mucho más hacia el interior del macizo ya que en dirección oeste, no se detectan zonas húmedas en las cañadas más profundas. Los sistemas de grietas que controlan la salida del agua desde la presa son: $271^{\circ}/38^{\circ}$ (grietas de estratificación) y $202^{\circ}/73^{\circ}$, siendo los demás sistemas controladores de su distribución.
- Las filtraciones en el bloque II se producen al parecer por los sistemas $271^{\circ}/38^{\circ}$ (grietas de estratificación), $269^{\circ}/84^{\circ}$, $110^{\circ}/69^{\circ}$ y $178^{\circ}/58^{\circ}$.
- Estos resultados validan la hipótesis planteada.

RECOMENDACIONES

- Perforar calas y prepararlas con características de piezómetros en los puntos que se marcan como mínimos acentuados de resistividades y llevar éstas por debajo de la cota que tenía antiguamente el cauce del río. La ubicación de estas calas debe de realizarse según previa consulta con el autor.
- Para dar un total cumplimiento de la tarea técnica es indispensable la culminación de las investigaciones referidas a la perforación de las calas y acondicionarlas con carácter de piezómetros en los puntos marcados en el estudio y el completamiento de la geofísica de pozo y cuerpo cargado para el estudio de la dinámica de estos flujos.
- Realizar los trabajos de geofísica de pozo y cuerpo cargado así como el uso de trazadores.
- Realizar conjuntamente con los trabajos de la geofísica de pozo un volumen de trabajos geofísicos encaminado a comprobar los resultados de este trabajo y comprobar la efectividad de las inyecciones.



- Las inyecciones contra filtraciones deben realizarse en dirección del aliviadero hacia el dique y recomendamos aumentar la profundidad de las mismas.
- Trabajar en función de controlar los volúmenes que realmente se están perdiendo por filtraciones y comprobar éstos con el comportamiento de los volúmenes embalsado mediante el control real de los gastos de las pérdidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bordón R. R. (2002).- Informe de investigaciones Geofísicas Presa Silantro EMPI.
Blanco B. J. Luis (2002) - Informe de las investigaciones Ingeniero Geológico Presa Silantro
Ricardo P. (1991) - Proyecto General Presa Silantro EIPHH.
Proyecto de Inyección en Roca. E.I.P.H. Holguín.
Leyva R. Víctor (2000): Investigaciones geológicas complementarias en la Presa Silantro desde el final del dique hasta el aliviadero. E.I.P.H. Holguín.
NC 53-151: 1985. Procedimiento para la ejecución de las etapas de las investigaciones ingeniero-geológicas de las Presas de materiales locales.
Colectivo de autores Dpto Ing Geol. Manual de Procedimientos EMPI.
Notas de clase y materiales Diplomado de geología. 2001-2002 EIPHH-ISMM.
A.C.C. (1983): Contribución a la Geología de Cuba Oriental. C. Habana.
Danko Jan Geoelectricidad

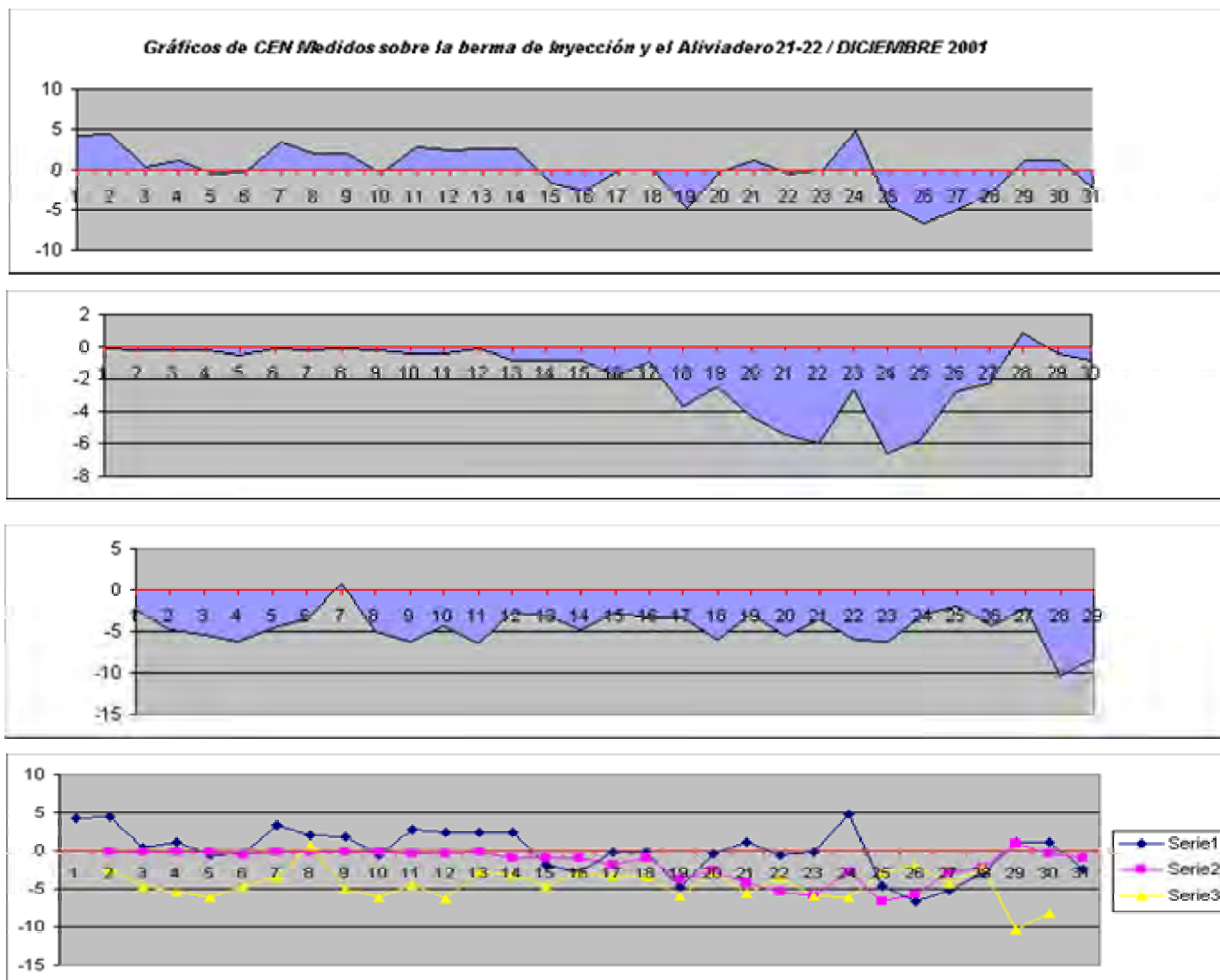
Nota El nombre de esta presa (Silantro) se escribe con S Localidad.

Anexo No 1

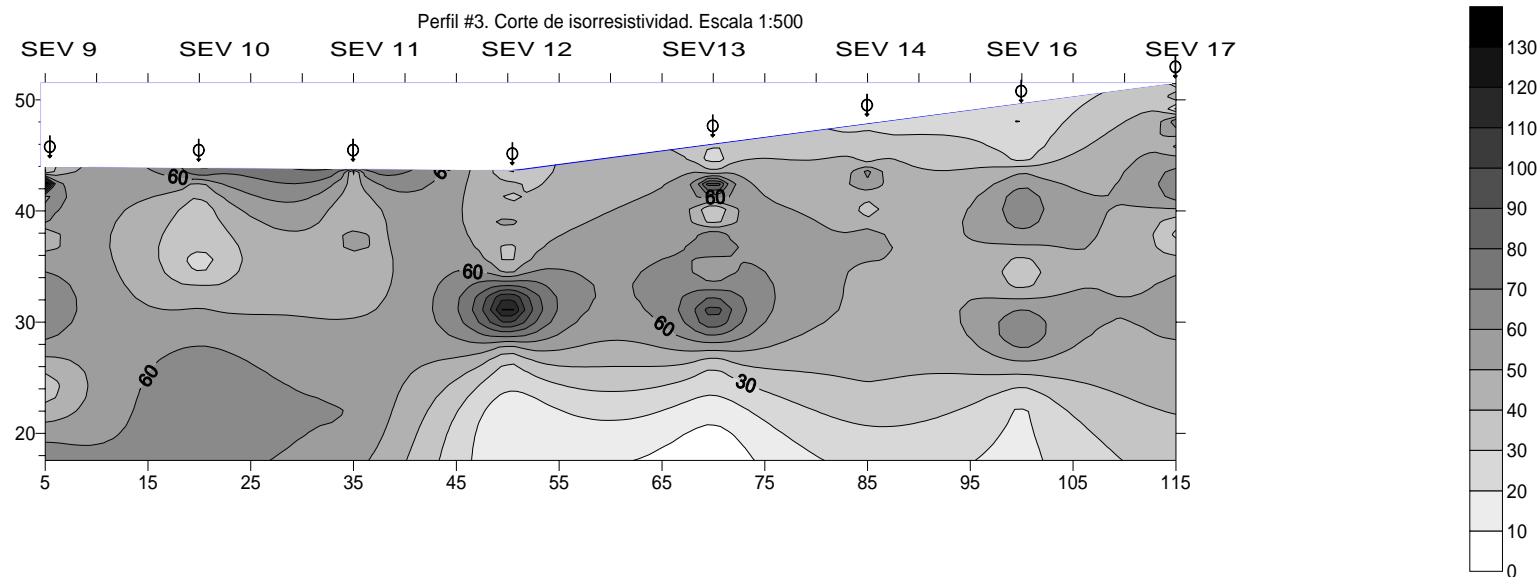
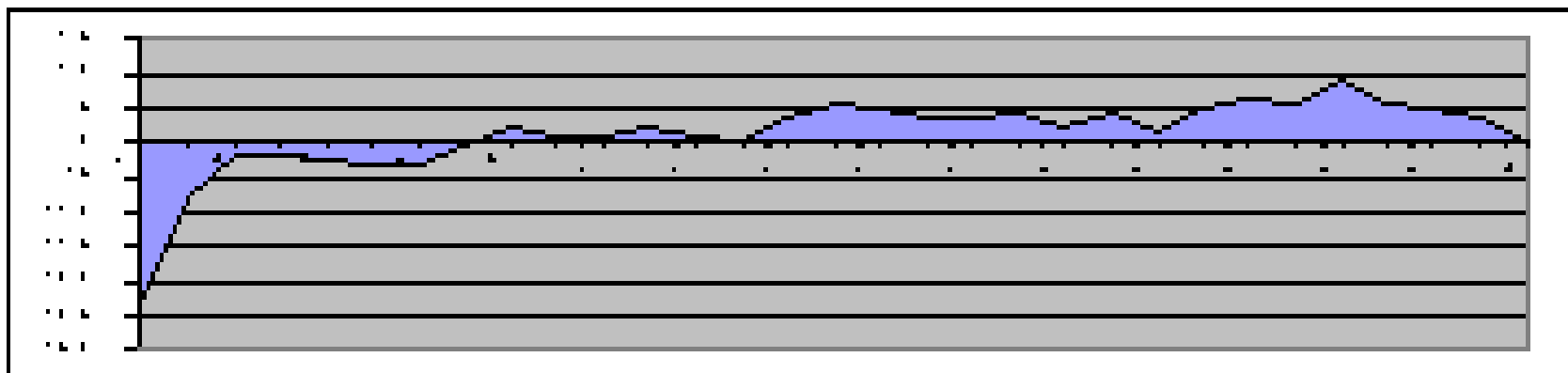
INVESTIGACIONES GEOFISICAS PARA LAS FILTRACIONES DE LA PRESA SILANTRO

ΔU

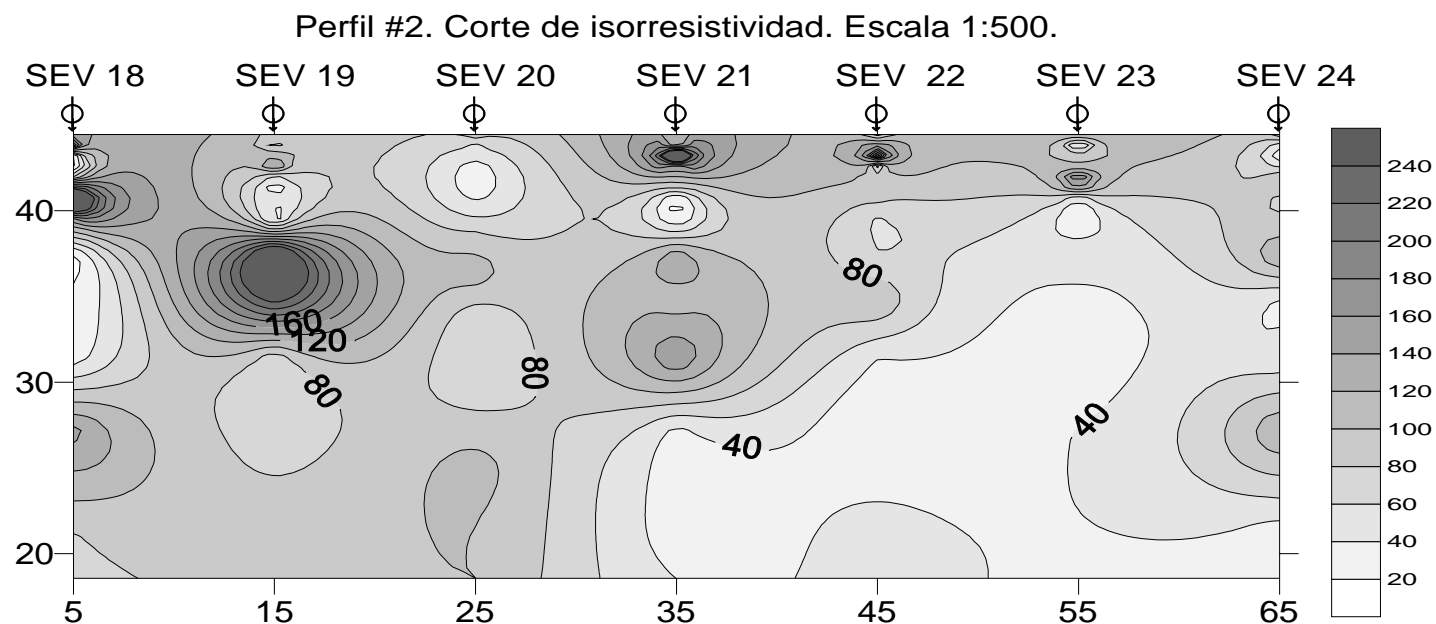
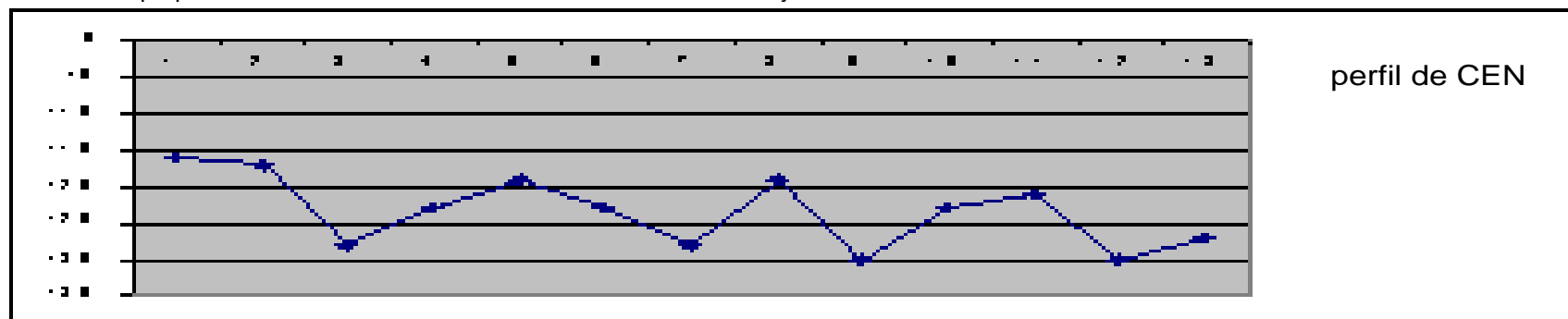
4.2	-0.1	-2.4
4.5	-0.2	-4.7
0.3	-0.2	-5.4
1.1	-0.2	-6.1
-0.5	-0.6	-4.6
-0.3	-0.1	-3.5
3.4	-0.2	0.8
2	-0.1	-5
1.9	-0.2	-6.2
-0.5	-0.4	-4.4
2.7	-0.4	-6.3
2.4	-0.1	-2.8
2.5	-0.9	-3.2
2.5	-0.9	-4.7
-1.8	-0.9	-2.8
-2.7	-1.9	-3.3
-0.2	-1	-3.3
-0.2	-3.7	-6
-4.8	-2.5	-2.9
-0.4	-4.3	-5.6
1.1	-5.4	-3.5
-0.5	-6	-6
-0.1	-2.7	-6.2
4.8	-6.6	-2.9
-4.7	-5.8	-1.9
-6.7	-2.8	-4.3
-5.1	-2.3	-2.2
-3	0.9	-10.3
1.1	-0.4	-8.2
1.2	-0.9	
-2.4		



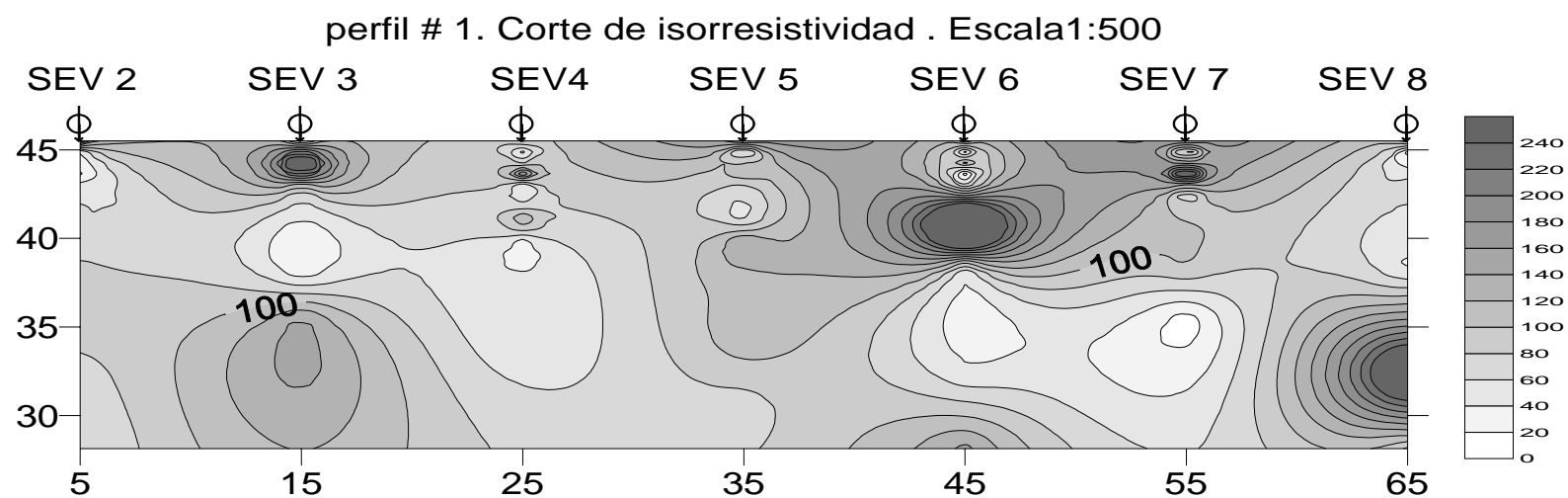
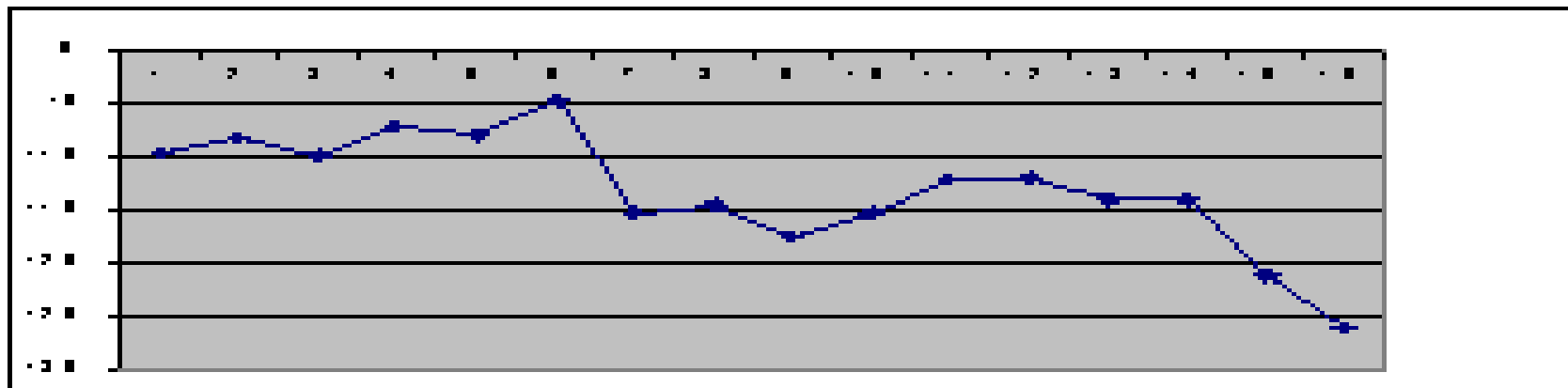
Perfil medido desde el aliviadero hasta finalizar la trocha realizada por el bulldozer



Perfil medido perpendicular al aliviadero a unos 70 metros de la losa de inyección



Perfil medido perpendicular al aliviadero a unos 30 metros de la losa de inyección.



EL MAPA AEROGAMMA-ESPECTROMETRICO 1:100000 DE CUBA.

Roberto Sánchez Cruz, Beatriz Rodríguez Basante, Juan J. Moya, Noel Petrus, Fidel Prieto, Antonio Oviedo, Leodegario Lufriú, Ingrid Padilla, Jorge L. Chang, Rigoberto L. Prieto, Eladio Kessell.

Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca 1002 entre Calzada de Güines y Línea del Ferrocarril. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba, CP 11000. E-mail: rscruz@igp.minbas.cu;

RESUMEN

El Instituto de Geología y Paleontología (IGP) ha completado el Mapa AeroGammaEspectrométrico (AGE) 1:100000 de la República de Cuba y el conjunto de mapas que lo soporta en formato digital, sobre soportes estables, lo que permite un manejo eficaz de las bases de datos (BD) ya estandarizadas y corregidas y la interacción entre ellas en plataforma SIG CARIS para la resolución de tareas de geología integrada, cartografía geológica, prospección, geomorfológicas, tectónicas, ambientalistas, hidrogeológicas y geobiológicas. El mapa gamma espectrométrico de Cuba está integrado por los mapas de los canales de uranio, torio, potasio y el canal integral en las escalas 1: 100000; 1: 250000 y otras transformaciones útiles: F, R, W, Th/K.

El trabajo culmina ocho años de labor, durante los que se integraron los resultados de los informes correspondientes a 19 distintos proyectos: 18 propiamente de levantamiento y 1 para la red de apoyo nacional que, mayormente en ruso, se encuentran en los archivos de distintas instituciones. La primera parte del trabajo incluyó el rescate de la BD AGE de la República de Cuba. A posteriori se estructuró la nivelación y estandarización de los resultados y la corrección de los errores detectados: microlevelling, empalme y nivelación.

Se presentan tablas generalizadas con los volúmenes de los trabajos; el equipamiento utilizado, aéreo y terrestre; las precisiones obtenidas, las características del procesamiento de datos y de los medios de cómputo utilizados y otras.

Por primera vez se presenta el Mapa AGE de la República de Cuba en escala 1: 100000, lo que permite insertar nuestros datos en el mapa mundial gamma espectrométrico en realización.

ABSTRACT

The Institute of Geology and Palaeontology (IGP) it has completed the Airborne Gamma-Spectrometric Map (AGE) 1:100000 of the Republic of Cuba and the group of maps that it supports in digital format, what allows an effective handling of the databases (DB) already standardized and corrected and the interaction among them in GIS CARIS platform, for the resolution of different tasks of integrated geology, cartography, prospecting, tectonic, environmentalists, and others. The gamma-spectrometric map of Cuba is integrated by the channels of uranium, thorium, potassium and integral channel maps in the scales 1: 100000; 1: 250000 and other useful transformations: F, R, W, TH/K.

The work culminates eight years of work, during those that were integrated the results of the reports corresponding to 19 different projects: 18 properly of surveys and 1 for the national supportive grid that, mostly in Russian, they are in the archives of different institutions. The first part of the work included the rescue of the airborne gamma-spectrometric DB of the Republic of Cuba. Later, it was structured the matching and standardization of the results and the correction of the detected errors: microlevelling, and connection.

Widespread charts are presented with the volumes of the works; the used equipment, air and terrestrial; the obtained precisions, the characteristics of the data procedures and of the used computation equipments and others important features, presenting for first time the standardised Gamma-Spectrometric Map scale 1: 100000 of Cuba, what allows insert our dataset in the Gamma-Spectrometric Worldwide Map in preparation.

INTRODUCCION

El Departamento de Geofísica del Instituto de Geología y Paleontología ha estado completando sistemáticamente su biblioteca de diferentes mapas geofísicos temáticos en formato digital, siguiendo una estrategia de acercamiento gradual al objetivo, cuyo final será la creación de una base de datos digital de todos los trabajos que descansan en sus fondos, lo que le permitirá el manejo más eficaz de la información geofísica, ahora estandarizada y corregida, y la interacción con distintas poblaciones que aparecen en otras bases de datos (BD).

El desarrollo de la estrategia de rescate de la información geofísica comenzó en 1996 cuando se realizaron las labores iniciales del conjunto de tres Trabajos Temáticos Productivos (TTP), "Rescate de las Bases de Datos Gamma-Espectrométricos", conjunto que fue diseñado dividiendo artificialmente la matriz de datos aerogamma-espectrométricos del archipiélago cubano en tres diferentes partes: Occidental, Central y Oriental, continuó con el Proyecto 226, de estandarización de la BD a escala 1: 100000 y concluirá dentro de dos años con la estandarización de la BD a escala 1: 50000.

El origen del problema de los datos aerogeofísicos se remonta a los años entre 1979-1990, cuando se realizaron en casi todo el territorio nacional levantamientos Aero-Gamma-Espectrométricos (LAGE) y Magnéticos que incluyen los tres canales espectrométricos (Potasio, Thorio y Uranio el Canal Integral y el canal Magnético, los que fueron metodológicamente realizados por sectores, siguiendo un esquema técnico-organizativo cubierto bajo distintos contratos, que se dividieron fundamentalmente en dos grandes grupos: Zonas Llanas (contrato No. 55-010/21100) y Zonas Montañasas (contrato No.55-015/73200) y posteriormente compensados y generalizados en Rusia (antigua URSS) bajo el contrato 75-257/03500 entre ZarubeshGeologuia de Rusia (ex U.R.R.S.) y la Dirección de Geología de MINBAS, Cuba.

Las matrices resultantes de este contrato se enviaron a Cuba en bandas magnéticas y hasta el momento previo de comenzar estos trabajos de rescate de la información y estandarización, se encontraban conservadas en discos flexibles de 3.5", en el Departamento de Geofísica del Instituto de Geología y Paleontología (IGP), pero su utilización sistemática desde 1993 en diferentes trabajos e investigaciones se dificultaba, en cierta medida, por el mal estado del soporte que se deterioraba a ojos vistas, y por la existencia de errores groseros, en algunas de esas matrices, que impedían su racional y efectiva utilización en ciertas regiones del territorio nacional, amén de los consabidos errores de empalme, microlevelling, valores huracanados, y otros harto comunes a cualquier levantamiento aerogeofísico, especialmente este cuyos datos no fueron puesto nunca totalmente a punto y han sufrido no pocos accidentes. A todo lo apuntado se podía agregar el salto sustancial que habían sufrido los soportes magnéticos de datos, el hardware y software de procesamiento y manejo de la información en las casi dos décadas transcurridas entre la fecha de inicio en la adquisición de los datos en 1979, y la actualidad, agravado con por el consabido atraso tecnológico del state of art del antiguo campo socialista.

Como en otras partes del mundo, el conjunto de mapas aerogamma-espectrométricos en escala 1:50000 de la República de Cuba vio la luz a posteriori o durante la realización de la mayoría de los trabajos de cartografía geológica a esa escala en diferentes zonas del

país, por ello sus bondades cartográficas han sido casi siempre relegadas ante los usos puramente de apoyo a la prospección de distintas materias primas. El completamiento de una base de datos (BD) aerogamma-espectrométrica a escala 1:100000, sin embargo se ha adelantado a la obtención de los primeros mapas geológicos a igual escala, contruidos principalmente a partir de los levantamientos geológicos 1:50000 y 1:100000, por lo cuál los resultados espectrométricos están en inmejorables condiciones para participar en los trabajos de obtención del Mapa Geológico 1:100000 del país. El soporte digital de la información, su necesario procesamiento estadístico y la posesión de herramientas de software y hardware avanzados para la realización de la tarea ponen esta herramienta en ventajosa posición para ser utilizada como uno de los pilares de dicho Mapa.

Era por tanto un imperativo de época acometer la tarea de revisar, arreglar y crear una base de datos aerogamma-espectrométrica moderna y duradera de la República de Cuba sobre un soporte más permanente, en buen estado, estructurada y conservada de forma que pueda accederse a ella con facilidad para su utilización en múltiples tareas.

Como ejemplo sencillo para la resolución de tareas cartográficas de diferentes estructuras geológicas en el territorio estudiado se puede utilizar la BD (AGE) de Cuba 1:50000, ya estandarizada, la que incluye los canales de uranio, torio, potasio, la intensidad gamma total y otras relaciones básicas. El conjunto de mapas y matrices de datos obtenidos con este trabajo, apoya labores de selección de los diferentes escenarios presentes a lo largo de un país con una geología compleja, bajo una potente y variable corteza de intemperismo, e influenciada por disímiles factores ajenos, no siempre bien controlados, e ilustra la resolución de tareas no solo directamente relacionadas a la geología sino además a otras tareas cartográficas vinculadas a la prospección, geomorfología, tectónica, ambientalistas, hidrogeológicas y geobiológicas.

Una más completa información sobre esta temática puede ser consultada en el Informe del Proyecto 226 (R. Sánchez Cruz et al. 2003).

MATERIALES Y METODOS.

Materiales

Los materiales originales utilizados como base en este trabajo, fueron los resultados del contrato 75-257/03 500 ya citado, cuya BD 1:100000 confeccionada en la antigua URSS, conformaba las matrices generalizadas para los diferentes canales gamma-espectrométricos y el canal integral, conservada en el IGP y duplicada en dos juegos de discos flexibles de 3.5', así como los mapas de isolíneas a la escala 1:100 000, que con sus textos acompañantes y otros anexos se encuentran entre los fondos y archivos de la ONRM, el IGP y otras empresas e instituciones.

Es necesario destacar que las BD que se han utilizado fueron corregidas, durante los períodos de adquisición de datos, según reporte de los autores de los diferentes informes, correcciones que incluyeron los controles por la estabilidad del equipamiento en el aeropuerto base, las calibraciones en el Banco de Güines; la corrección de influencia entre canales; corrección de fondo residual y reducción a la superficie terrestre, compensación a nivel único; evaluación de la estadística de fondo y recálculo de los parámetros de interpretación. Las correcciones realizadas a los datos AGE durante el procesamiento

también incluyeron el filtrado $N=7$, con el fin de suavizar las curvas correspondientes a los canales de URa, Th y K. Los otros problemas detectados en los LAGE son comunes a todos ellos y se relacionen con weathering, microlevelling, empalme, nivelación y fondo. Por comodidad en este trabajo, se utilizó como la calidad correspondiente al error medio cuadrático, la establecida hasta este momento por todos quienes trabajaban con estos datos: $U(Ra) = \pm 0.4$ ppm.; $Th = \pm 1.0$ ppm.; $K = \pm 0.15$ %.

Además se utilizó la información digital de los perfiles que conforman la Red de Apoyo Nacional Aerogeofísica para la comprobación de la compensación de los 18 sectores o proyectos de los levantamientos en que fue dividido el territorio nacional.

Métodos y metodología de los trabajos.

El paquete de información espectrométrica resultante de este contrato, incluyó las matrices generalizadas en red de 500 X 500 m. (un punto cada 500 m.) para cada canal espectrométrico y el canal integral, soportadas en bandas magnéticas para la serie de computadoras del sistema SUMCE, (M-222, EC-1020, 1022, 1033, 1035, 1061 y 1062), las últimas descontinuadas en nuestro país en 1992, en formato del Sistema de Elaboración de Datos Aerogeofísicos, SOAGD, por lo que la información por matrices pudo ser convertida a formato "SURFER" (Surfer 3.0), gracias a un programa de captación realizado especialmente al efecto por la Ing. M. Orta y soportada en discos flexibles de 3.5", para poder ser utilizadas en PC- AT y 286, herederas de las SUNCE en esa época. A posteriori el procesamiento de la información se ha efectuado en PC con distintos procesadores, desde 386, 486 hasta los actuales Pentium I al IV.

Desde el arribo de las matrices a Cuba y a seguidas de su comprobación se detectaron imprecisiones y errores en algunas de ellas, de forma aislada y en diferentes zonas del territorio nacional, lo que no fue nunca corregido, pues nunca fue exigido al ejecutor el cumplimiento final del contrato. Demás está decir que el resto del contrato bajo el cual debían enviarse las matrices 1:50000 de toda la Isla y las matrices 1: 25000 de los sectores detallados, nunca arribaron al país al romperse los nexos políticos y por lo tanto lesionarse seriamente los nexos comerciales entre los gobiernos de Rusia y Cuba, con la subsiguiente pérdida de las facilidades crediticias que le aseguraba a Cuba su pertenencia al C.A.M.E (organización de ayuda financiera de los países del entonces campo socialista). La ruptura de los nexos fue de tal índole que se perdió todo tipo de comunicación entre ambas partes del contrato, la que sigue sin restablecerse hasta el día de hoy.

Es importante recalcar que desde un inicio, las matrices de datos recibidas desde Rusia nunca estuvieron completas y que sufrieron su deterioro ulterior producto del uso, de la falta de un soporte duradero y de la falta de recursos que provocó que se conservara una sola copia de la matriz original en un lugar sin seguridad ni condiciones de temperatura y humedad adecuada ya que quienes debían velar por la conservación de tan preciosa y única información, no hicieron nada para su conservación; el bajo desarrollo tecnológico y fundamentalmente la falta de sensibilidad con el problema de los responsables de velar por la conservación de la información, punto álgido y nunca resuelto del Servicio Geológico Nacional, hizo el resto. Tal es así que las cintas magnéticas originales para ser leídas en las SUMCE, se mantenían en un cajón sin tapa, sin custodia y en un lugar donde la humedad era muy alta, hoy son material inservible.

La reclamación por el cumplimiento de los contratos y el aseguramiento de la conservación adecuada de los datos nunca ha sido el fuerte de los países subdesarrollados, en este caso específico la Unión de Minería y Geología y la Dirección de Geología del MINBAS jugó muy pobre papel al respecto, su política en este tópico, dio al traste no solo con la información magnética sino con la analógica, la fotográfica y la complementaria: la verificación terrestre de anomalías, las calibraciones del equipamiento y el resto de la documentación primaria, almacenada y clasificada, fue mandada a destruir sin motivo justificado alguno, solo por necesidad de espacio de almacenamiento, perdiéndose para siempre la posibilidad de la recuperación puntual de cada dato por canal en cada intervalo de muestreo y convirtiendo en cenizas millones de pesos del patrimonio científico y del conocimiento geológico del país. Debe ser tomado en consideración que la situación de ruina económica de Rusia en ese período que la hizo recabar a Cuba sus adeudos por conceptos de ayuda económica y técnica por más de 20 años y las difíciles condiciones económicas de subsistencia de inicios del trienio 1991-1993 de Cuba, hicieron más que imposible el reclamo por el cumplimiento de un contrato que aún en teoría, adeudábamos.

El paquete con la información digital que arribó a Cuba desde Cebzapgeologuia, (Geología del Noroeste), además, incluía mapas de isolíneas a escala 1:100 000 por hojas de la base cartográfica nacional del ICGC (hoy GEOCUBA). En estas hojas se observan errores por la no coincidencia de las distancias a lo largo de los ejes coordenados "X" y "Y", las que oscilan entre los 3 y 7 mm del mapa, los que representan en la escala 1:100 000, unos 300 – 700 m, y cuyo orden de magnitud promedio: alrededor de 500m, posee el mismo orden de magnitud que las dimensiones de la matriz de datos gammaespectrométricos (500x500 m) y del espaciado entre las líneas de vuelo, que cuando estos datos fueron adquiridos sobre el terreno, con un error medio cuadrático en la localización del amarre fotográfico a tierra de los datos de $\pm 50.00\text{m}$.

Otra cuestión de importancia se observa al comparar los mapas de isolíneas impresos en los reportes correspondientes y su matriz relacionada, las que no presentan siempre una correspondencia exacta ó en detalles en lo referente a isolíneas cerradas de pequeña dimensión (diámetros de 3-10 mm), las que generalmente fueron redactadas y trazadas manualmente, por cartógrafos aviesos, según se explica en los informes enviados junto a las matrices digitales recibidas, desconociéndose de esa manera el criterio geológico ó informativo de los datos adquiridos durante los vuelos de los diferentes 18 proyectos de levantamiento aerogeofísico, detalles más llamativos, en cuanto más cercanos los valores al fondo.

Como premisas se consideraron los materiales digitales (matrices iniciales) como la información más confiable, por ser el producto más cercano a los datos primarios. No obstante lo citado, el valor del dato en las matrices digitales es de suma importancia, pues brinda para casi la totalidad del territorio insular cubano una información útil para trabajos regionales a escalas 1:100 000 y menores relacionados con la cartografía geológica, tectónica y prospección de minerales sólidos, de petróleo y gas y otras aplicaciones de interés.

Para trabajos a escalas 1:50 000 y mayores que requieran mayor precisión se hace necesario el seguimiento terrestre, para el uso de la matriz, pero ya demarcada el área a partir de esta información o en el futuro el rescate y la estandarización de la BD a esa escala.

En las matrices de datos se detectaron además otros errores frecuentes de carácter puntual, donde aparecían magnitudes de los parámetros en cuestión, con una muy alta intensidad, a veces del rango de las varias decenas de potencias de 10 (Ej. 10E70 a 10E 96). Para eliminar estos errores groseros se confeccionó un programa donde todo valor superior al valor máximo permisible para cada matriz era sustituido por el valor ficticio (Dummy) del sistema en que se procesaba, fuese SURFER o fuese GEOSOFT Mapping System (sobre DOS u Oasis Montaj).

La premura con que se realizaron las salvas de la información del formado SOAGD al formato SURFER (un día, pues el MINBAS no pudo ceder más tiempo su centro de cálculo) y la falta de previsión futura, provocada por la inexperiencia y la falta de supervisión, provocó que no fuera revocada por nadie la selección escogida de la extensión .GRD para salvar la información, en lugar de XYZ, adecuada a la hora de reproducir con exactitud todos los valores puntuales. El detenimiento sobre estos tópicos se hace con el propósito de que se conozca plenamente la problemática de la BD de LAGE.

Para la realización del trabajo de revisión se diseñó un programa que revisa y arregla, en caso de errores, las matrices originales que se encuentran en formato matricial "SURFER" (extensión .GRD), a la vez que las convierte a formato lineal X,Y,Z, para ser interpoladas con el Sistema de Procesamiento y Mapeo "GEOSOFT" creando la nueva matriz arreglada y visualizada como control cualitativo de su calidad.

Posteriormente se obtuvo la matriz a través de la interpolación lineal del sistema GEOSOFT y se confeccionaron sus mapas de isolíneas, según los algoritmos disponibles en dicho sistema, para su ulterior comparación con los mapas de isolíneas correspondientes a los informes de los proyectos de los contratos.

Considerando que los mapas de isolíneas comparados son productos de diferentes sistemas (SOAGD y GEOSOFT) cuyos métodos de interpolación y confección de isolíneas obedecen a diferentes algoritmos matemáticos no es posible esperar la identidad completa en las formas de las isolíneas, por lo que se utilizó el criterio cualitativo en cuanto a la semejanza de la tendencia y forma general de los trazos más amplios y extensos de las isolíneas según sus valores, como comprobación de la calidad de la matriz original, considerándose diferencias significativas la no existencia de correlación alguna entre las tendencias por las isolíneas que cubren mayor área y que están mejor definidas en los mapas originales, las que permitan establecer la tendencia general del cuadro espectrométrico del área cubierta.

En los anexos 1 a, 1 b, y 1 c se muestran los mapas de isolíneas para los canales espectrométricos de K, U(Ra) y Th confeccionados por los algoritmos del GEOSOFT, después de su interpolación a partir de las matrices originales, correspondientes a las planchetas 1:100 000 señaladas en cada anexo. De su comparación con los mapas de isolíneas que aparecen en los reportes del sector en cuestión, se observa la correspondencia o no en cuanto la ubicación de las tendencias similares del cuadro espectrométrico, faltando solo detalles muy puntuales producto de las redacciones y trazados manuales, realizados por los autores en Rusia, como ya fue explicado.

La metodología de revisión de la información proveniente de los tres trabajos temáticos precedentes (Petrus et al. 1998; Prieto Castro et al. 2000 y Prieto Castro et al. 2001), en muchos casos nos hizo incluir nuevas digitalizaciones de cartas 1: 100000, por considerar

que era necesario para el completamiento de tal o cuál sector. La metodología de digitalización seguida durante el trabajo difiere en alguna medida de la seguida durante los trabajos precedentes, por cuanto se siguieron no solo las formas de las isolíneas de los distintos niveles, sino que se densificó la digitalización a un paso constante a lo largo de ejes dibujados, por superposición, sobre la imagen escaneada, que coincidieron con las direcciones de las líneas de vuelo, las que fueron previamente sobre impuestas en la imagen en el caso que el informe en cuestión las entregara como parte de su conjunto de mapas y planos. La manera relatada permitió una mejor distribución de datos al acercar el modelo de la matriz de datos digitalizados a la matriz original de vuelo, entre cuadrada (mayoritaria) y rectangular (minoritaria). Lamentablemente, y es otra enorme falla de los autores del LAGE, la gran mayoría de los informes no presentan los anexos correspondientes a las líneas de vuelo originales. La carencia de las líneas de vuelo originales fueron suplidas con redes de muestreo 500x500m con direcciones coincidentes a las líneas de vuelo reales.

El resto del trabajo de digitalización fue idéntico al seguido durante los trabajos de rescate precedentes con la variante que en lugar de la digitalización en pantalla con el sistema TELEMAT(Orto), mayoritariamente, se digitalizó únicamente con AUTOCAD 2000. Una vez reproducidos los datos, se realizó la inspección visual de todas y cada una de las líneas redactadas, pasando a su re redacción y/o corrección y completamiento y densificación cuando fue requerido. Logrado el máximo parecido la carta en cuestión se daba como terminada.

Una vez comprobadas todas las matrices de un mismo canal, se procedió a su unificación para obtener su matriz generalizada y comprobar su compensación con los perfiles de la Red de Apoyo Nacional (Rusanov y Prieto, R. 1988) que resultó tener diferencias menores que las señaladas como límites para cada canal por los trabajos de la "Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional" (Rusanov y Prieto, 1988), por lo que las nuevas matrices generalizadas, resultado de este trabajo, están también debidamente compensadas.

Por cada línea de la Red de Apoyo del país fue extraída de las matrices los valores correspondientes coincidentes con la ubicación de esas líneas para una comprobación de los valores medios para cada canal espectrométrico con los valores límites aceptables establecidos para cada canal(ver Tablas Ia, Ib y Ic).

Como característica de los valores espectrométricos tenemos que considerar solo los valores en los nodos de la red 500 X 500 y no interpolarse entre ellos para su comparación con la Red de Apoyo, pues los valores espectrométricos son puntuales y su interpolación conlleva a valores ficticios aproximados a la realidad. Recordar que las matrices de datos originales fueron obtenidas con diseños de filtros que incluyeron 7 puntos a lo largo de cada línea de vuelo. Pese a que en los trabajos de Petrus/88 citados, el procedimiento de rescate reprodujo bastante bien la matriz original de datos, un análisis a posteriori realizado durante la concepción de este trabajo, introdujo los cambios en el procedimiento de digitalización ya explicados, lo que elevó la efectividad de la reproducción hasta el 98-99%.

Las tablas Ia, Ib y Ic muestran un ejemplo de la correspondencia gráfica entre los valores de la Red de Apoyo y del perfil extraído de las matrices generalizadas de Uranio, Thorio y Potasio respectivamente, por la línea correspondiente de la Red de Apoyo Nacional según fue calculado para el sector Occidental de Cuba (Petrus, N. et al. 199*) durante el rescate de la BD de esa región. En la primera columna aparecen las líneas de

vuelo de la Red de Apoyo en el sector; la segunda, muestra el valor medio del elemento en cuestión a lo largo de cada una de dichas líneas de vuelo; la tercera, el valor medio de un perfil extraído de la nueva matriz creada, coincidente en el espacio con la línea real de la Red Nacional de Apoyo; la cuarta, es la diferencia entr ambas últimas columnas y al final aparece en el numerador el valor de la diferencia límite para el elemento según Rusanov y Prieto 1988 y en el denominador el valor del error medio cuadrático de dicho elemento para el LAGE de Cuba. Como se puede observar de la columna "diferencia", ninguno de las calculadas alcanza el rango de la diferencia límite, muy por el contrario. Esta forma de evaluar la calidad de la vectorización durante el rescate de la BD AGE en el occidente de Cuba, según Petrus et al. 1998, aseguraba la reproducción de la matriz original. Sin embargo, el uso de los valores medios en el perfil, en lugar de los valores puntuales para luego calcular la media de la distribución de las variaciones, no asegura completamente lo afirmado, por lo cual F. Prieto et al. más adelante en la evaluación de la calidad de su vectorización y reproducción utilizó otra táctica: tomando valores a lo largo de varios perfiles cualesquiera primero sobre la matriz de datos original y luego sobre la calculada, calculó la diferencia entre ambas y lo comparó con el error conocido para el LAGE. Este método aunque parece más satisfactorio se desvirtuó cuando se realizaron varios centenares de comparaciones para el canal de K contra unas pocas decenas para los canales de U y Th, dejándose abierta la posibilidad de existencia de problemas en estos dos últimos canales.

Tabla Ia. Comparación entre los valores medidos para el canal de U(Ra) en la Red de Apoyo Nacional y los valores de la nueva matriz obtenida. (según P. Marcos et al. 1998)

No. del Perfil de la Red de Apoyo	Valor Medio por el Perfil de la Red de Apoyo ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)	Valor Medio por el Perfil extraído de la Matriz generalizada. ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)	Diferencia ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)	Diferencia Límite ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)/ Error medio cuadrático($\times 10^{-4}$ p.p.m) calculado
1	2.45	2.14	0.31	1.0/0.4
2	2.05	2.26	-0.21	
3	2.64	2.17	0.47	
6	2.03	1.83	0.20	
7	2.49	2.26	0.23	
8	3.62	2.75	0.87	
9	ilegible	-	-	
10	1.87	2.2	-0.15	
1011	1.87	1.83	0.04	
12	2.67	2.08	0.59	
15	2.87	2.82	0.05	
115	2.77	2.33	0.44	

Tabla Ib. Comparación entre los valores medidos para el canal de Th en la Red de Apoyo Nacional y los valores de la nueva matriz obtenida. (según P. Marcos et al. 1998).

No. del Perfil de la Red de Apoyo	Valor Medio por el Perfil de la Red de Apoyo ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)	Valor Medio por el Perfil extraído de la Matriz generalizada. ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)	Diferencia ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)	Diferencia Límite ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)/ Error medio cuadrático($\times 10^{-4}$ p.p.m) calculado
1	7.06	6.22	0.84	1.3/1.0

2	4.73	5.45	-0.72
3	4.86	5.71	-0.85
6	4.88	4.69	0.19
7	4.14	4.66	0.52
8	6.58	5.50	1.08
9	Ilegible	-	-
10	7.0	6.48	0.52
1011	4.37	3.21	1.16
12	4.79	4.99	-0.20
15	6.43	5.67	0.76
115	7.84	6.99	0.85

Tabla Ic. Comparación entre los valores medidos para el canal de K en la Red de Apoyo Nacional y los valores de la nueva matriz obtenida. (según P. Marcos et al. 1998).

No. del Perfil de la Red de Apoyo	Valor Medio por el Perfil de la Red de Apoyo ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)	Valor Medio por el Perfil extraído de la Matriz generalizada. ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)	Diferencia ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)	Diferencia Límite ($\times 10^{-4}$ p.p.m.)/ Error medio cuadrático ($\times 10^{-4}$ p.p.m) calculado
1	0.61	0.42	0.19	0.4/0.15
2	0.56	0.64	-0.08	
3	0.41	0.54	-0.13	
6	0.55	0.70	-0.15	
7	0.19	0.47	-0.28	
8	0.17	0.33	-0.16	
9	Ilegible	-	-	
10	0.45	0.35	0.10	
1011	0.16	0.32	-0.16	
12	0.5	0.38	0.12	
15	0.43	0.33	0.10	
115	0.88	0.65	0.23	

Para completar este análisis tomaremos el ejemplo de los trabajos realizados por F. Prieto et al. 2001 en el rescate de la matriz de datos de Cuba Oriental, por cuanto fue este el último de los rescates enfrentados por dichos autores, en los cuáles la metodología de trabajo permaneció inalterable.

Según F. Prieto Castro et al. 2001 el proceso de rescate de la BD AGE en Cuba Oriental fue realizado dentro de los límites permisibles del error brindado para los datos del LAGE. Ver Tabla I.

Tabla II. Comparación entre el error permisible del LAGE de Cuba para los distintos canales y el error calculado mediante la vectorización para el rescate de la matriz digital.

Orden	Radioelemento	Desviación Permisible	Desviación Real	Observaciones
1	Uranio (Ra)	1.0 ppm.	0.16 ppm.	
2	Thorio	1.3 ppm.	0.28 ppm.	
3	Potasio	0.4 %	0.06 %	

Los datos fueron validados tomando distintos perfiles de los mapas confeccionados a partir de las “matrices originales” y comparándolos con los mismos perfiles extraídos de los mapas vectorizados. Pese a los buenos resultados obtenidos, el trabajo no brinda datos sobre la distribución en el área de los perfiles o sobre el número de eventos considerados en la población bajo estudio, asimismo se recurre a un control para el elemento K mayor que para el resto de los radioelementos, como ya se dijo.

Una vez concluidos estos estudios, La **Base de Datos aerogamma-espectrométricos** escala 1: 100000 de Cuba (que estaba dividida en los tres sectores citados, Occidente, Centro y Oriente), quedó conformada por las matrices en formato del Sistema de Procesamiento y Mapeo Geosoft, de los contenidos de los elementos espectrométricos de **Potasio (en %); Uranio(Ra) (en p.p.m.); Thorio (en p.p.m.)** y el **canal Integral (en $\mu\text{R/h}$)** y por los ficheros en formato lineal **X Y Z** en **ASCII** de los mismos elementos, compensados a la Red de Apoyo Nacional y generalizados en ficheros únicos para cada elemento, que abarcan el territorio de la República de Cuba con las exclusiones del cabo de San Antonio, la Ciudad de La Habana y parte de La Habana, la península de Zapata y el área de la Base naval de Guantánamo, nunca voladas.

Los ficheros en formato **X Y Z** en **ASCII**, están por perfiles de dirección **N-S**, con separación entre perfiles y puntos de 500 m. El tamaño de las celdas en las matrices es de **500 X 500 m.**, lo que representa un punto cada 500 m. Este tipo de formato está disponible para ser utilizado como datos de entrada para diferentes editores, Sistemas de Procesamiento y Mapeo de datos geofísicos y para Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En la realización de los trabajos de rescate y estandarización de la información aerogeofísica se utilizaron diferentes software de aplicación como el ya citado Geosoft, el sistema Surfer, y los sistemas AutoCad y Telemap, principalmente. La vectorización de todos los materiales para este trabajo se realizó con el Sistema AutoCad 2000.

RESULTADOS

Breve caracterización del LAGE de Cuba.

Las características generales del LAGE de Cuba están resumidas en la tabla III, donde a priori puede observarse el volumen del material que enfrentó la estandarización de la BD.

Tabla I. Características Técnicas Generales del Levantamiento AGE a escala 1: 50000 de la República de Cuba.

No.	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	LAGE 1:50000 y 1:25000 Zonas Llanas	LAGE 1:50000 y 1:25000 Zonas Montañosas	LAGE 1:50000 y 1:25000 Red de Apoyo
1	Áreas cubiertas en Km^2 .	83285 (75883.88 + 7446.8)	21784 (19562 + 2222)	7290.6 Km.

2	Cantidad de Sectores	14	4	1
3	Medio Portador	AN – 2 avión	MI – 17 helicóptero	AN – 2 avión
4	Velocidad de Crucero en Km/h.	140-180	140 - 160	160-180
5	Fecha de Realización	1979 - 1986	1987 - 1992	1986-1987
6	Aerogamma-espectrómetro	AGS - 71s Ruso	SKAT – 77 Ruso	AGS – 71s Ruso
7	Cantidad de Canales	8	8	8
8	Volumen Cristal de NaI(Tl) en L.	25.4	25.4	25.4
9	Intervalo de Muestreo en s.	1.0	0.28; 0.33; 0.5; 1.0	1.0
10	Resolución Energética según Cs-137 en %	12.7	14.8	11.3
11	Coeficiente de Sensibilidad Promedio	0.884	0.9	0.88
12	Altura de Vuelo en m.	60 ± 5	75 ± 25	60 ± 5
13	Radioaltímetro	RB-2 y RV - UM	APV	RB - 2
14	Cámara de Amarre Fotográfico	AFAG - 17	AFA- 36 AFAG - 17	AFAG - 17
15	Descifrador de Fotonegativos	PDN - 1	PDN - 1	PDN - 1
16	Error Máximo del Amarre Planimétrico en m.	±50	± 50	±50
17	Distancia Promedio entre Puntos de Observación (Km.)	2.3 – 4.6	3.31- 3.4	5.0
18	Identificación de Fotoamarres (en %)	85.1-99.75	99.44 – 100.0	99.9

Lo más importante de esta tabla es que sus datos se extrajeron completamente de todos los reportes de vuelo, empero durante el transcurso del trabajo veremos como son cuestionadas algunas de las afirmaciones que aparecen en dichos reportes, por que no pueden explicar el volumen total de tal o cuál dato, parámetro, afirmación etc.

La calidad de los datos del LAGE de Cuba ha sido fuertemente cuestionada por R. Sánchez Cruz et al. 2003, en su trabajo se listan una serie de insuficiencias, ambigüedades y negligencias técnicas que pueden ser aspiradas a lo largo de los 19 reportes de vuelo que conforman el LAGE. Las insuficiencias principales se resumen en:

- Exposición repetida automáticamente del error planimétrico coincidente con el máximo permisible, sin nada que lo avale.
- Exposición repetida en el 84% de los casos del valor máximo (100%) de la condicionalidad por altura de vuelo, cuando se ejemplifica al menos en un caso (sector Pinares de Mayarí) que la condicionalidad reportada como 100%, alcanza malamente los 90.6%, lo que induce la duda en el resto de las cifras brindadas.
- Elongados lapsos de trabajos de adquisición de hasta 12 meses en tres diferentes sectores de vuelo sin calibración de la estación gamma-espectrométrica.
- Repeticiones sucesivas de parámetros idénticos en 4 diferentes sectores de zonas montañosas, indicando la carencia del chequeo sistemático de los equipos.
- Ausencia total de datos importantísimos para la evaluación de la estabilidad del equipamiento, como son las faltas del número de líneas repetidas y sus volúmenes en Km. y el calculo del error medio cuadrático, tanto para las

mediciones de control como para el ajuste de los patrones minerales en el aeropuerto base.

- Casi un 50% de los reportes de vuelo no incorporan datos sobre la elaboración de los datos realizada.
- Uso indiscriminado de diferentes terminologías para describir el mismo tipo de trabajo, lo que conlleva a repeticiones y falseamiento de los datos.
- Falta de mapas de líneas de vuelo en la mayoría de los reportes.
- Falta del gráfico de la actividad diaria en el aeropuerto base en el 25% de los reportes de vuelo.
- Falta de datos sobre los valores del fondo de la zona y los niveles mínimos anómalos para cada canal.

...y otro sinfín de insuficiencias más relacionadas con el aspecto formal de la documentación.

A las principales carencias enumeradas deben sumarse los problemas que en el período final de ejecución del contrato impidieron que este concluyera felizmente. El fin del contrato bajo el que se realizaban los trabajos coincidió con el período de brusca disminución del intercambio comercial entre Cuba y Rusia de inicio de los '90 del siglo XX y con la obligatoria desarticulación por falta de insumos de las máquinas tipo Mainframe (rusa) y su paso a las PC (norteamericanas y japonesas), más rentables, lo que provocó que las máquinas que soportaban el sistema de procesamiento SOAGD fueran desmanteladas y se declarara la obsolescencia del sistema de programas adquirido, por falta de hardware donde soportarlo. Coincidentemente, la unificación final de la información fue realizada en Rusia y traída a La Habana por el funcionario encargado, pero no hubo retroalimentación con la parte rusa.

Por razones políticas y financieras se cortaron los contactos entre las partes y con ellos la posibilidad de corregir algunos problemas detectados en las matrices de datos y aclarar algunas dudas existentes, así como para recuperar las matrices de los sectores volados a la escala de 1: 25000 y 1: 50000. La información pudo salvarse solamente en formato GRD de SURFER 3.0, como ya fue apuntado, (único disponible en aquel momento), lo que castró sobremanera las posibilidades de reproducción puntual de la matriz de datos, su reprocesamiento ulterior y la pérdida de los valores de fondo, tan importante en el procesamiento estadístico de anomalías débiles. La inexperiencia del personal encargado, formado por un grupo de tres procesadores, 2/3 de los cuáles eran muy jóvenes y no eran geofísicos y el tercero, encargado del canal magnético del levantamiento, hicieron el resto. Los principales errores que habían sido detectados en las BD traídas desde Rusia eran debido a problemas de nivelación y variaciones y carencias de las menores anomalías cercanas a los valores de fondo, que podían ser observadas en las copias duras (papel) pero no aparecían en la redacción digital de datos, además muchos valores huracanados que era necesario manipular como "dummies" y algunos problemas menores en la nivelación de proyectos adyacentes en el plano, o dentro de él, formando un patrón o estructura que le daba al mapa una apariencia de tablero de ajedrez, coincidente con los límites espaciales de las cartas topográficas (ver Figura 1, véase como mapas aparentemente bien nivelados, presentan un patrón alternante de sus niveles, al utilizarse el agrupamiento de los datos con el método de ecualización, camuflado al utilizar el método de la distribución normal de los datos).

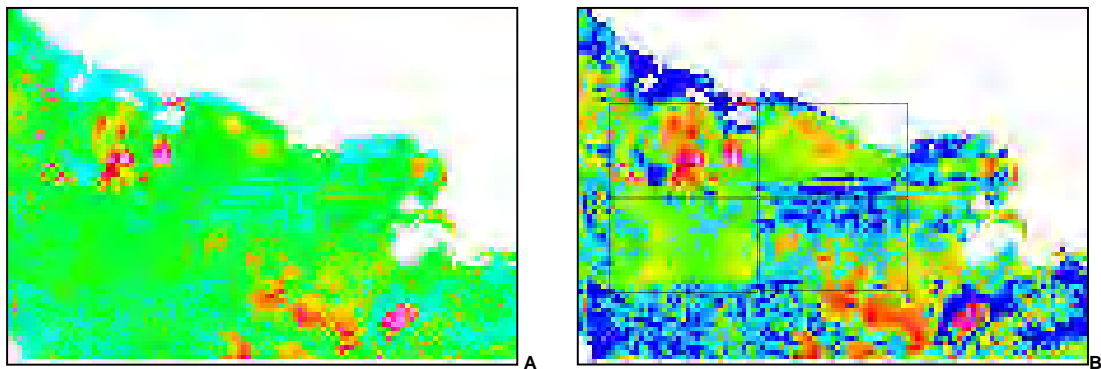
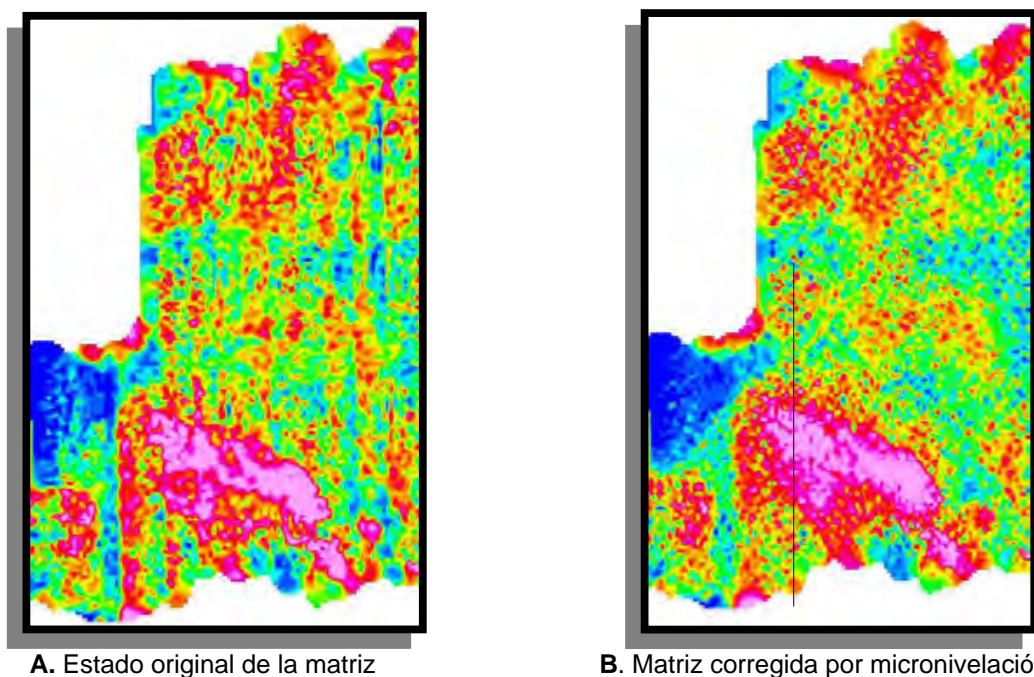


Figura 1. Representación mediante el uso de la distribución normal de datos (A) y utilizando el método de ecualización (B).

Los principales problemas detectados en el LAGE de Cuba, son comunes a casi todos los levantamientos de este tipo y se relacionan fundamentalmente con weathering, microlevelling, empalme, nivelación y fondo. Sin embargo los trabajos del LAGE de Cuba fueron realizados con calidad suficiente (R. Sánchez Cruz et al. 2003) y sus resultados reflejan bastante bien las características geológicas de los diferentes escenarios sobrevolados, para la escala del trabajo, algo que no puede decirse totalmente de la Verificación Terrestre de las anomalías, con resultados mucho más discretos sobre todo en cuanto a su explicación geológica y delimitación de los sectores anómalos.



A. Estado original de la matriz

B. Matriz corregida por micronivelación.

Figura 2. Ejemplo de la aparición de errores de micronivelación dentro de las matrices de los datos utilizados y su corrección.

Los errores de microlevelling pueden ser observados en un ejemplo en la matriz de datos del sector Pinares de Mayarí, en la Figura 2, véase como los valores del campo

magnético se “arrastran” a lo largo de la dirección N-S, dirección de las líneas de vuelo, de manera cuasi alternante (quisimos ejemplificar con el campo magnético pues es el ejemplo más relevante encontrado, pero en menor medida ocurre igualmente dentro de los datos AGE). En la imagen B una vez realizada la corrección, el campo brinda un mejor resultado para la interpretación, pese a que aún subsisten (marcadas) algunas direcciones resultantes de la pobre nivelación entre hojas cartográficas, que es necesario remover.

En los datos originales se detectaron además errores en el empalme entre distintos sectores de vuelo que llaman poderosamente la atención por estar representados por valores que se agrupan en las cercanías de esos límites. En la figura 3 puede ser observado el estado del empalme, antes y después de la corrección.

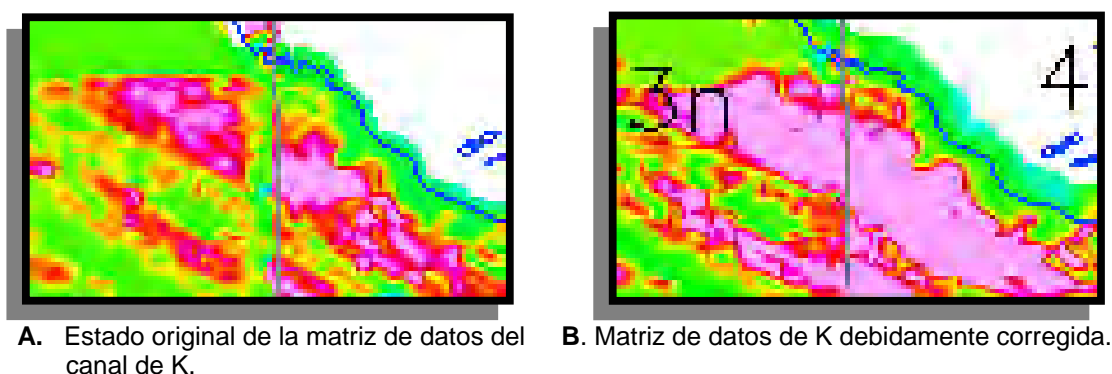


Figura 3. Errores de empalme entre distintos sectores de vuelo del LAGE.

En ocasiones se detectaron problemas múltiples en los datos originales que fue necesario resolver; en la imagen mostrada en la figura 4 el sector corresponde al SE de la provincia de Pinar del Río, véase como coexisten los problemas de empalme de las hojas cartográficas, con los debidos a desniveles entre las líneas de vuelo, aquí de dirección NW.

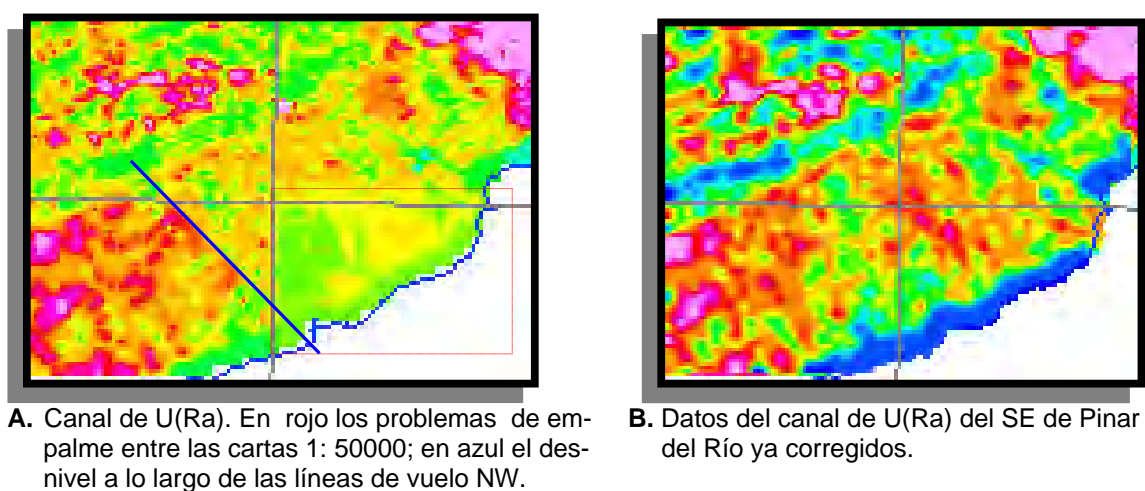


Figura 4. Ejemplos de mala nivelación entre los datos del canal de U(Ra) en el SE de la provincia de Pinar del Río.

Hemos dejado para el final los problemas existentes con la falta de información de algunos sectores del mapa 1: 100000. Al analizar el mapa era evidente, (ejemplificaremos con el canal de K del levantamiento Norte de Las Villas), la falta de datos que existía en regiones que por sus características geológicas debían estar bien representadas en el mapa, es el caso de formaciones vulcanógeno sedimentarias con contenidos de K mayores que el fondo y que sin embargo no eran cartografiadas por el canal de este radioelemento. La consulta con las bases duras de la escala 1: 50000 tenía la respuesta: la información había sido aparentemente “aplanada” durante el filtrado y donde debían aparecer las citadas estructuras geológicas solo se observaban algunos valores puntuales aislados de una magnitud mayor, (ver figura 5A). En 5B se muestra el proceso de rescate solo realizado en dos cartas 1: 50000 y en la figura 6 se muestra toda la información rescatada a partir de los datos de la escala 1:50000, y el nuevo aspecto del mapa, que ya puede ser plenamente comparado con el mapa geológico.

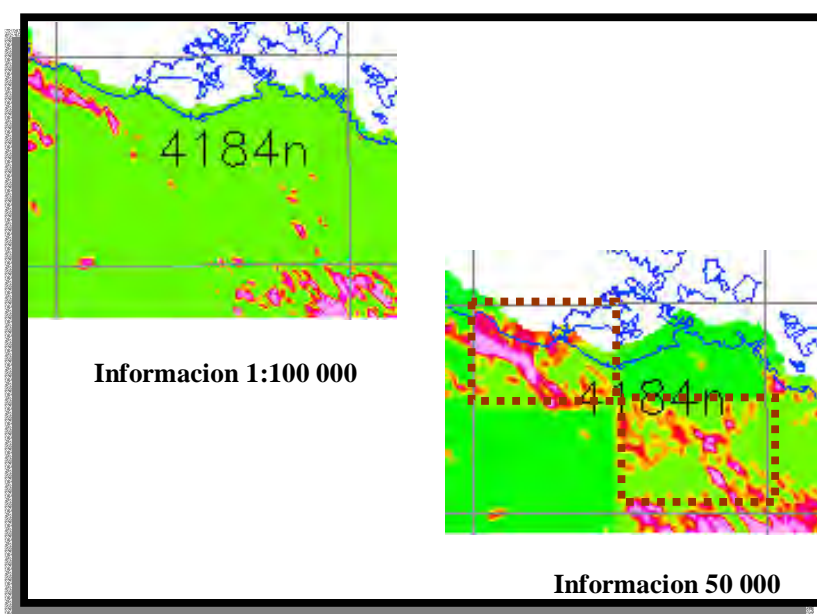


Figura 6. Arriba izquierda, carencia de información en el mapa de K del sector Norte de Las Villas. Abajo derecha, el mismo sector una vez rescatados los datos de las dos cartas 1: 50000 marcadas.

Se fundamentó la necesidad del reordenamiento, alistamiento y adecuación de la información de las BD existentes para corregir esos errores detectados ya que la naturaleza de esos errores también resultó ser de disímil origen y fue una tarea muy importante identificarlos y corregirlos, durante la ejecución del trabajo, para lograr la estandarización y unificación final de la BD AGE.

Las principales correcciones consideradas en los datos de vuelos incluyeron los controles en la estabilidad del equipamiento en el aeropuerto base, las calibraciones en el Banco de Güines, y otros. Las principales correcciones realizadas a los datos AGE durante el procesamiento incluyen: Filtrado $N=7$, con el fin de suavizar las curvas correspondientes a los canales de U_{Ra} , Th y K; corrección de influencia entre canales; corrección de fondo

residual y reducción a la superficie terrestre, compensación a nivel único; evaluación de la estadística de fondo y recálculo de los parámetros de interpretación. Los otros problemas detectados en el LAGE se relacionen con weathering, microlevelling, empalme, nivelación y fondo como dijimos

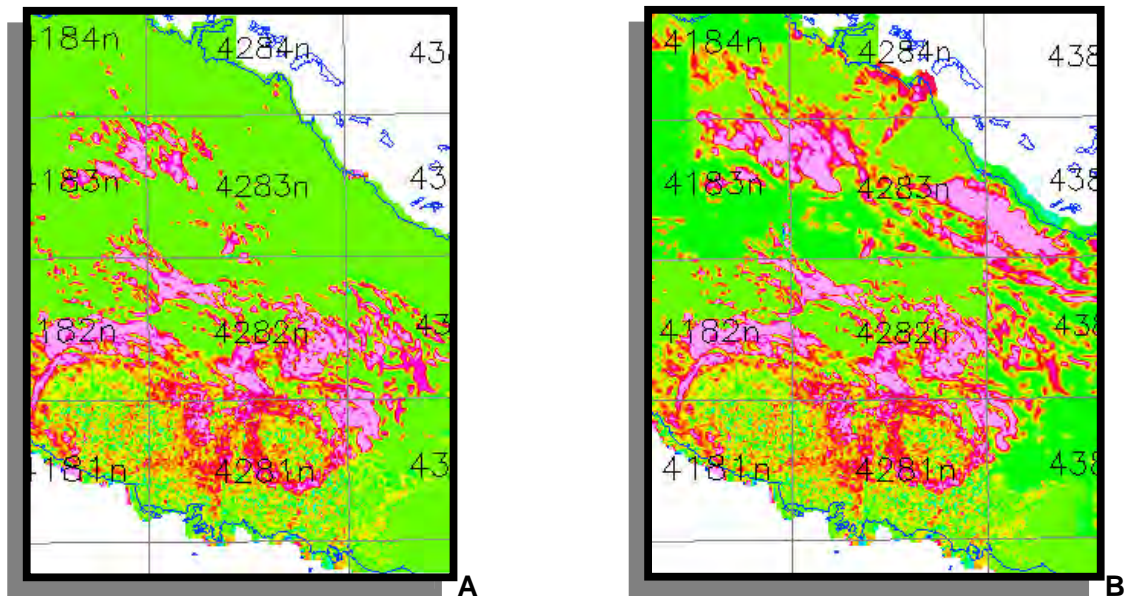


Figura 7. Aspecto del mapa del radioelemento K en la región central de Cuba, antes (A) y después (B) del rescate de la información de la escala 1: 50000.

Por último presentamos el mapa (Figura 8) de los 18 sectores de vuelo que conforman el LAGE.



Figura 8. Ubicación de los distintos sectores de vuelo del LAGE de Cuba

Rescate de la información AGE.

Como se dijo la información AGE conservada, presentaba múltiples problemas como es común en trabajos de esta índole, por lo cual fue muchas veces necesario reconvertir la información gráfica de las cartas 1:50000 en información digital. Se utilizaron las cartas de esta escala pues brindaban mucha más información que las mucho más descargadas 1:100000 y a su vez la información obtenida podría ser utilizada en el futuro rescate de la

matriz gamma-espectrométrica a escala 1:50000., empero ello conllevaba a una situación de conflicto con los datos recuperados a partir de los Trabajos Temáticos Productivos ya mencionados (Petrus, N. et al. 1998; Prieto, F. et al. 1999 y Prieto, F. et al., 2001), por lo que se decidió cumplimentar la tarea como estaba proyectada o sea la representación de la información a la escala 1: 100000.

El proceso de digitalización de la información gráfica utilizado esta vez fue ligeramente diferente al utilizado durante los tres proyectos de generalización de los datos ya mencionados, llevados a cabo en etapas anteriores. En esta ocasión sobre las imágenes "scaneadas" (scanning) se sobrepuso una plantilla con grid de 500 m. x 500 m. dirigida en la dirección de los perfiles de vuelo, (Figura 9), obteniéndose de esa manera adicionalmente a los valores de los vectores que representaban a cada isolínea de concentración, valores de vectores en una red regular análoga al grid de los datos de los sectores aledaños. Para no perder completamente la información, en los lugares en que dichos nodos cubrían los espacios correspondientes a proveniente del fondo por cada canal, se le asignó a los nodos del grid sobre impuesto el valor del fondo para cada sector y canal del parámetro que se tratase.

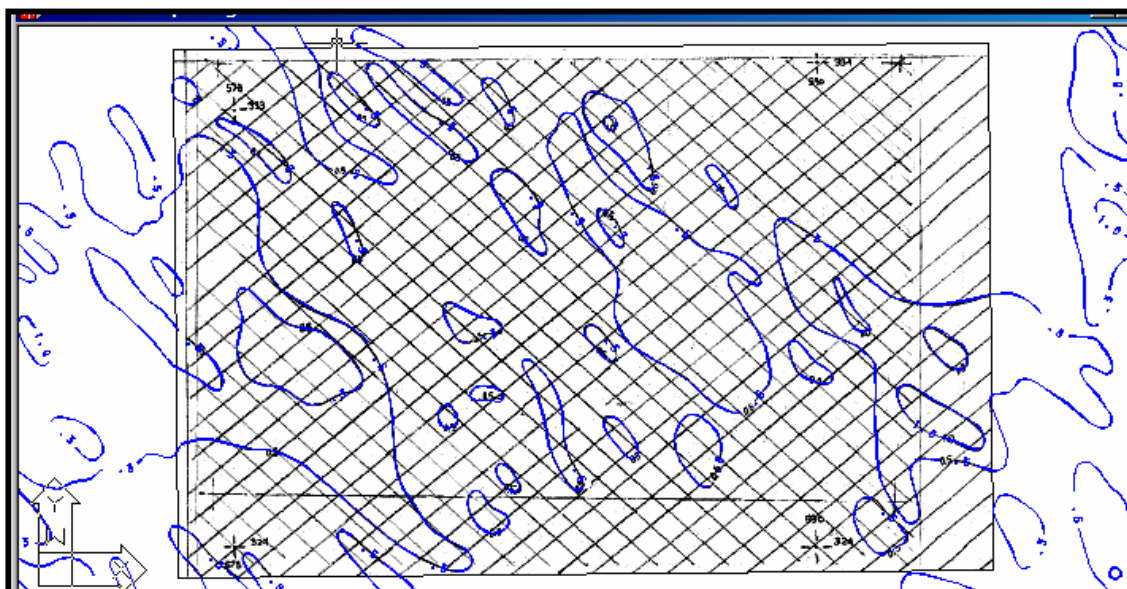


Figura 9. Imagen de cuarto de plancheta 1: 50 000 del Mapa de Potasio con buena densidad de Isolíneas. En azul las Isolíneas obtenidas a partir de la digitalización del sector. El cuadrículado en negro es el GRID diseñado para la vectorización.

Los problemas menores (en importancia por ser fácilmente corregibles) pero grandes en volumen, por la extensión de ellos a casi todo el territorio nacional, detectados en la matriz de datos original llegada de Rusia y que ya fueron descritos arriba, fueron resueltos durante la ejecución del trabajo con la digitalización de los mapas en copia dura existentes, para la escala 1: 100000 y en correspondencia, corregidas las matrices de los sectores donde fueron detectados los problemas. Los "límites" del trabajo de digitalización fueron la "exacta reproducción" con la mayor confiabilidad posible de las copias duras originales de los mapas, lográndose entre el 98% y el 99% de exactitud en la reproducción de las formas y valores de las anomalías e isolíneas y las diferencias entre el conjunto de datos originales y los datos redactados nuevamente **fueron menores que**

las diferencias establecidas por la Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional en 1988 para el país. Las pequeñas diferencias en la reproducción de los valores están relacionadas con los diferentes algoritmos que solucionan la tarea de la redacción de las isolíneas en dos sistemas de procesamiento como el SOAGD ruso (donde las pequeñas isolíneas son redactadas a mano en los salones de dibujo) y el GEOSOFT Mapping System, canadiense. En la figura 10 puede apreciarse la perfecta coincidencia entre las isolíneas dentro del cuarto de plancheta escaneado con el grid de vectorización y las vectorizaciones de los otros cuartos (4) de plancheta que la rodean.

En la figura 10 puede ser observado el proceso de empalme de las cuatro imágenes vectorizadas y como cada una de ellas reproduce exactamente la distribución original de valores del radioelemento K, que en la imagen mostrada se halla en negro por debajo de las nuevas isolíneas en azul procedentes de la vectorización.

Uno de los problemas más álgidos del proceso de vectorización que no había sido resuelto durante los tres trabajos previos de rescate de la BD AGE lo era el problema de la reproducción de la información en áreas donde la densidad de isolíneas de cualesquiera de los radioelementos presente, fuese baja o nula (Figura 10). El uso del grid de vectorización y la asignación a cada uno de sus nodos del valor del fondo del

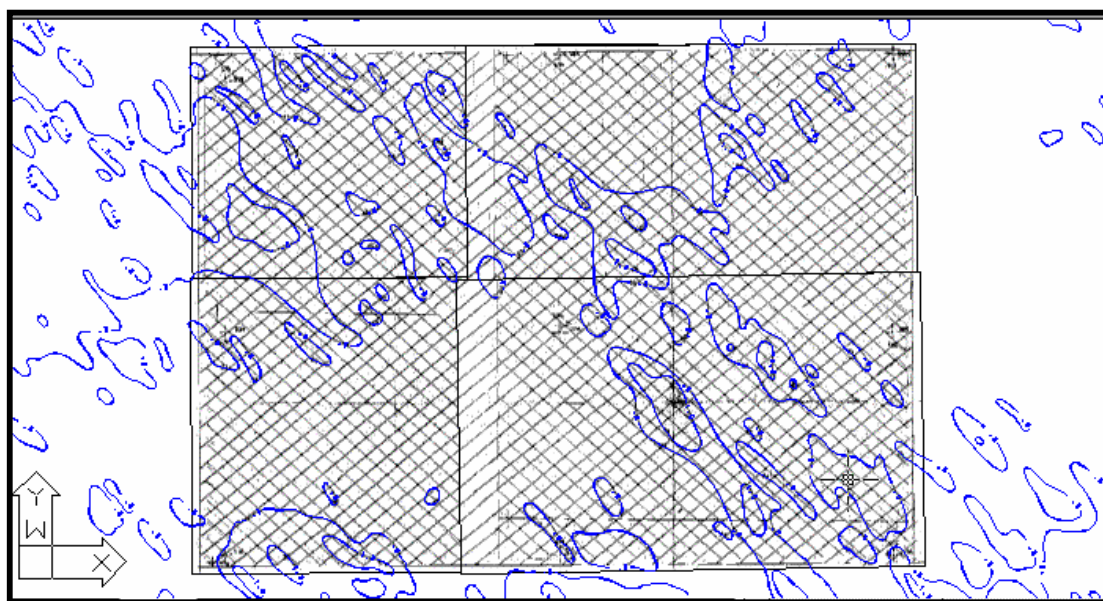


Figura 10. Imagen de la plancheta 1: 50 000 4184-21 del Mapa de Potasio del Levantamiento Norte de las Villas. Se observa la coincidencia al ser empalmados los cuatro cuartos de planchetas escaneados tras ser georeferenciados y de las isolíneas calculadas con las de la imagen del mapa original.

sector de vuelo, resolvió ese problema. Debemos aclarar que la resolución de ese problema es parcial, ya que el principal handicap del proceso de vectorización en las partes de los mapas correspondientes a los valores menores que la primera isolínea es que ese proceso de vectorización no puede reproducir los valores variables por debajo de la primera isolínea, perdiéndose para siempre esos datos. La mejor aproximación se obtiene asignando los valores del fondo a esos nodos, sin embargo, la falta de datos acerca de los diferentes sistemas de fondo, (en los inicios los reportes de vuelo

calculaban un solo fondo de la región y en algunos casos en ellos no aparecen ni los valores de fondo), y la realización de la vectorización “a ciegas”, o sea sin conocer el escenario geológico que se desarrolla por debajo de las isolíneas que sectorizamos, hace que generalicemos el valor de ese fondo hasta un grado tal, que no responda al verdadero escenario geológico que debía representar y lo que es peor aún de una manera imposible de supervisar a partir del modo específico en que se realiza la vectorización. Los próximos procesos de vectorización que se realizaren durante el rescate de la BD a escala 1: 50000, en proceso de estandarización, como recomendación de este trabajo, deberá incluir necesariamente otro modo de sectorizar, que grosso modo se propone de la siguiente manera: una vez vectorizadas todas las isolíneas del mapa con el método descrito, y con la inclusión del grid de vectorización según líneas de vuelo, solo por encima de los valores de la primera isolínea, deberá restarse la matriz original de datos (la que incluye todos los valores) de todos los valores ya sectorizados según sus coordenadas XYZ, de esa manera quedaran solamente los nodos con los valores menores al valor de la primera isolínea, precisamente esos nodos deberán ser incluidos en la matriz de vectorización, obteniéndose la nueva matriz que de esa manera incluirá los datos que conforman el fondo de la región.

Validación de los Resultados Obtenidos.

Sobre la validación de los datos, aspecto álgido del rescate, esta resulta ser la parte central del proceso de rescate de cualquier BD e implica necesariamente que cualquier proceso que conlleve nueva redacción de parte de ella, por muy ínfima que sea, **tiene** que asegurar la repetición **exacta** de la BD original. Lamentablemente es casi imposible asegurar el 100% de exactitud en cualquiera de esos procesos, por lo tanto el **tiene** se transforma en **debe** y el proceso de rescate de una BD es entonces más convincente, cuanto mejor logre reproducir el dato y el conjunto de datos original.

Desde las etapas iniciales de rescate de la BD del LAGE de Cuba a escala 1: 100000 se ha asegurado ese proceso, cuyo primer paso es la localización exacta de las coordenadas base que deben sobreponerse en los mapas AGE de los distintos canales, ya que las copias duras donde se encuentran las cartas, generalmente solo aparecen referidas a las esquinas del cuadrante de coordenadas que enmarcan las planchetas a escala 1:100000 y 1: 50000 y aparecen referidas a coordenadas esféricas Lambda, Phi en grados, minutos y segundos. La primera dificultad radica en el formato de los medios de escaneo utilizados, generalmente formato A4 por lo que la reproducción digital de la imagen de la citada carta solo puede lograrse en cuatro partes. Como el proceso de vectorización de la imagen, requiere el establecimiento de puntos de referencia con coordenadas conocidas, deben marcarse sobre todos y en cada uno de los mapas a sectorizar, al menos 9 coordenadas de referencia: una en cada vértice del marco (4), otras 4 aproximadamente a la mitad de la distancia de cada uno de los lados y otra aproximadamente en el centro de la carta. El proceso de marcaje es lento y muy delicado, primero por el cuidado que debe tenerse con materiales originales y únicos en papel, plegados dentro de los reportes; segundo, porque no siempre el marco externo del mapa coincide exactamente con los límites de las topoplanchetas 1: 100000 de GeoCuba, que, o han variado desde el tiempo de realización de determinado sector del LAGE o bien han sufrido, ambas, distintos grados de dilatación, que en dependencia de las condiciones de almacenaje donde estuvieron, su grado de deterioro, y el tipo de papel utilizado en su confección es de alguna manera semejante o diferente en una u otra dirección de coordenadas. Estas razones obligan a tomar en la mayoría de los casos decisiones difíciles que generalmente

van dirigidas a tratar de repartir uniformemente el error de coincidencia entre los vértices de ambas, por lo tanto el establecimiento de los 9 vértices base para cada imagen tiene implícito un error de ubicación que a la larga pesará en mayor o menor medida en la reproducción exacta de la distribución de valores del universo de datos en cuestión. Ese es el error más grosero e imponderable de todos los que pueden ocurrir durante el proceso de vectorización.

Pueden ocurrir también otros errores casuales, como los errores numéricos al situar el valor de los nuevos vértices de referencia de la imagen, pero ellos son fácilmente detectables y corregibles cuando se empalman los cuatro pedazos que conforman la base de datos sectorizada de la imagen en cuestión.

Durante el proceso de vectorización se realiza el chequeo sistemático e ineludible del nivel o capa que se está sectorizando, y los errores humanos más comunes ocurren cuando se confunden los niveles, o del material fáctico, que los posee y no son esporádicos, sobre todo en las partes de las cartas con valores cercanos al fondo y/o muy ruidosos donde en gran medida las isolíneas fueron redactadas a mano dentro de los salones de dibujo de CebZapGeología. En no pocos casos deben tomarse decisiones acerca del valor asignado en correspondencia con las isolíneas que lo rodean, a despecho del valor que aparece marcado en la propia isolínea. Si el encargado de la vectorización pierde el sentido de la variación de los radioelementos que conforman dicha distribución espacial y acepta la capa como válida, el error será fácilmente reconocible en el momento del empalmar las cuatro partes de la carta y conformar el nuevo GRD de la distribución de valores, que diferirá grandemente de la imagen de comparación a su lado. El responsable de la vectorización se dirigirá al nivel en cuestión y cambiará su magnitud, analizando el origen del problema, sea producto de su error de apreciación durante la digitación o de la carta original producto de los dibujantes.

Como puede entenderse de lo expresado, salvo los errores de ubicación planimétrica provocados por las diferencias entre mapas de isolíneas y cartas topográficas que son aleatorios, irreparables y mayores en la medida del aumento de las citadas diferencias entre las cartas topográficas y las geofísicas, el resto de los errores es reconocible fácilmente y enmendable, por lo tanto el cuidado en la preparación inicial y el uso de mapas y cartas en mejores condiciones reducen esa fuente de errores ineludibles.

La no coincidencia entre el nuevo grid del mapa vectorizado y la imagen del mapa de isolíneas puede tener otro origen: una insuficiente cantidad de datos con determinada distribución planimétrica que no pueda contornear isolíneas claras, idénticas a la de la imagen original, generalmente ocurren separaciones o enlaces entre isolíneas cercanas planimétricamente y con igual valor de capa. Una vez confeccionado el nuevo GRD de los datos y notado sus diferencias con el original, el responsable de la vectorización rellena la matriz redactada y con suficiente experiencia, logra en más del 98%-99% de los casos la coincidencia exacta y la reproducción total de la imagen original.

Esta introducción se hace necesaria para aclarar que nunca se podrá reproducir **exactamente**, como comenzamos diciendo, el mapa de isolíneas original por una razón insoslayable: aún cuando las cartas topográficas y los mapas no presenten dilatación alguna y sus vértices coincidan en el 100% de los casos, y el encargado de la vectorización no haya cometido error alguno y pueda reproducir exactamente la distribución inicial de valores, siempre quedará el pecado original provocado por las diferencias entre del tipo de algoritmo utilizado por los diseñadores del SOAGD ruso y el

Geosoft Mapping System canadiense, que pueden ante determinadas distribuciones de datos, reaccionar diferentemente.

La pregunta es: ¿ como estar seguro que el SOAGD, reprodujo mejor la distribución de los valores que el Geosoft, o el SURFER, u otro cualesquiera?... la única respuesta es que obligamos a la distribución de valores a parecerse a la redacción lograda con el SOAGD, **por que este fue el primero y todos los mapas originales en los reportes de vuelo aparecen redactados con él.** La otra respuesta se desprende directamente de la filosofía misma, de la esencia de la actividad geológica, y es la imposibilidad de simular exactamente cualesquiera de sus fenómenos gracias a que la geología es una ciencia natural. Aceptar esta categoría es aceptar el hecho que dos especialistas distintos con igual experiencia y conocimiento, JAMAS lograrán confeccionar dos mapas de isolíneas IDENTICOS sobre la misma distribución espacial de datos y mucho más allá: JAMAS, uno y los dos, lograran confeccionar dos mapas IDENTICOS a los mismos que uno y los dos realizaron.

Con ese presupuesto, ligado al hecho que al aceptar como válida **solo** la variante entregada en el informe de vuelo en cuestión, negamos el primer presupuesto de la interpretación geofísica: la multiplicidad de la tarea inversa, y estamos pasando además sobre el HECHO de que las mediciones AGE son discretas y aleatorias y que lo que estamos considerando como una distribución de valores inamovible no es más que el resultado del uso de un filtro de promediación de 7 términos (generalmente) y que los valores dentro de cada una de las litologías están lognormalmente distribuidos (Vistelius, 1962). En Cuba, estudios de la radioactividad (gamma total) de las rocas en escenarios tan distintos como el Arco Volcánico Paleogénico de la Sierra Maestra y los terrenos metamórficos y ofiolíticos de la Sierra de Caria y del Purial, demostraron que todas las litologías en ambos sectores para $n=24000$ datos en la Sierra Maestra (Sánchez Cruz y Griffith, 1983) y $n=26000$ datos en la Sierra del Purial (Sánchez Cruz y Rosales Junco, 1981) poseen una distribución lognormal.

Todos estos presupuestos, sumados al hecho de que la escala del LAGE a que nos referimos es 1: 50000, representado a escala 1: 100000, nos brinda un margen de redacción para las isolíneas entre los $\pm 50.0m$ y los $\pm 100.0m$, y nunca en la peor de las vectorizaciones logradas se han obtenidos desplazamientos planimétricos del orden de 0.5-1.0cm.

Claves para la comprensión de la BD AGE de Cuba.

Es harto conocido que lo que se considera como la BD AGE "original" no es más que un GRD en arreglo matricial de 500x500m o sea que la BD responde a mapas AGE de la escala 1: 100000. Tratar de reproducir, mapas a escala 1: 50000 con dicho arreglo matricial de datos de la BD "original" no logra la precisión de las copias duras (papel) de los mapas en nuestros archivos, por lo tanto en Cuba, **no existe BD en escala 1: 50000** y esa es la que se propone obtener a partir de estos resultados.

Los éxitos del proceso de vectorización realizados durante la ejecución de este trabajo sobre algunas cartas cuyos datos fue imperativo recuperar a partir de las copias duras existen, fueron mostrados en la parte anterior en las figuras 6 y 7 A y B, donde se observa, como ejemplo, la distribución espacial del K en el Sector de Vuelo Las Villas Norte sobre la base de la matriz "original" del LAGE y en la fig. 7 B, puede ser observado el mismo sector, recuperado a partir de la vectorización de las cartas 1: 50000 de K de

dicho sector. Puede observarse claramente como, pese a la pérdida de información por debajo de la primera isolínea de los valores del fondo, que ocurren durante la vectorización, el nuevo mapa está grandemente enriquecido con anomalías que reflejan la situación geológica.

La exactitud del método de vectorización y de la reproducción exacta de la matriz puede ser observada en la figura 10, donde se muestra la imagen de una de las cartas escaneadas y el mapa .dxf producto del grd de la vectorización.. La semejanza es total, sobre la base del seguimiento estricto de la metodología diseñada (explicada anteriormente). La validación del trabajo está dada por la permanencia del error medio cuadrático de cualesquiera "n" muestreadas de la intensidad del parámetro K, en este ejemplo específico, dentro del rango de la precisión del sector de vuelo en cuestión, (Figura 11). Notar que aquí se debía incluir un diapasón mayor de variación del parámetro por cuanto lo anteriormente explicado acerca de las diferencias entre los algoritmos del sistema SOAGD y el GEOSOFT Mapping System, sin embargo ello no fue necesario. La prueba fue realizada con el radioelemento K primero: por ser sus mapas los más utilizados en Cuba del LAGE y segundo por que la magnitud de su precisión, la mayor entre los radioelementos del LAGE. Si la metodología lograba reproducir los mapas de K con la requerida precisión, con más razón era válida su utilización para los otros dos radioelementos.

En la figura 11 aparece representado un perfil de ese mismo mapa de K, en él puede ser observada la perfecta coincidencia entre el perfil original, extraído de la BD existente y el perfil extraído del nuevo mapa de valores sectorizado. Abajo aparece la estadística del cálculo de error, para que se pueda tener una perfecta idea de la fidelidad del proceso. Las diferencias mínimas y máximas detectadas entre -0.04 y +0.05 son harto elocuentes de que el proceso de reproducción de la información original posee errores muy por debajo de los permisibles por la calidad del proceso de adquisición de datos para cada uno de los canales. En el caso del canal de potasio los errores medio cuadráticos permisibles son del orden de $\pm 0.18\%$ en el levantamiento AGE del sector Villa Clara Norte. Con las variaciones introducidas a la metodología de vectorización seguida primero por Petrus et al. y luego por Prieto et al, se han logrado resultados más precisos en la reproducción de los datos.

Información estadística:

Database: D:\NorteLVillas\Potasio\KPerfil.gdb
Channel: Diferencia
Line: [All]
Fiducial range: [All]

Number of items: 75
Number of dummies: 0
Minimum value: -0.04
Maximum value: 0.05
Mean value: 0.000222647797
Standard deviation: 0.01530436853
Arithmetic sum: 0.016698584805

La figura 11 representa solo un ejemplo del trabajo de control realizado, el que se realizó sobre tres tipos de distribuciones de valores: tranquilas, moderadas y ruidosas, y en todas los resultados fueron muy satisfactorios por lo cuál se puede

asegurar que la metodología empleada satisface plenamente la recuperación de los datos AGE.

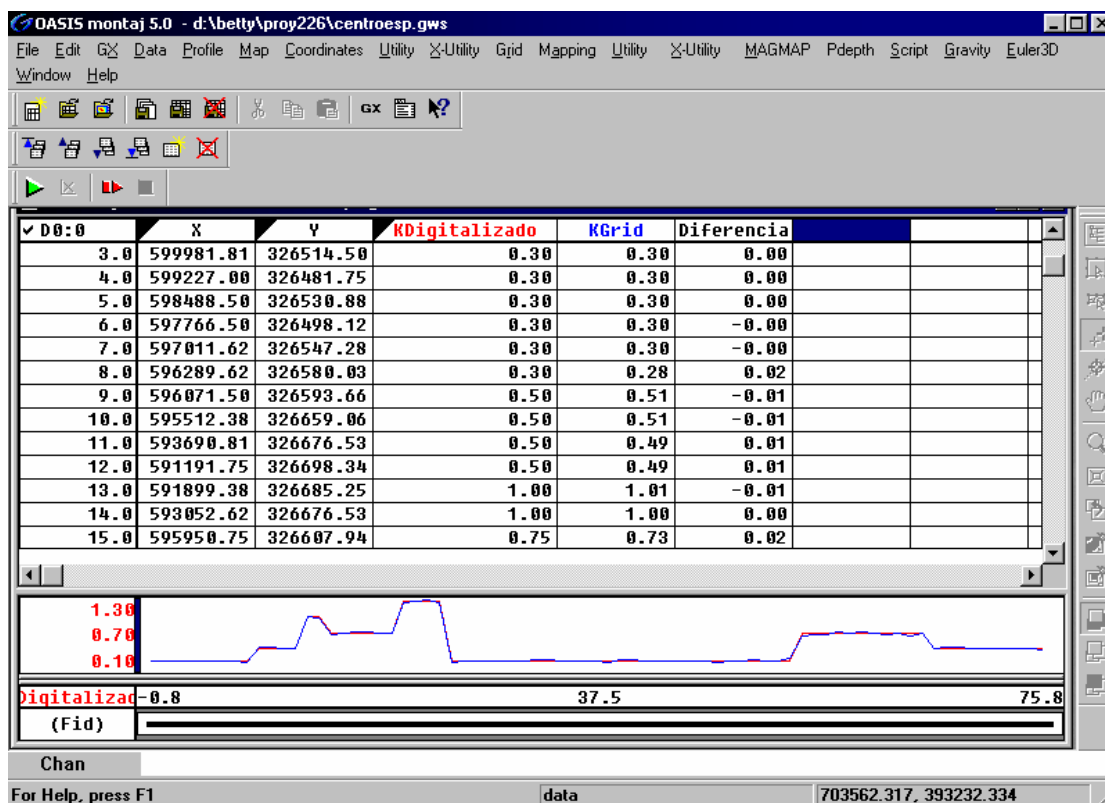


Figura 11. Perfil digitalizado del mapa presentado en la Figura 10 y comparado sus valores con los extraídos del grid calculado, para el mismo perfil.

Los Mapas AGE de la República de Cuba

Realizadas todas las correcciones pertinentes y asegurada la reproducción exacta de la información se pasó a la construcción de los mapas de Cuba a escala 1: 100000 de los canales de U, Th y K, así como del canal integral. Todos los mapas se encuentran soportados sobre el GIS CARIS, para su mejor manipulación. En las figuras a continuación pueden observarse algunos de los mapas logrados, se incluyen algunas imágenes de distintos canales y sectores para ejemplificar la tarea realizada.

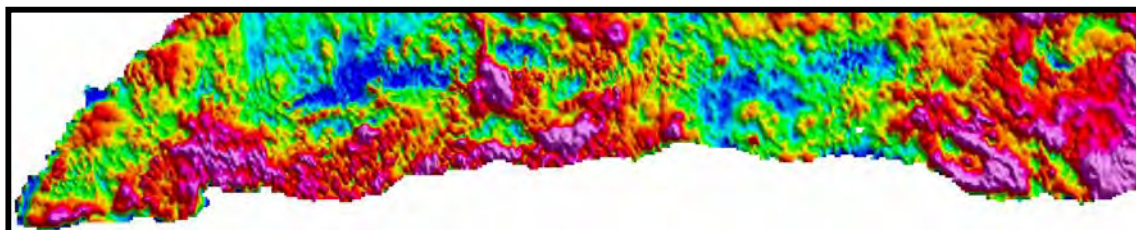


Figura 12. Shadograma de los valores de la Intensidad de Radiación Total Gamma de toda la Sierra Maestra.

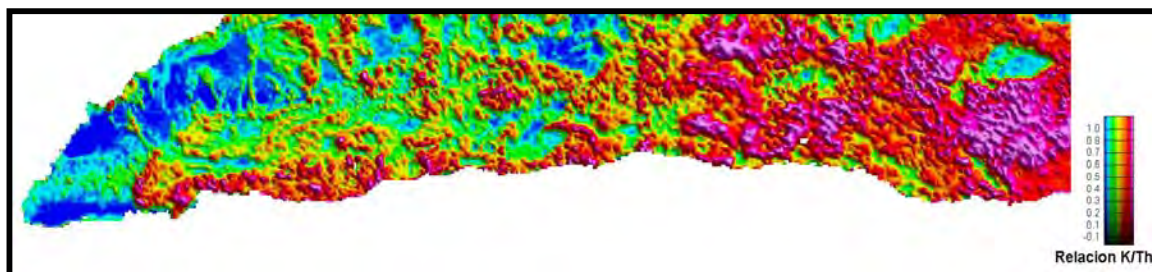


Figura 12. Shadograma de los valores de la relación K/Th en el mismo sector de la Sierra Maestra.

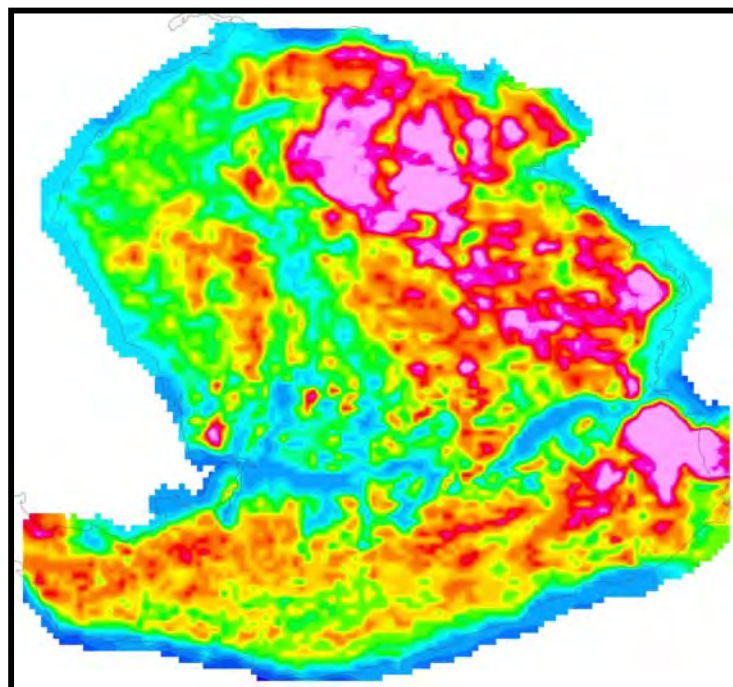


Figura 13. Mapa de las concentraciones de U(Ra) en $\times 10^{-3}$ ppm. del sector Isla de Pinos

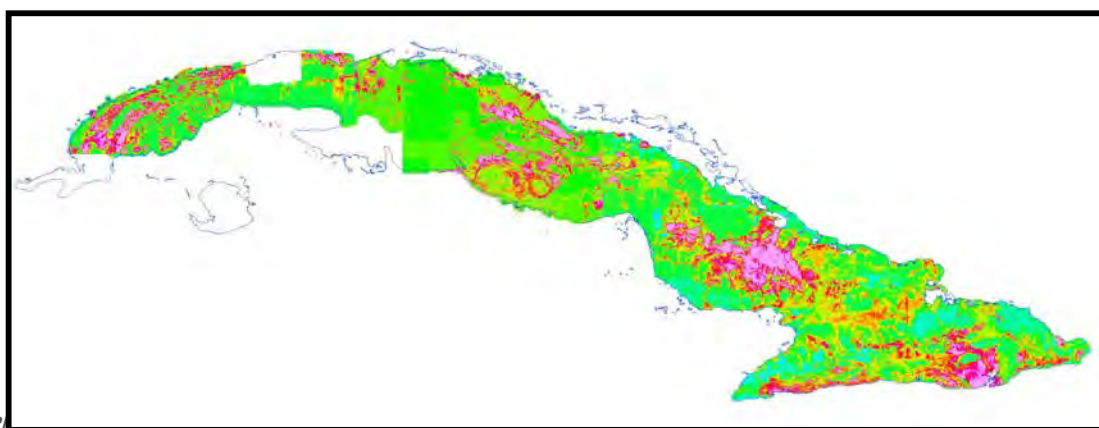


Figura 14. Mapa actual de la concentración de K en % de la República de Cuba.

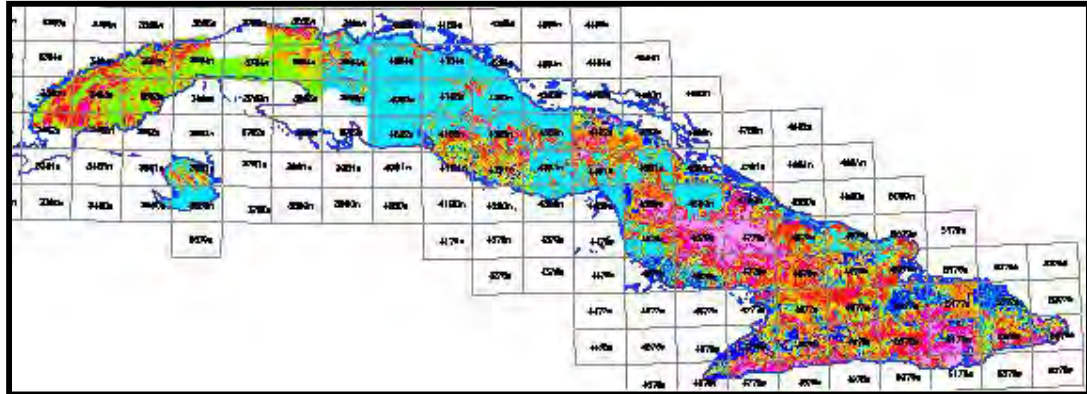


Figura 15. Condiciones en que se encontraba el mismo mapa anterior de la concentración de K en % antes del trabajo de rescate y estandarización de la BD AGE.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alaminos, C.; C.A. García; R. Fernández; A. Manchado; M. Altabas. 1980.** "Proyecto Técnico Económico Organizativo para la Comprobación Preliminar de los Sectores Perspectivos Recomendados en el Informe del LAGC. de la Provincia de Pinar del Río. (inédito). Fondos del IGP. Inventario 222.
- Alfonso Roche, J.R., M. Pardo, J. Alvarez, N. Petrus y otros, 1993:** "Informe sobre los trabajos metodológicos-experimentales de métodos geofísicos y geoquímicos no convencionales para la prospección de hidrocarburos someros en Cuba Septentrional (inédito)", ENG.
- Barritt, S. D. 1993.** "The African Magnetic Mapping Project, 1993. ITC. Journal 1993-2 Special Issue.
- Chang Bravo, J.L.; G. Grevnirov; A. Brodovoi. 1990:** "Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de las Provincias de Santiago de Cuba, Holguín, Gramma y Guantánamo, (Sector Pinares de Mayarí)". Archivo O.N.R.M. Inv. No. 3915. IGP. Inv. No. 60.
- Chang Bravo, J.L.; F. Prieto; J. Fernández; L. Corbea. 1990,** "Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de las provincias de Guantánamo, Santiago de Cuba y Holguín, sector Guantánamo Sur". Archivo O.N.R.M. Inv. No. 4081.
- Chang Bravo J.L. 2002** "Influencia de los rasgos geomorfológicos en la migración de los radioelementos naturales".Resúmenes del 2do. Congreso Cubano de Geofísica, La Habana 2002"
- Liubyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1984.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias Ciego de Avila y Camagüey. 1984. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3318; IGP. Inv. No. 188.
- Liubyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1983.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de la Isla de Pinos. 1983. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3317; IGP. Inv. No.
- Liubyi, L. I.; T. V. Martinova; V. L. Vasiliev y G. A. Glikman. 1984.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias de Villa Clara, Cienfuegos, Sancti Spíritus y Ciego de Avila, (Sector Santa Clara). 1980. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3022.
- Liubyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1982.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias Cienfuegos y Matanzas, (Sector Cienfuegos). 1982. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. , IGP. Inv. No. 180.

- Liubiyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1983.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias de Villa Clara, Cienfuegos, Guantánamo y Holguín, (Sector Guantánamo Norte). 1983. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3134, IGP. Inv. No. 182.
- Liubiyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1982.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de la Provincia de Camagüey, (Sector Camagüey). 1982. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. , IGP. Inv. No. 177.
- Liubiyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1982.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias de Las Tunas y Holguín, (Sector Holguín). 1981. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3109, IGP. Inv. No. 181.
- López Dominic, J. 2000.** "Metodología para la Compilación y Estandarización de los Datos Aeromagnéticos obtenidos en Diferentes Levantamientos". (Inédito). Fondos de Geominera S.A.
- Lubennikova, T.; S. Lobanov; A. Brodovoi; V. Ruzanov. 1984.** " Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo (LAGC) en el Territorio de la Provincia de Pinar del Río, (sector Pinar del Río Sur y Este). (Inédito). Fondos de la ONRM. Inv. No. 3577 e IGP. Inv. No. 06.
- Lufriú, L., I. Padilla y L. Corbea, 1989:** "Utilización de la aerogammaespectrometría en la búsqueda de petróleo y gas". Boletín Técnico de Petróleo MINBAS No. 2, 13-17.
- Lufriú, L.; I. Padilla; L. Corbea. 1996** "Notas Explicativas al mapa del campo Aeromagnético y a los mapas de Radiación Gamma y concentraciones de U(Ra), Th, K a escala 1: 250000 de la República de Cuba" Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Lufriú Díaz, L.; I. Padilla; V. Sujanov; L. Corbea. 1984** "Informe Sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias Habana y Matanzas, (sector Habana-Matanzas), en la República de Cuba. (Inédito). Fondos del IGP. Inv. No. Archivo O.N.R.M. La Habana, No. Inv. 3489.
- Lufriú Díaz, L.; I. Padilla; L. Corbea. 1987** "Informe Sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de la Provincia de La Habana, (sector Habana), en la República de Cuba. (Inédito). Fondos del IGP. Inv. No. Archivo O.N.R.M. Inv. No. 3536, IGP. Inv. No. 03.
- Martinova, T. V.; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1985.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias Villa Clara y Matanzas. (Sector Villa Clara Norte). 1985. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3359; IGP. Inv. No. 179.
- Nikolaiev, A.; N. Núñez; S. Merestkov; R. Sánchez Cruz; P. Skorina; R. Cordovés; I. Shein; J. Revorido; C.M. Rosales, et al. 1981.** "Informe sobre los Trabajos de Levantamiento Geológico 1:100000 y sus Búsquedas acompañantes 1: 50000; 1: 25000; 1: 10000 en las Montañas de La Sierra del Purial, Guantánamo", 1981. Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Padilla Rodríguez, I.; L. Lufriú; A. Leal; G. Millán; L. Corbea; F. Prieto. 1994.** " Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spiritus, (sector Escambray). (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. , IGP. Inv. No. 574.
- Padilla I. 1997.** "Grado de estudio Aerogeofísico de La República de Cuba". Estudios sobre Geología de Cuba. IGP 1997; p-491, p-494. ISBN 959 - 243- 002- 0
- Padilla I. 2002.** "Relación entre los radioelementos presentes en la región central de Cuba y la morbilidad por cáncer". Tesis para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Geólogo-Geofísicas. Universidad de Campinas. Brasil. Comunicación Verbal.
- Pardo Echarte, M. E., N. Petrus y otros, 1996:** "Utilización de datos aerogammaespectrométricos para el reconocimiento de regiones gasopetrolíferas en Cuba"; un ejemplo: Pina-Ciego de Ávila. (en prensa), Ciencias de la Tierra y el Espacio.
- Parker, M. 1993.** " Using Old Geophysical Surveys: Problems and Solutions. ITC. Journal 1993-2. Special Issue.
- Pérez Almaguer, E. 1999.** "A New Approach to Improving the Quality of Older Generation Gamma-Ray Spectrometry Data: a Case Study from N.E. Kibaran Belt, central Africa. Thesis for Master in Science degree. ITC. The Netherlands. 1999.
- Petrus Marcos, N.; L. Lufriú Díaz; R. Sánchez Cruz; A. Oviedo Balbín; J.J. Moya Rodríguez; E. Kessell Herrera. 2003** "Informe sobre los Resultados del Tema I+D 229 "Generalización de

- la información aerogeofísica HEM para la cartografía Geológica y el pronóstico de áreas perspectivas en los sectores Sierra Maestra y Escambray". Fondos del IGP. Inv. No. .
- Petrus Marcos N.; F. Prieto et al. 1998.** "Rescate de la BD gammaespectrométrica de la parte occidental de la República de Cuba". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Petrus Marcos N. 2003** "Visualización de los datos aerogamma-espectrométricos para los estudios geológicos". V Congreso Cubano de Geología, La Habana 2003.
- Petrus Marcos N. 1997.** 1997. Trabajo Temático Productivo No.14653 "Creación de la Base de Datos Aerogeofísicos complejos realizados en los años 1994-1995 por Scintrex-Caribe".
- Prieto Caínzos, R. L.; G. Grevnirov; A. Brodovoi; J. Fernández; L. Corbea. 1988.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias de Camagüey y Las Tunas, (Sector Nuevitas-Guáimaro). 1988. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3688, IGP. Inv. No. 232.
- Prieto Caínzos, R. L.; A. Brodovoi; I. de la Vega y L. Corbea. 1989.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias Holguín y Gramma, (Sector Bayamo-Cauto). 1989. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3737, IGP. Inv. No. 189.
- Prieto Caínzos, R. L.; I. Padilla; L. Lufriú y R. Sánchez Cruz; J. Fernández, 1991.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincia de Santiago de Cuba y Gramma, (Sector Sierra Maestra). 1991. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 4199.
- Prieto Castro F.; N. Petrus y otros 2000.** "Creación de la Base de Datos Aerogammaespectrométrica de la región de Cuba Central". 2001. Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Prieto Castro F.; N. Petrus; A. Oviedo; J.J. Moya; L. Lufriú; E. Kessell; R. Sánchez Cruz 2001.** "Creación de la Base de Datos Aerogammaespectrométrica de la región oriental de la República de Cuba". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Reeves, C.V. 1993.** "New Horizons for Airborne Geophysical Mapping. 1993. ITC. Journal 1993-2. Special Issue.
- Rodríguez Basante B. 1999.** "Utilización de los métodos geofísicos en el desciframiento de los rasgos geológicos de Cuba occidental". Tesis para el grado de MSc, ITC. The Netherlands, 1999.
- Rodríguez Basante B.; R. Sánchez y otros 2003** "Identificación y clasificación de los errores más comunes presentes en la BD Gammaespectrométrica de Cuba". Comunicación Verbal.
- Rusanov, V. A. y R. L. Prieto Caínzos. 1988.** "Informe sobre la Red de Apoyo AeroGeofísica Nacional". (Inédito). Fondos del IGP. No. Inv. 176.
- Sánchez Cruz R., C.M. Rosales, G. Sánchez, R. Ramos y otros 1982.** "Estudio de las propiedades físicas de la región Baitiquirí-Baracoa Maisí". II Jornada Científico-Técnica de Empresa de Geología Santiago de Cuba. Santiago de Cuba 1983. Inédito.
- Sánchez Cruz, R.; J. Griffith Sánchez, 1983.** "Estudio de la radiactividad de las rocas del Gran Parque Nacional Sierra Maestra". Inédito. II Jornada Científico -Técnica de la Filial C. Habana.
- Sánchez Cruz, R.; B. Rodríguez Basante; N. Petrus Marcos; A. Oviedo Balbín; F. Prieto Castro; L. Lufriú Díaz; J. L. Chang Bravo; M. E. Pardo Echarte; I. Padilla Rodríguez; R. L. Prieto Caínzos. 2003.** "Ejemplos de Utilización del Mapa AeroGammaEspectrométrico 1:100000 de Cuba como parte de la Solución de Distintos Problemas Geológicos". Resúmenes del V Congreso Cubano de Geología. La Habana 2003.

LEVANTAMIENTOS ELECTROMAGNÉTICO (FDEM) Y DE POLARIZACIÓN INDUCIDA (PI) EN LA EVALUACIÓN DEL SECTOR ANTONIO OCCIDENTAL, CUBA CENTRAL.

Rosendo Oña Álvarez⁽¹⁾, Emiliano Gallardo Eupierre⁽¹⁾, Jorge L. Chang Bravo⁽²⁾, Ramón Moya Valladares⁽¹⁾, Antonio Oviedo Balbín⁽²⁾

(1) Empresa Geominera Centro. Carretera de Malezas Km.2.5. Santa Clara. CP 50100. Villa Clara. Cuba. E-mail: rosendo@upmvc.co.cu

(2) Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca No.1200. Entre Carretera Central y Línea del Ferrocarril San Miguel del Padrón. CP 11000, Ciudad de la Habana. Cuba. E-mail: chang@igp.minbas.cu

RESUMEN

Se recogen los resultados de las investigaciones geofísicas con la aplicación de las técnicas electromagnéticas en el dominio de frecuencias (FDEM) y de la Polarización Inducida (PI) en la evaluación de la perspectividad del Sector Antonio Occidental en la formación Los Pasos, Cuba Central.

El levantamiento electromagnético se ejecutó de acuerdo con un dispositivo estándar, utilizándose tres frecuencias de trabajo (110 Hz, 440 Hz y 1760 Hz), mientras que el levantamiento de Polarización Inducida se llevó a cabo con un dispositivo dipolo-dipolo (DPDP). Ambos levantamientos se realizaron sobre una red topográfica de 100X25 m trazada instrumentalmente.

El análisis integrado de los resultados aportados por cada técnica geofísica permitió establecer la presencia en el área de franjas mineralizadas que en términos geofísicos aparecen expresadas en forma de cinturones anómalos alternos y semiparalelos con dirección predominante SE-NO.

En una de las anomalías geofísicas detectada, coincidente con una zona de alteración hidrotermal en un ambiente geológico muy favorable, se perforó un pozo de verificación (LP-1), el cual interceptó una zona mineralizada de 6.5 m de espesor (profundidad = 50.5–57.0 m), con sulfuros de hasta 30%, constituida por pirita diseminada y en vetillas de hasta 3 cm. y calcopirita diseminada y en vetillas finas (1-3%) y trazas de esfalerita.

ABSTRACT

The application of electromagnetic techniques in the domain of frequencies (FDEM) and Induced Polarization (PI) are used to show the results of geophysical investigations in the evaluation of the perspectivity of the Western Antonio Sector in the formation Los Pasos, Central Cuba.

The electromagnetic survey was executed according to a standard array, and were used three working frequencies (110 Hz, 440 Hz and 1760 Hz), while the Induced Polarization survey was carried out with a dipole-dipole array (DPDP). Both surveys were carried out on a 100X25 m topographical grid traced instrumentally.

Integrated analysis of the results obtained from every geophysical technique allowed us to establish the presence of mineralized fringes in the area which in geophysical terms appear expressed in form of alternating anomalous and semi-parallel belts with predominant direction SE-NW.

In one of the detected geophysical anomalies, coincident with a hydrothermal alteration zone, in a very favorable geologic environment, a verification well was drilled (LP-1), which intercepted a mineralized zone of 6.5 m of thickness (depth = 50.5–57.0 m), with sulfides up to 30%, constituted by disseminated pyrite and in veinlets until 3 cm wide and disseminated chalcopyrite and in fine veinlets (1-3%) and trace sphalerite.

INTRODUCCION

La presente investigación geofísica se llevó a cabo en el marco del Proyecto de Investigación: **“Generalización geológica y pronóstico de la formación Los Pasos”**, el cual permitió una evaluación integral del potencial mineral de la mencionada formación, donde se relevaron nuevas áreas que según el pronóstico realizado presentan condiciones favorables para la posible presencia de yacimientos tipo VMS, similares a los ya conocidos en la formación Los Pasos (Antonio, San Fernando, Los Cerros). La evaluación realizada permitió identificar 20 sectores de interés. Uno de estos sectores lo constituyó el Sector Antonio Occidental, seleccionado como el de mayor favorabilidad durante el pronóstico para la revelación de mineralización de sulfuros masivos.

El sector Antonio Occidental que ocupa un área de 1 Km² se localiza a unos 7 Km. al suroeste de Mina Antonio en el municipio Manicaragua, provincia de Villa Clara, Cuba. La geología del Sector está representada en su totalidad por rocas de la formación Los Pasos constituidas por los productos del intenso vulcanismo durante el Cretácico Inferior. La variedad de la actividad volcánica y del ambiente de deposición determinaron, en primer lugar la alternancia de dos tipos de rocas: Riolita a Dacita y Basalto-andesito a basalto, con poco desarrollo de rocas de composición media y son típicos los cambios litológicos laterales (Díaz de Villalvilla, L, 2001; Dublan, L, et al, 1987, Gallardo, E, et al, 2002). Por otra parte, las capas producto de la actividad extrusiva (coladas de lava, flujos) se alternan con depósitos explosivo – piroclástico: bombas, brechas, tobas de diferentes granulometrias. Las secuencias se presentan penetradas por rocas sub-volcánicas de diques y por pequeños cuerpos intrusivos (plagiogranitos, diorita).

El complejo de técnicas geofísicas empleadas en la evaluación de la perspectiva del Sector Antonio Occidental estuvo constituido básicamente por los levantamientos: Electromagnético en dominio de la frecuencia (FDEM) y de Polarización Inducida (PI), así como fueron utilizados para su análisis los registros del campo magnético obtenidos en trabajos pretéritos más recientes practicados en el mencionado Sector. Se cubrió un total de 9.75 Km. lineales con cada técnica geofísica.

Los trabajos de campos fueron conducidos entre el 24 de Abril y 14 de Mayo del 2002 por los especialistas de la Empresa Geominera Centro y del Instituto de Geología y Paleontología de la República de Cuba.

MATERIALES Y METODOS

Levantamiento Electromagnético en dominio de la frecuencia (FDEM).

Las investigaciones electromagnéticas en frecuencias se ejecutaron aplicando un dispositivo estándar o comercialmente conocido como “Slingram”, posicionando las bobinas del Transmisor (Tx) y Receptor (Rx) horizontales al plano, para un cubrimiento total de todo el área con el empleo de tres frecuencias de trabajo.

El levantamiento fue ejecutado con la utilización del equipo MAX-MIN I-8 de manufactura APEX- Parametrics, Canadá. Número de serie: 8433. Los datos técnicos de la configuración adoptada son las siguientes:

- Modo de operación: Bobinas coplanales horizontales (Max-I).
- Separación Tx – Rx: 50 m.
- Frecuencias de operación del sistema: 110 Hz. 440 Hz y 1760 Hz.

Metodológicamente el levantamiento se ejecutó haciendo coincidir el centro del dispositivo con el punto de observación (estaca) de manera que se garantizara el máximo de precisión en las observaciones. Para garantizar mayor calidad y minimizar irregularidades en el registro de los parámetros observados producto de la influencia del relieve se asumió la convencionalidad de ejecutar el levantamiento manteniendo la posición del Transmisor Tx siempre en la dirección creciente de los puntos de observación y el Receptor Rx en la posición de retaguardia del sistema.

Toda vez que las características topográficas del área resultaron sumamente complejas para garantizar la mejor precisión de un levantamiento EM en frecuencia, se decidió asumir la distancia Tx - Rx mínima disponible para el equipo ($s = 50$ m), de manera que el efecto negativo de la topografía sobre la posición relativa de las espiras en cada momento resultase mínima, además de reducir las influencias adversas sobre el acoplamiento entre los enrollados de estas. Por su parte en la selección de las frecuencias de trabajo del sistema se decidió operar con un rango de frecuencias alternas tendiente a las menores disponibles en el sistema (110 Hz, 440 Hz y 1760 Hz) de manera que se lograra cubrir la mayor profundidad de estudio posible en compensación con la selección de la menor apertura (s) del sistema.

Levantamiento de Polarización Inducida (PI).

El levantamiento de Polarización Inducida se ejecutó utilizándose un arreglo como dispositivo de DPDP (dipolo – dipolo) con espaciamiento entre electrodos de medición (P_1, \dots, P_7) de $a = 25$ m. e igual distancia entre los electrodos de alimentación C_1, C_2 y una cantidad máxima de dipolos de medición de $n = 6$. Como electrodos de medición fueron utilizados los electrodos no polarizables “Poliakov” de fabricación rusa rellenos de una solución saturada de sulfato de cobre, mientras que como electrodos de alimentación se usaron barretas de hierro de 1.5 m de longitud. La longitud de los pulsos bipolares de la corriente fue de 2 segundos.

Como equipamiento de medición para el levantamiento de Polarización Inducida se utilizó el receptor IPR-12 Modelo 745010, No de Serie: 9211028, de la firma SCINTREX y como fuente de excitación un generador con el transmisor TSQ-3 Modelo 734010, No de Serie: 8605237 de 3 Kw. de potencia, también de la firma SCINTREX.

Las condiciones de toma a tierra tanto para los electrodos de medición como para los de alimentación fueron extremadamente difíciles, lo que hizo necesario regar con agua en cada punto de medición. Esto permitió poder disminuir la resistencia de contacto entre los electrodos y la superficie hasta valores por debajo de 10 ohm. Se consideró una medición aceptable cuando el valor calculado de la desviación estándar fuese < 1 .

RESULTADOS

Levantamiento Electromagnético en dominio de la frecuencia (FDEM).

Los registros obtenidos demostraron muy poco aporte de la componente Imaginaria del campo secundario (Im), la que en sentido general aparece bien tenue, a diferencia de la respuesta de la componente Real (Re) la cual tiende a destacar una gran cantidad de zonas anómalas en el área. De aquí que los análisis cualitativos en lo sucesivo solo se refieran a la componente en fase: Re . (Oña, R, et al, 2002).

Del análisis de los resultados del levantamiento EM, fueron seleccionadas aquellas áreas donde se evidenció buena correspondencia entre las respuestas anómalas aisladas determinadas en cada línea. Una buena cantidad de cadenas de anomalías,

reflejadas como cinturones o franjas anómalas electromagnéticas (Figura 1) pudieron correlacionarse con los resultados de PI y por lo tanto representan las más factibles a considerar.

El análisis detallado de la respuesta del campo EM permite suponer la existencia de cuerpos conductores emplazados en profundidad, distribuidos en forma de cadenas alternantes en dirección similar a la tendencia general de las estructuras geológicas en el área. La amplitud de las franjas anómalas está dada por el ancho de los potenciales cuerpos conductores, por lo que puede establecerse correspondencia directa entre tales magnitudes. Las numerosas formas en las curvas anómalas observadas nos indican la heterogeneidad y gran diversidad de posiciones de los cuerpos conductores, las diferentes geometrías, las variaciones en la profundidad de yacencia y dirección del buzamiento entre otros.

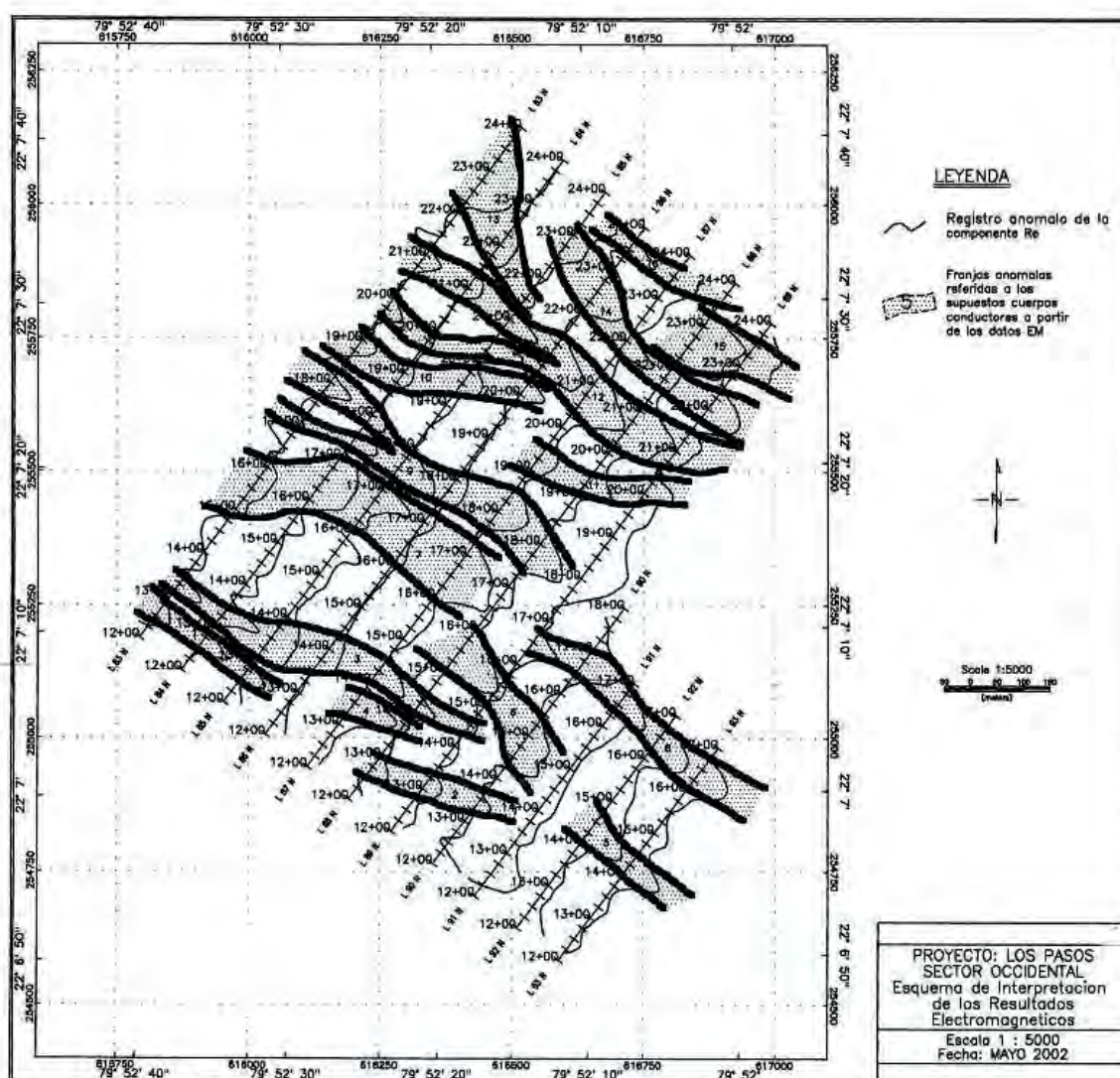


Figura 1. Esquema de interpretación de los resultados electromagnéticos

Levantamiento de Polarización Inducida (PI).

La primera valoración que se hace necesaria a la hora de analizar los resultados del levantamiento de Polarización Inducida, con solamente observar las pseudosección, es que el espaciamiento entre los electrodos de $a = 25$ m permitió solamente estudiar la parte superior de los cuerpos perturbadores y en todos los casos (excepto en el perfil L87 estaca 1650) todas las anomalías quedan abiertas en profundidad (Por ejemplo L86, estaca 1400; L84, estaca 1625; L89, estaca 1475; etc).

No obstante a lo anteriormente expresado, se establecieron dos zonas anómalas (Oña, R, et al, 2002), las cuales se caracterizan por valores altos de cargabilidad (> 20 mV/V) y valores relativamente bajos de resistividad aparente (< 200 Ohm-m). (Figura 2)

La zona 1 espacialmente se localiza en el extremo SE del sector en los perfiles L93 – L91 donde se observan valores de cargabilidad (M09) de 40 - 50 mV/V y de resistividad aparente de 61 – 252 Ohm-m. Este último parámetro incrementa sus valores en el perfil L91, pero a su vez los valores de cargabilidad disminuyen hasta valores de 16 – 19 mV/V, lo que pudiera estar relacionado con una mayor profundidad del cuerpo perturbador

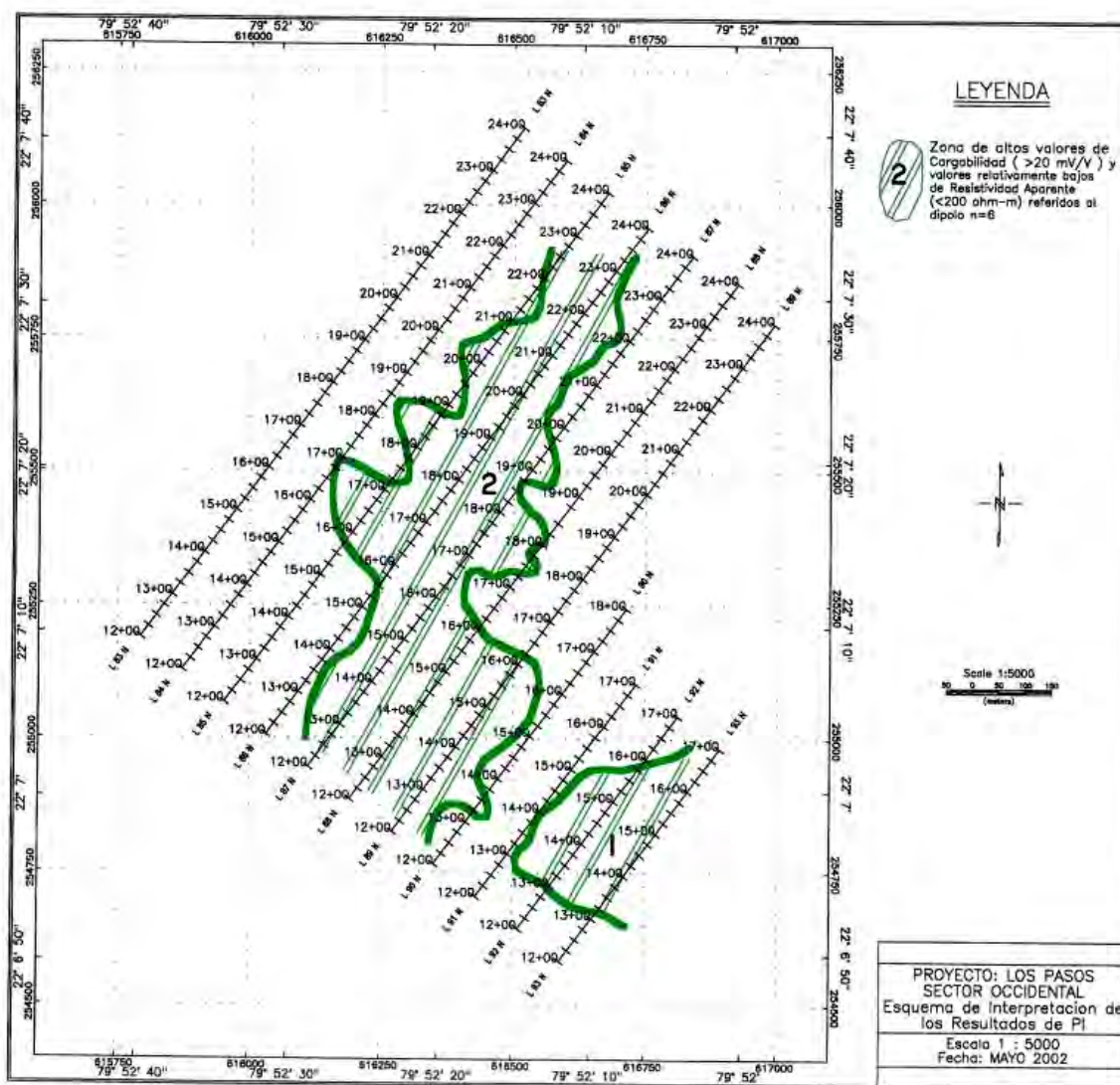


Figura 2. Esquema de las zonas anómalas de Polarización Inducida.

La Zona 2 ocupa el centro del sector y se extiende de forma longitudinal entre los perfiles L89 – L84. En esta zona también se estableció que los valores de la cargabilidad superan los 20 mV/V tanto para $n = 2$ como para $n = 6$. La resistividad aparente en esta zona tiene un comportamiento variado, pero con una tendencia a los bajos valores. Aquí se observan los valores mínimos de la resistividad aparente, asociados a los valores altos de la cargabilidad (Extremo NE de los perfiles L87, L86 y L85).

En esta zona en el perfil L89 se destaca una amplia anomalía que se extiende desde la estaca 1375 hasta la 1600, caracterizada por valores de la cargabilidad de hasta 52 mV/V y a su vez la resistividad aparente oscila entre 156 – 244 Ohm-m. Como se puede observar en la pseudosección del perfil L86, esta anomalía quedó completamente abierta en profundidad y no hay dudas acerca de la continuidad de este cuerpo en profundidad. Esta anomalía se correlaciona con la detectada en el perfil L88 entre las estacas 1350 y 1600.

En el perfil L87 (Figura 3) se detectaron 3 anomalías. La primera de ellas se localiza desde el extremo SO del perfil hasta la estaca 1500, seguidamente a esta zona anómala se observa una segunda y relativamente estrecha anomalía que se extiende desde la estaca 1550 hasta la 1725. Hay que destacar que esta anomalía está bien definida en profundidad caracterizada por bajos valores de resistividad, mientras que en la primera los valores de este último parámetro están algo incrementados (> 200 Ohm-m). Por último en este perfil en las proximidades de la estaca 1800 se detectó una anomalía, la cual su fuente perturbadora se localiza aún más profunda.

Para el perfil L86 en la Zona 2 se establece que el cuadro anómalo es algo complejo, destacándose una zona no muy bien definida entre las estacas 1550 y 1750. A partir de la estaca 1800 hasta el extremo NE del perfil se observa una extensa zona anómala la cual está abierta en profundidad y sus valores de cargabilidad oscilan entre 40 – 50 mV/V. El comportamiento de la resistividad aparente en esta parte del perfil es muy variable. Esta zona anómala que se extiende desde la estaca 2200 hasta el extremo NE de este perfil quedó abierta hacia el extremo del perfil y en profundidad. Dicha anomalía se caracteriza por valores bajos de la resistividad aparente (< 200 Ohm-m).

Para la zona 2 en el perfil L85 igualmente se observa una anomalía, la cual está abierta en profundidad y se localiza entre las estacas 1800 y 2050. Los valores de la cargabilidad (M09) aquí superan los 30 mV/V y los de la resistividad aparente 100 – 300 Ohm-m.

Por último para la zona 2 en el perfil L84 se destaca una anomalía entre las estacas 1500 y 1725, la cual se caracteriza por valores de 18 – 20 mV/V y la resistividad aparente oscila entre 170 – 200 Ohm-m.

DISCUSION

Análisis integrado de los resultados geofísicos.

Un análisis integrado de los resultados aportados por cada una de las técnicas geofísicas permite aseverar sobre la existencia en el área de franjas mineralizadas. En este análisis incluimos los resultados de un levantamiento magnético que se ejecutó con anterioridad en el área.

Según los resultados ya observados del levantamiento EM en frecuencias existe una sucesión de cadenas anómalas orientadas de manera coincidente con la dirección predominante de las estructuras del área. Una comparación entre las respuestas del campo magnético y registros EM demuestra que, aún cuando no sea de manera absoluta pero si mayoritariamente, existe una correspondencia entre los valores anómalos de R_e y valores bajos y/o mínimos de campo magnético ΔT_a . Un análisis de las características geomorfológicas del sector conjuntamente con los elementos tectónicos que aportan los datos magnéticos indica acerca de la influencia de los eventos o fenómenos disyuntivos, los que traen consigo discontinuidades y desplazamientos de los ejes en los cuerpos anómalos conductores.

Aún cuando no pueda establecerse un patrón único de comportamiento, es válido destacar la correspondencia que se observa, casi mayoritariamente entre los ejes de las franjas conductoras destacadas por EM con la forma, dirección y tendencia de los ejes anómalos magnéticos correspondientes a valores mínimos o negativos de campo magnético. De igual forma un análisis detallado de las anomalías puntuales de componente en fase del campo electromagnético secundario, permiten observar que el mayor por ciento de estas se localizan en puntos de mínimos o valores negativos de campo magnético.

Por su parte, la comparación de los resultados anteriores con los registros de Polarización Inducida permite significar que el mayor número de anomalías tiene perfecta correspondencia con la tendencia anómala de la PI (zonas de valores mínimos de resistividad y máximos de cargabilidad). (Figura 4).

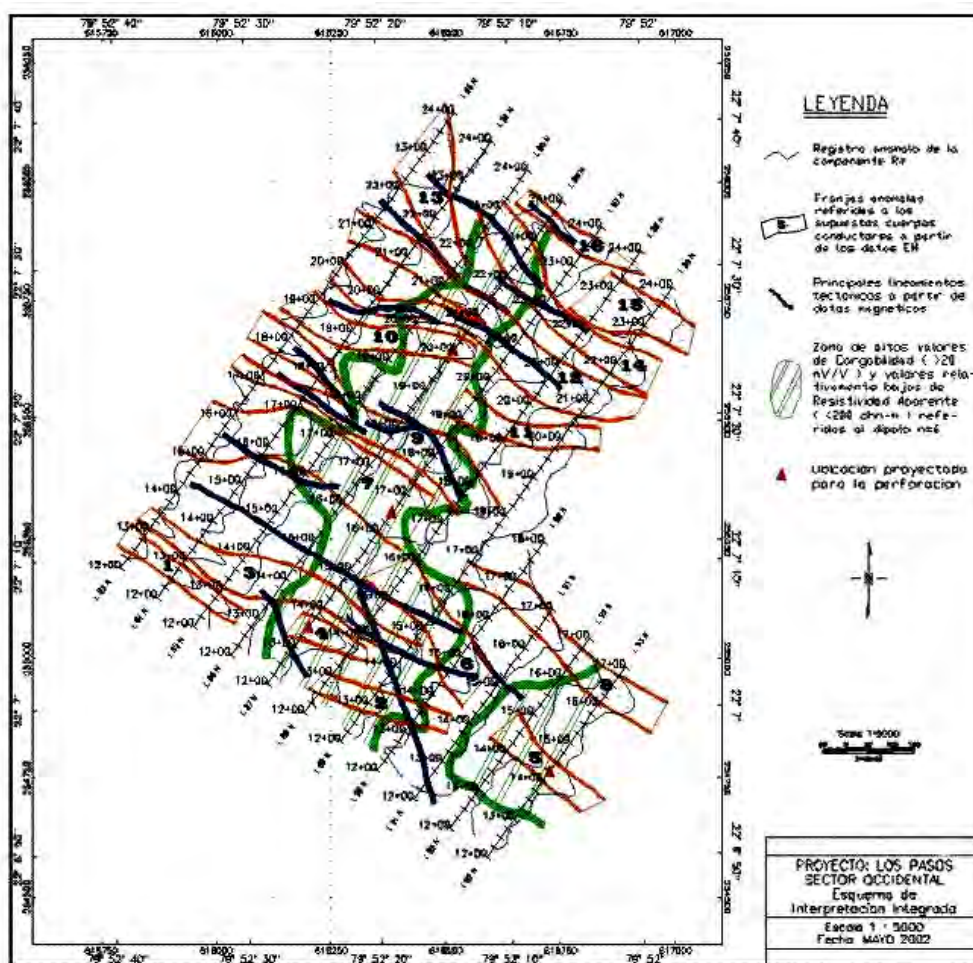


Figura 4. Mapa de la interpretación integrada de los resultados geofísico

Si recordamos que en la PI el espaciamiento entre los electrodos de $a = 25$ m, solo permitió estudiar la parte superior de los cuerpos perturbadores y que por tanto, un gran número de éstas podrían considerarse abiertas en profundidad, tendríamos un atenuante de peso en la interpretación de los resultados geofísicos. Sin embargo los resultados de PI corroboran la posibilidad de estar en presencia de cinturones mineralizados.

Independientemente de que la interpretación de PI resumió dos grandes zonas, las cuales se caracterizan por valores altos de cargabilidad (> 20 mV/V) y valores relativamente bajos de resistividad aparente (< 200 Ohm-m). Procederemos a efectuar el análisis de manera puntual en el perfil L87, ya que este perfil atraviesa longitudinalmente la zona anómala 2 de Polarización Inducida.

En este perfil se destacan 3 zonas anómalas de PI (Figura 3). La primera de ellas se localiza desde el extremo SO del perfil hasta la estaca 1500. Esta situación queda definida por datos EM al evidenciarse una sucesión de 2 anomalías locales muy marcadas de hasta -65% de R_e (por su geometría pudiesen representar el reflejo de dos cuerpos tabulares muy cercanos uno del otro) entre las estacas 1325 – 1450 donde aparecen las franjas electromagnéticas anómalas No 4 y No 3 respectivamente.

Seguidamente a la zona anómala anterior, se observa una segunda que se extiende desde la estaca 1550 hasta la 1725, precisada por datos EM entre las estacas 1600 y 1725, donde aparece una zona de valores bajos de campo magnético. Hay que destacar que esta anomalía está bien definida en profundidad y caracterizada por bajos valores de resistividad, mientras que en la primera los valores de este último parámetro están algo incrementados (> 200 Ohm-m). Por último en este perfil en las proximidades de la estaca 1800 se detectó una tercera anomalía, la cual su fuente perturbadora se localiza aún más profunda, pero es destacada por la respuesta EM y coincidente con bajos valores de ΔT_a en esa misma posición.

Los resultados de las mediciones de Polarización Inducida en este perfil fueron sometidos a un modelaje de inversión que se representa en la Figuras 6 (solo se incluye el modelo de inversión de la cargabilidad). Se puede observar el posible cuerpo perturbador de las anomalías geofísicas, el cual fue verificado con el pozo de perforación LP-1 de una profundidad de 88.0 m, azimuth 40° e inclinación 60° .

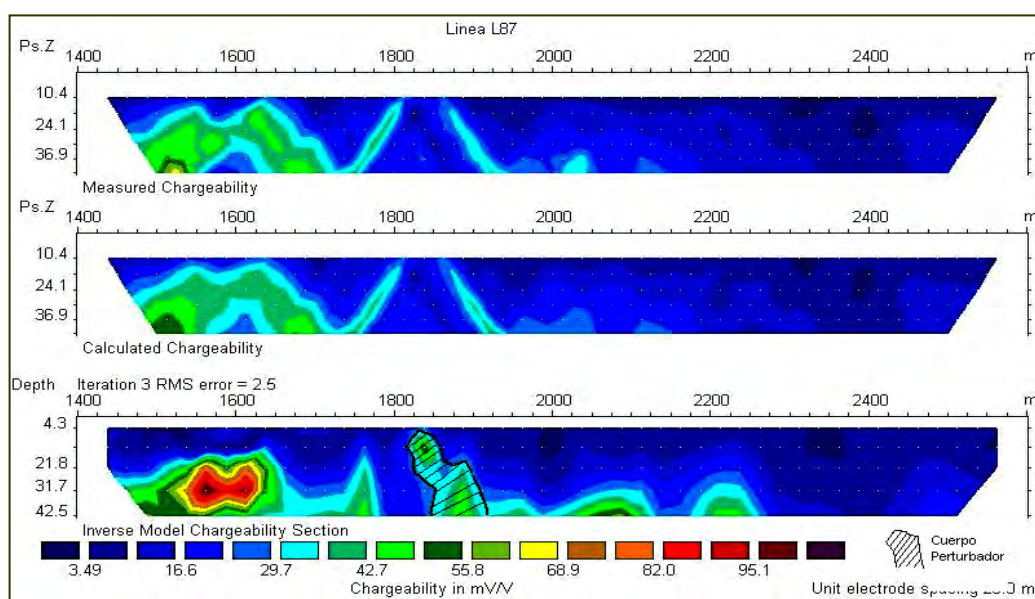


Figura 5. Modelo de Inversión de la Cargabilidad (M09) para perfil L87

Este pozo interceptó una zona mineralizada de 6.5 m. de espesor, con sulfuros hasta 30%, constituida por pirita diseminada y en vetillas de hasta 3 cm. y calcopirita diseminada y en vetillas finas 1-3% y traza de esfalerita. El contenido máximo de Cu alcanza hasta 1.52% (Gallardo, E. et al, 2002).

CONCLUSIONES

Las aproximaciones sucesivas, a partir de los resultados de uno y otro método geofísico ejecutado permiten esclarecer el cuadro regional posibilitando establecer indicadores de factibilidad para algunas zonas dentro del Sector.

De manera que en orden de prioridades y a juzgar por los resultados que se plasman en el esquema de interpretación integrada de los resultados geofísicos (Figura 5) y del modelo de inversión (Figura 6) se planificó la perforación de un pozo de verificación sobre una de las anomalías geofísicas coincidente con una zona de alteración hidrotermal en el perfil L87, justamente en la estaca 1650.

Se recomienda realizar perforaciones en otras zonas de anomalías geofísicas con características similares (valores altos de cargabilidad, bajos valores de resistividad aparente, coincidente con eje conductor).

Así mismo se hace necesario cubrir hacia los extremos Este y Oeste del Sector con las técnicas geofísicas empleadas, ya que las anomalías quedaron abiertas en estas direcciones.

BIBLIOGRAFIA

- Díaz de Villalvilla, L., et al., 2001. Petrología de las secuencias volcánicas de Cuba Central y su mineralización asociada. Proyecto de investigación 302. IGP.
- Dublan, L, et. Al., 1987. Informe final del Levantamiento Geológico y Evaluación de los minerales útiles a escala 1:50000 del polígono CAME-I. Zona Centro. ONRM. Inédito.
- Gallardo, E., et. Al., 2002. Informe del TTP Generalización geológica y pronóstico metalogénico de la formación Los Pasos. ONRM.
- Oña, R., J.L. Chang, A. Oviedo. 2002. Informe sobre el levantamiento geofísico integrado: Magnetometría, Electromagnético (FD), Polarización Inducida. Proyecto Los Pasos. Sector Occidental. ONRM.
- Van Blaricom R. 1992. Practical Geophysics II for the Exploration Geologist. Northwest Mining Association. USA: 569 p.

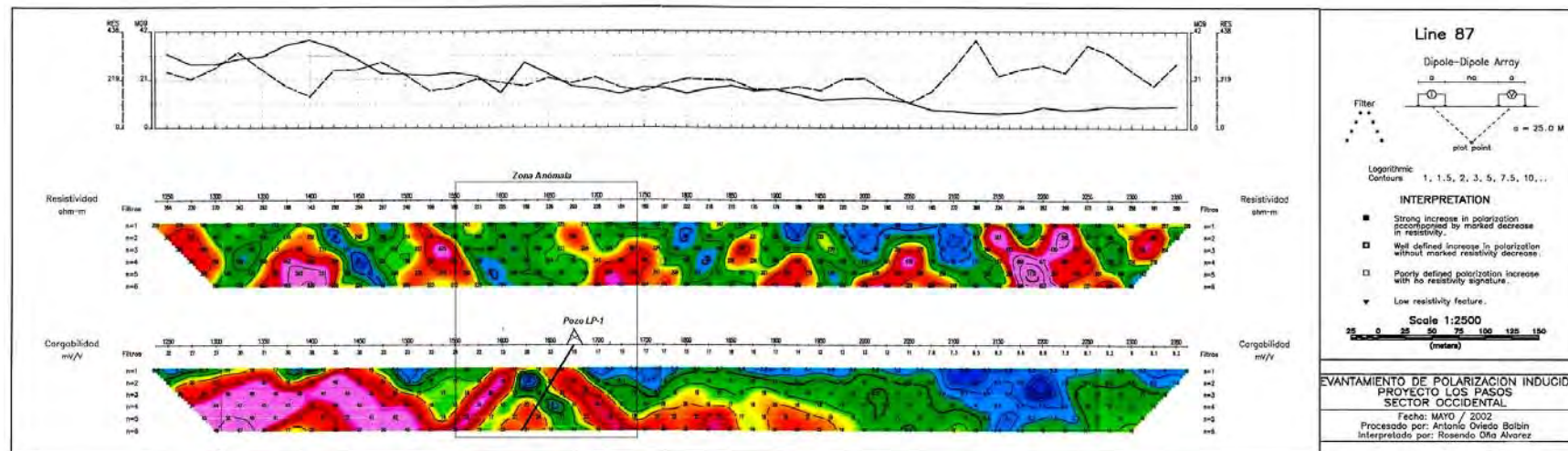


Figura 3: Pseudosección de Resistividad Aparente y Cargabilidad (M09) del perfil L87



EMPLEO DE LA SÍSMICA SOMERA SUBACUÁTICA EN EL ESTUDIO DE BANCOS DE ARENAS.

Nolberto Zaldívar Portelles⁽¹⁾, José L. Cordovés Pedrianes⁽²⁾.

(1) *Empresa de Proyectos e Investigaciones, Carretera Central Vía a Bayamo Km 2 1/2, Holguín.*

(2) *Grupo de Estudios Regionales del Centro de Ingeniería Tecnología y Consultoría de Oriente, Carretera Central Vía a Bayamo Km 2 1/2, Holguín.*

RESUMEN

El trabajo consistió en el empleo de la Sísmica Somera Subacuática dentro del conjunto de métodos que formaron parte del **Proyecto de Exploración de Bancos de arenas como fuente de préstamos para la recuperación de la Playa Guardalavaca**. El objetivo del mismo fue la localización de bancos de arenas a una distancia no mayor de 20 Km de la Playa Guardalavaca, en la Provincia Holguín, a una profundidad no mayor de 20 m, con características granulométricas, colorimétricas y con los volúmenes necesarios para la recuperación de la referida playa.

Inicialmente el Grupo de Estudios Regionales (**GER CITEC**), siguiendo los criterios de selección establecidos por **UICOS CITMA**, desarrolló la etapa de selección y caracterización de los posibles candidatos a bancos de préstamos. Una vez vencida esta etapa que incluyó muestreos superficiales, posicionamiento topográfico y análisis de laboratorio (granulométrico y calorimétrico), se procedió al estudio de detalle de los bancos seleccionados mediante la sísmica de refracción subacuática y la perforación.

Lo complejo del medio en que desarrollamos este trabajo exigió de la proyección de variantes e instalaciones ajustadas y concebidas como las más efectivas. Para la realización de los trabajos se utilizó el método de refracción sísmica, excitando la señal mediante pequeñas cargas explosivas y registrándola con la estación sísmica de 24 canales Terraloc de fabricación sueca.

Como resultado de los procesamientos y de la interpretación efectuada se obtuvieron los perfiles de velocidad para cada una de las áreas estudiadas, logrando una buena correspondencia con los datos de las calas, estableciéndose los rangos de velocidades en cada una de ellas que caracterizan tanto a las arenas como al sustrato rocoso. Con estos datos se pudo calcular los volúmenes de arena de los bancos estudiados y comprobar que satisfacen la demanda para la recuperación de la playa. La conclusión principal a la que llegamos con este trabajo es la siguiente: Es posible utilizar el método de sísmica somera subacuática para el estudio de bancos de arenas, siguiendo la metodología en los trabajos de campo y gabinete utilizada en este trabajo. La tarea mejor resuelta por el método es el establecimiento de la frontera entre la capa de arena y el sustrato rocoso por el contraste de velocidades que éste ofrece.

ABSTRACT

The research consisted in the employment of the Subaquatic Sismic shallow within the amount of other methods used in the project of investigations as a means to recover Guardalavaca beach. The main objective of this research was the localization of sandbank, at a distance no greater than 20 km away from the refered beach, at a depth no greater than 20 m with granulometrics appearance, colorimetric and with the necessary volume for the recovery of this beach.

The Regional Group of Study (GER CITEC) following the necessary criteria of the study different types of sand established by (UICOS CITMA) entity carried out a first selection stage as well as characterization of the possible candidates of sandbank. Once this first stage was carried out which included superficial

samples taking, topographic positioning, and lab analysis of such samples taken. A second stage was also carried which included a detailed study the selected sandbank though the use of subaquatic seismic refraction and perforation methods.

Since the environment of this investigation was too complex new variants and adjusted installations were conceived as the most effective. In order to develop our investigation the seismic refraction method was used exciting the signal using small explosive charges measuring then in the Terraloc seismic station from Sweden origin.

When processing and interpreting the data in this investigation speed sections were obtained for each studied area, achieving a good correlation with the parameter of the perforation; and establishing the different areas speed sections characterized other by the sand or the rock substrate. With all this data, it was possible to calculate the different sand volume of the different areas, and verify that such studied areas satisfy the demand for the recovery of Guardalavaca beach.

The final conclusion of this investigation is the following: It is possible to use the subaquatic seismic method for the study of sandbank but always following field and laboratory methodology indicated in this investigation. The best results obtained when establishing the limits between the sand layer and rock substrate dev to the speed velocity contrast it provides.

INTRODUCCION

El presente trabajo surge a propuesta del Grupo de Estudios Regionales del CITEC-Ote, el mismo consistió en emplear el método de Sísmica somera, en el estudio y caracterización de bancos de arenas con fines de rehabilitar la playa Guardalavaca, ubicada en el polo turístico de igual nombre y de gran importancia económica para la provincia de Holguín y nuestro país.

En la ejecución de los trabajos se utilizó el método de refracción sísmica, el mismo tuvo apoyado por una serie de trabajos que desarrolló el GER-CITEC los que incluyeron técnicas de fotointerpretación para la localización de los posibles candidatos a bancos de préstamos, el muestreo superficial para los análisis de laboratorio (granulométricos y colorimétricos), así como el posicionamiento topográfico de las áreas de estudio, y por los trabajos batimétricos realizados por GEOCUBA Santiago y de perforación ejecutados por la ENIA Habana.

Los trabajos se desarrollaron durante el año 2001 y fueron ejecutados por el Grupo de Estudios Regionales del Centro de Ingeniería, Tecnología y Consultoría de la UCM (GER-CITEC-Ote) y por la Empresa de Proyectos e Investigaciones de Holguín (EMPI-Holguín).

En este trabajo se explican las metodologías utilizadas en la realización de los trabajos de campo, en el procesamiento, análisis e interpretación de la información. Se ofrecen además los principales resultados alcanzados y las conclusiones a que se arribaron.

MATERIALES Y METODOS.

El trabajo se dividió en distintas etapas y dentro de ellas se desarrolló un conjunto de tareas de forma tal que se racionalizaran los estudios.

Se definió la tarea para una necesidad de 200 000 m³ que luego fue modificada a 300 000 m³, para dar respuesta se tomó como primera aproximación la magnitud mínima para considerar un banco como candidato a banco de préstamo de arena de 20000 - 30000 m³ debido a criterios prácticos de búsqueda.

Los trabajos se planificaron hasta una distancia de aproximadamente 20 km al este de la Playa Guardalavaca como zona probable de ubicación de los candidatos a bancos de préstamos. En la figura 1 se puede apreciar la ubicación del sector costero propuesto para el estudio.

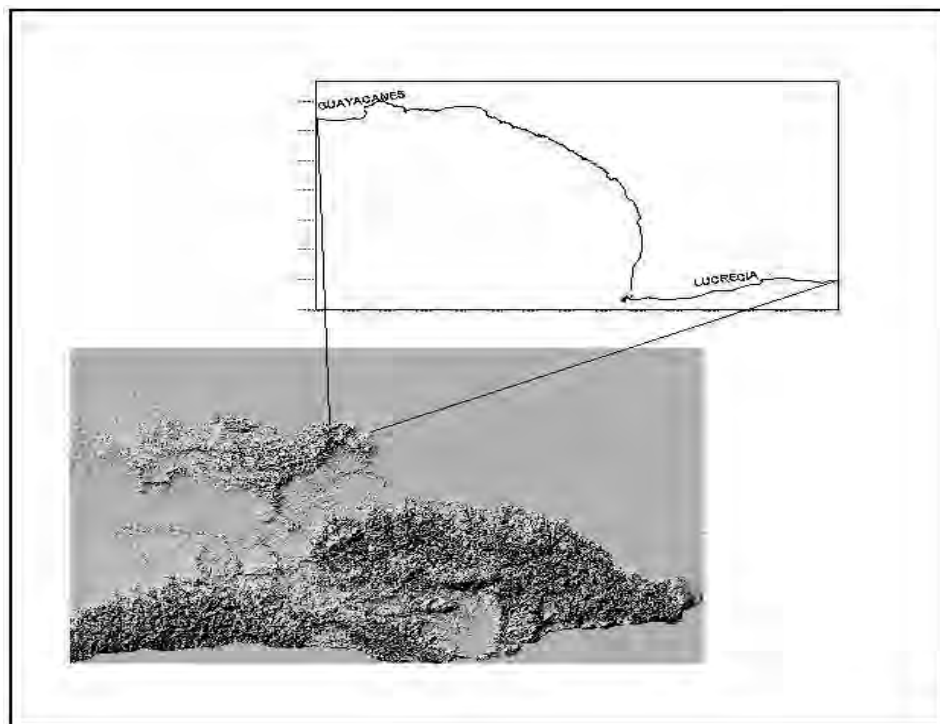


Figura 1. Ubicación geográfica del sector del litoral analizado

Dentro de cada una de las etapas se desarrollaron un conjunto de trabajos algunos de los cuales se repiten en distintas fases del proyecto, aunque los volúmenes y representatividad de los resultados se van incrementando de una etapa a otra las técnicas principales son comunes.

Muestreo superficial: Se realizaron mediante buceo autónomo, amarradas topográficamente mediante GPS Promark X. Las muestras fueron tomadas en bolsas de nylon las cuales se llenaron en la profundidad logrando sellar dicha bolsa antes de la emersión logrando impedir el escape de las partículas más finas.

Posicionamiento topográfico.

Este se realizó empleando el equipo Promark X el cual es un receptor GPS topográfico de precisión centimétrica.

Para el posicionamiento preliminar de las zonas de interés se utilizó posicionamiento autónomo con precisiones ± 25 m. En la ubicación de los puntos para la geofísica se obtuvieron precisiones de ± 2 m así como para la ubicación de los puntos de perforación, no requiriendo mayores exactitudes si tenemos en cuenta lo difícil que resulta la señalización en el mar por intervalos de tiempo relativamente prolongados.

Para la ubicación de los cabezos más importantes así como la delimitación de las fronteras de los bancos se empleó el método móvil logrando exactitudes similares.

Para garantizar cobertura de posicionamiento cerca de las zonas de interés se realizó una base planimétrica con dos puntos de control con precisión submétrica en Lucrecia y Guayacanes los cuales fueron empleados en el levantamiento batimétrico realizado por GEOCUBA-Sur.

Análisis de laboratorio (Granulométrico). Este tipo de análisis se realizó en los laboratorios de la ENIA-Holguín y INRH. Los resultados fueron obtenidos en forma numérica y gráfica, con estos valores se creó una base de datos granulométricos.

Para realizar las comparaciones entre las características granulométricas de la playa y los posibles bancos detectados, el cliente nos brindó los análisis de varias muestras de la referida playa las cuales fungen en este caso como patrones para la búsqueda.

Análisis de laboratorio (Colorimétrico) .Para definir la factibilidad de las arenas desde el punto de vista colorimétrico se tomaron muestras de la Playa Guardalavaca como patrón ideal y muestras de la Playa Donlino como patrón negativo, el objetivo de este análisis es definir de forma semicuantitativa el parecido entre las arenas en la Playa y el de las arenas a verter en un futuro.

Etapas de factibilidad preliminar y elección de los candidatos a bancos de préstamos.

Teledetección.

Esta se efectuó para ubicar zonas posibles de acumulación de sedimentos (arenas), unido al mapa escala 1:25 000 del ICGC y al modelo digital del terreno elaborado de este sector de costa.

Para el análisis se partió del concepto de interpretar las zonas de posible desarrollo de los bancos de arenas como zonas de tonos claros en las imágenes pancromáticas además de criterios geomorfológicos y geológicos en la zona del litoral que pudieran dar indicios de constituir zonas de acumulación de sedimentos (arenas).

Las fotos empleadas fueron del vuelo cartográfico de 1999-2000 con formato 23x23 cm de tipo pancromáticas las cuales fueron referenciadas con el mapa topográfico 1:10 000.

Las imágenes fueron clasificadas por el método del vecino más cercano empleando puntos de control radiométrico como semillas de clasificación ubicadas en el terreno con GPS Promark X en tipo de posicionamiento autónomo con precisión +/- 25 m. Para este procesamiento se empleó el programa TNESTUDIO de GEOCUBA. De esta forma se ubicaron un conjunto de zonas dentro del sector del litoral donde probablemente se desarrollan fuentes de sedimentos.

Verificación de campo y toma de muestras.

Con los resultados de los métodos indirectos se realizaron visitas de campo de las zonas de mayor probabilidad de ubicación de fuentes de sedimentos, para ello se realizó la ubicación con GPS de las áreas identificadas y mediante buceo autónomo se exploraron definiendo las características principales de los bancos detectados tales como: tamaño, morfología del banco, se realizó un muestreo superficial de estos y las muestras obtenidas fueron analizadas en el laboratorio desde el punto de vista granulométrico y colorimétrico.

De los análisis de laboratorios y la inspección visual de las zonas identificadas se seleccionaron los candidatos a bancos de préstamos.

Como un método auxiliar en esta etapa se consultó a los pescadores submarinos de la zona sobre las más propensas a tener mayores volúmenes de arenas.

Etapas de estudio preliminar de la geometría de los candidatos a bancos de préstamos.

El objetivo de esta etapa es la interpretación preliminar de las dimensiones del banco y de esta forma evaluar el volumen aproximado de arena en la zona de estudio.

Además la definición de la variabilidad de los espesores de sedimentos así como la dirección de la máxima variabilidad lo cual sirvió para planificar la investigación de detalle. Se realizaron en esta etapa muestreos superficiales en mayor número, 10 por cada zona estudiada.

Para la medición de los espesores fue empleada la sísmica de refracción por la siguiente metodología:

El **método de la sísmica de refracción** por su principio de trabajo cumple un conjunto de requisitos que lo hacen de gran uso en estos trabajos:

- El método brinda buenos resultados en medios donde **la velocidad aumenta con la profundidad**, y existe un **contraste** definido en la frontera entre dos capas, en este caso la **arena y la roca**. Por estudios realizados anteriormente es conocido que el corte característico de los bancos de arena presenta una transición de arenas desde fina hasta gruesa depositadas sobre la roca. Las arenas según la granulometría varían sus valores de velocidad en un rango entre 1000-2000 m/s, valores entre 2000-3000 m/s se asocian a arenas con alto grado de impurezas (corales, fragmentos de roca, etc.) y valores superiores a los 3000 m/s con el sustrato rocoso.
- Es un **método preciso** para la delimitación de las distintas capas de sedimento con control en la velocidad.
- Permite realizar una **red mucho más densa** que el método de perforación y por tanto definir con mayor exactitud la geometría del depósito.

Primeramente el/los buzo realiza una exploración del banco para definir su geometría, o sea, el ancho y largo del banco por los centros de estos de forma tal que sea posible de primer momento explorar los perfiles centrales tanto longitudinal como transversal al banco.

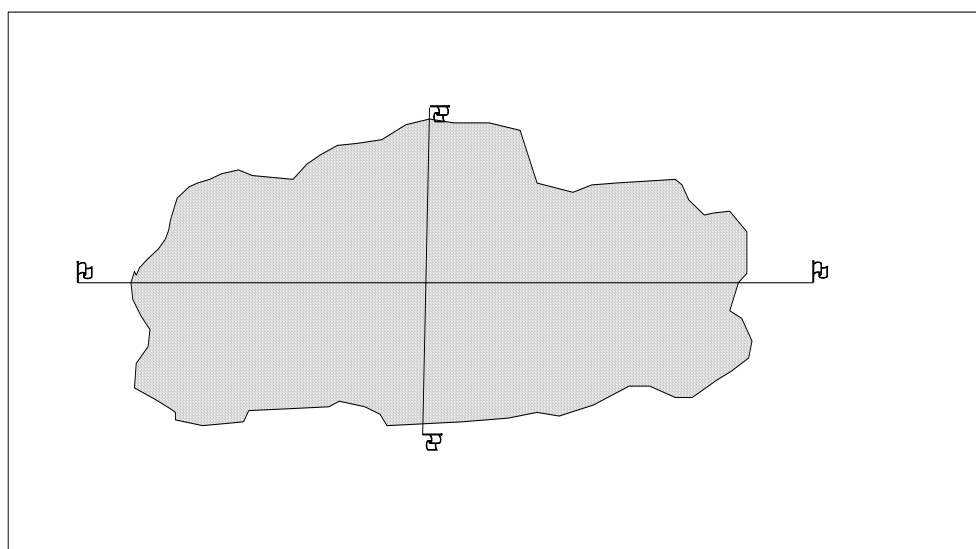


Figura 2. Perfiles principales por los ejes longitudinal y transversal del Banco.

En los extremos de ambos perfiles se situaron señalizaciones con boyas las cuales fueron **amarradas topográficamente** con el GPS.

Esta interpretación fue realizada de forma expedita y su objetivo fundamental estuvo encaminada a evaluar preliminarmente el volumen del posible Banco de préstamo para lo cual una vez extraídos los tiempos de arribo de la onda refractada en las primeras entradas se interpretó utilizando el método de **to**. Este estudio fue realizado para los perfiles cruzados determinando la **potencia media del depósito**, esta información permitió **evaluar la variabilidad de la superficie de contacto roca- sedimento** y con esto orientar sobre la cantidad de perfiles de relleno necesarios así como la dirección de estos para lograr una interpretación final mucho más efectiva desde el punto de vista resolutivo así como desde el punto de vista económico.

De utilizarse una **PC** en esta etapa es posible emplear otros métodos de interpretación automatizados como **Velocidad de Estratos** y **Penetración del rayo sísmico** logrado mejores resultados.

La distancia entre los distintos perfiles y la dirección de ejecución de estos deberá depender de la forma de la superficie que define la frontera roca sedimento. Es lógico pensar que entre más "**suave**" sea dicha frontera, la densidad de las observaciones podrá ser mucho menor que en el caso de ser abrupta.

El **método de perfiles cruzados** permite juzgar sobre la forma de dicha superficie con un paso muy próximo al mínimo posible para el caso extremo si tenemos en cuenta que el proceso de formación del Banco de Arena define por lo general, fronteras bastantes suaves.

La distancia de $dx = 5$ m entre los geófonos no solo va a depender de la variabilidad de la superficie tanto vertical como lateral, sino también del método de refracción sísmica, debido a que la profundidad de investigación en este método es aproximadamente 3 veces la longitud de la puesta lo que implicaría en este caso una profundidad máxima de investigación de 15 m. Teniendo en cuenta la relación costo beneficio y los principios antes citados será posible en cada caso elegir la distancia óptima.

Definida ya la frontera en los perfiles cruzados fue necesario definir como evaluar el concepto "**suave**" de esta y luego en función de estos resultados determinar el **dx** entre los perfiles de relleno y la dirección de la ejecución de los trabajos.

Dada la potencia media estimada para el banco se determino el coeficiente de variación del valor medio con respecto a cada uno de los datos puntuales obtenidos, a partir de este valor es posible determinar la distancia optima entre los puntos a determinar utilizando la siguiente expresión:

$$Dx = \frac{L}{n-1}$$

siendo:

$$n = \frac{Cvt}{\delta}$$

donde:

Cv coeficiente de variación.

Dx paso de muestreo.

δ error permisible 10%

L longitud de la puesta

t coeficiente de student para una probabilidad de 0.98.

La dirección del muestreo deberá ejecutarse en forma perpendicular a la variabilidad máxima por los perfiles cruzados. Esto quiere decir que se calculará el coeficiente de variación referido al valor medio total del banco para cada perfil y de la comparación de ambos valores se definirá la dirección correcta.

Etapas de estudio de detalle.

El objetivo de esta etapa es el de obtener la información detallada del banco de préstamo para de esta forma poder evaluar las reservas disponibles con las características necesarias de forma tal que se logre la compatibilidad suficiente con los sedimentos de la playa.

Para la realización de estos trabajos se partió del conocimiento adquirido en las etapas precedentes llegando a la confirmación de los resultados obtenidos como un proceso iterativo de incremento gradual de información.

Esta etapa contempla:

Levantamiento batimétrico de las zonas probadas hasta valores de profundidades de 20-25 metros (estos valores fueron resvalantes durante la ejecución del proyecto pues se fue ajustando las tecnologías apropiadas y posibles de extracción de las arenas según UICO). Estos trabajos fueron desarrollados por GEOCUBA-Sur a este levantamiento fue necesario incorporar los afloramientos rocosos del fondo (cabezos) los cuales son de gran significado para el cálculo definitivo de los volúmenes disponibles.

Sísmica de refracción de detalle: Esta tarea fue ejecutada por la EMPI-FAR, el objetivo de esta es establecer los perfiles de velocidad en las distintas direcciones proyectadas a partir de los resultados de las investigaciones precedentes.

Se determinó la red óptima para los trabajos evaluados para áreas de 1ha con perfiles separados cada 20 m con puntos de observación cada 10 m, ejecutando 6 perfiles de 100 m de longitud, realizando dos puestas para cada uno con distancia entre receptores de 5 m y puntos de excitación cada 12.5 m llegando a la cantidad de 12 puestas con 5 tiros por cada hectárea investigada, la excitación se realizó por medio de explosivos. (ver Anexos 1 y 2).

Para la recepción de las señales sísmicas fue empleada la planta sísmica **TERRALOC** de **ABEM**.

Perforación: se realizó por ENIA-Habana según la tarea técnica realizada por CITEC, además de brindar información de tipo directa sobre las potencias de los sedimentos, garantiza el muestreo con la profundidad para la realización de los análisis granulométricos y proporciona los datos de calibración para la interpretación definitiva de los resultados de la sísmica de refracción.

RESULTADOS Y DISCUSION.

Interpretación de los perfiles de velocidad: El procesamiento de la información primaria de campo se llevó a cabo con el empleo de algunos sistemas automatizados confeccionados para tal fin y otros que se diseñaron para las situaciones específicas y que se corresponden con técnicas físico-numéricas ajustadas a estas condiciones tabla I:

Tabla I. Algunos de los sistemas empleados

PROGRAMAS	FUNCIONES
LEETERRA	Permite la comunicación digital entre la planta de registro sísmico y la micro-computadora.
SPIDIM, VERDAT	Exhibición del sismograma, su procesamiento digital. Extracción de tiempos de arribos. Confección de hodógrafos. Cálculo de espesores y

	velocidades.
SIS-SAP, SISM.	Confección de hodógrafos. Cálculo de espesores y velocidades
VELOCESTRAT	Diseña el corte de isovelocidades. Posibilita su procesamiento como imagen.
RADI	Permite realizar la ecualización de los perfiles de isovelocidades
STATISTICA	Análisis estadístico de datos primarios y geofísicos.
SURFER	Procesamiento y representación gráfica de la información.

Los modelos matemáticos empleados fueron los de Velocidad de Estratos, Tiempos Recíprocos (To).

Los registros tomados de forma digital fueron mejorados en el sistema VERDAT y se obtuvieron luego los valores de los tiempos de las primeras entradas, confeccionando los hológrafos, los cuales fueron exportados al sistema SIP-SAP interpretándose por el método de To y Velocidad de estrato obteniendo las valores de la velocidad de las ondas sísmicas en la profundidad, con estos datos se corrió el programa VELOCIDADESTRATO que unido al sistema SURFER permite obtener el modelo digital de la velocidad con la profundidad a lo largo de los perfiles. Obtenidos como imágenes fueron ecualizados RADI y procesados para separar las distintas fronteras las cuales fueron calibradas con los resultados de las perforaciones.

Obtenidos los valores de velocidad de las ondas sísmicas en las capas fronteras se realizó el escalado de cada perfil a los valores de coordenadas (X, Y) y profundidad para la capa investigada pudiendo generar en el SURFER la superficie piso del yacimiento de arena.

En cada uno de los perfiles se obtuvieron los valores de las velocidades de las capas de sedimentos por el método de velocidad de estrato y con estos valores se obtuvieron los modelos digitales de velocidad de las distintas capas por perfiles, con discretización de la información con paso de 0.5 m. Los modelos así obtenidos se procesaron por el método de ecualización detectando variaciones de velocidades contrastantes. Los límites de las capas así detectadas fueron relacionados con los valores de las perforaciones reducidas a los perfiles de investigación por el método del vecino más cercano.

En los anexos 3 y 4 se muestran los resultados para los perfiles obtenidos en el banco de Guayacanes y en los anexos 5 y 6 los del banco de Punta Gorda.

De esta interpretación se obtuvo la velocidad de 1868 m/s como la que mejor ajusta la frontera inferior de la capa de grano fino a medio de color crema a rosado.

Para cada uno de los perfiles investigados se obtuvo la curva que representa en el espacio la frontera de isovelocidad 1868 m/s refiriendo los valores (Dist,Prof) de dicha frontera, este fichero fue convertido en (X,Y,Profundidad) utilizando las coordenadas iniciales y finales de cada perfil investigado, la suma de todos los tríos de coordenadas para cada uno de los bancos se utilizó para generar la superficie de límite inferior del yacimiento y la superficie superior del yacimiento fue obtenida de la batimetría para la misma área y con idéntico paso de muestro de 0.5 m.

La resta de ambos modelos digitales permitió determinar el mapa de isopacas de las arenas para ambos bancos(ver anexos 7 y 8).

Los valores de potencia de la capa de arenas finas a medias, de las perforaciones en su posición real fueron evaluados en los mapas de isopacas en cada uno de los bancos obteniendo los siguientes resultados.

Tabla II. Errores de estimación de la potencia Banco Guayacanes

CALA	X	Y	POTENCIA(m)	ERROR(m)
Cala 1	612714	274581	3.2	0.0
Cala 2	612668	274588	2.0	0.0
Cala 3	612638	274721	2.7	0.4
Cala 4	612512	274705	3.8	0.1
Cala 5	612617	274759	3.1	0.0

Tabla III. Errores de estimación de la potencia Banco Punta Gorda

CALA	X	Y	POTENCIA(m)	ERROR(m)
L1	623694	269041	3.6	0.1
L2	623598	269001	2.2	0
L3	623530	269102	2	0

Los valores así obtenidos satisfacen los requerimientos de la investigación.

Cálculo de los volúmenes de arena.

Los cálculos de volumen se ejecutaron mediante el sistema SURFER utilizando el modelo digital del piso del yacimiento, obtenidos con el empleo de los datos de sísmica de refracción calibrada con los resultados de las perforaciones, y el modelo digital del techo del yacimiento obtenido con los resultados del levantamiento batimétrico.

Tabla IV. Volúmenes de los bancos para profundidad menor o igual a 25 m.

Banco	Area m ²	Volumen m ³
Guayacanes	25164.74	100680.47
Punta Gorda	30434.26	115495.89
Total	55599.00	216176.36

CONCLUSIONES.

1. Se detectaron dos zonas ubicadas en la ensenada de **Guayacanes** y la otra en **Punta Gorda** que cumplen con la condición de cercanía a la Playa Guardalavaca, siendo posible su utilización como material de préstamo para la referida playa.
2. De los muestreos realizados se comprobó que las características colorimétricas y granulométricas son muy similares a la de la Playa Guardalavaca. En cuanto a la colorimetría ambos bancos son muy similares, y la granulometría (mediana) en el banco de Punta Gorda es ligeramente superior a los valores maestreados en la Playa por lo que es de mayor conveniencia atendiendo a los cálculos de compatibilidad.
3. El banco de Punta Gorda es de mayor conveniencia en cuanto a los recursos del yacimiento sobre todo hasta la limitación de la tecnología de 25 m de profundidad.

4. Se realizaron trabajos de sísmica de refracción, perforación y batimetría lo cual permitió definir la reserva como:

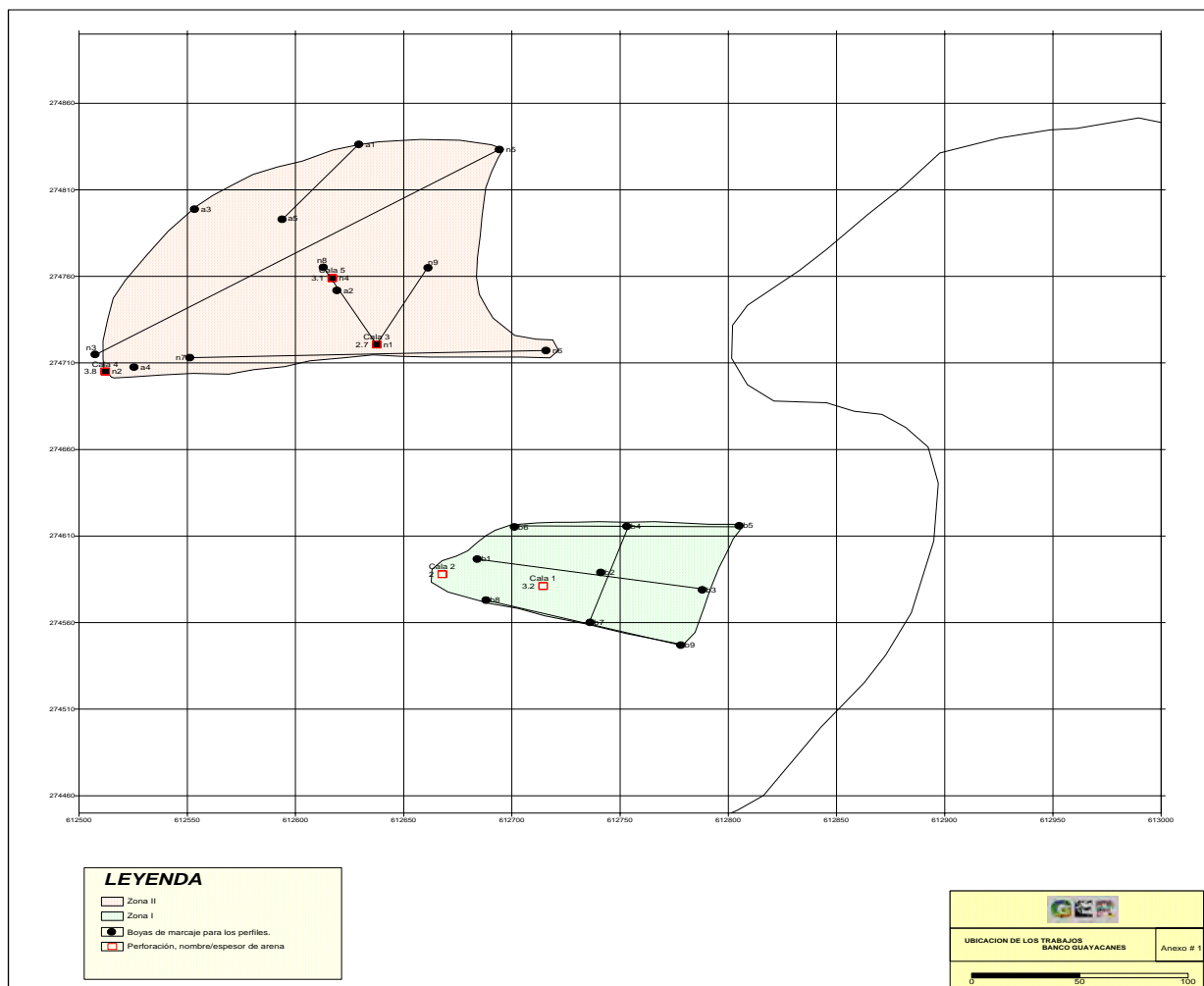
Banco	Área m ²	Volumen m ³
Guayacanes	25164.74	100680.47
Punta Gorda	30434.26	115495.89
Total	55599.00	216176.36

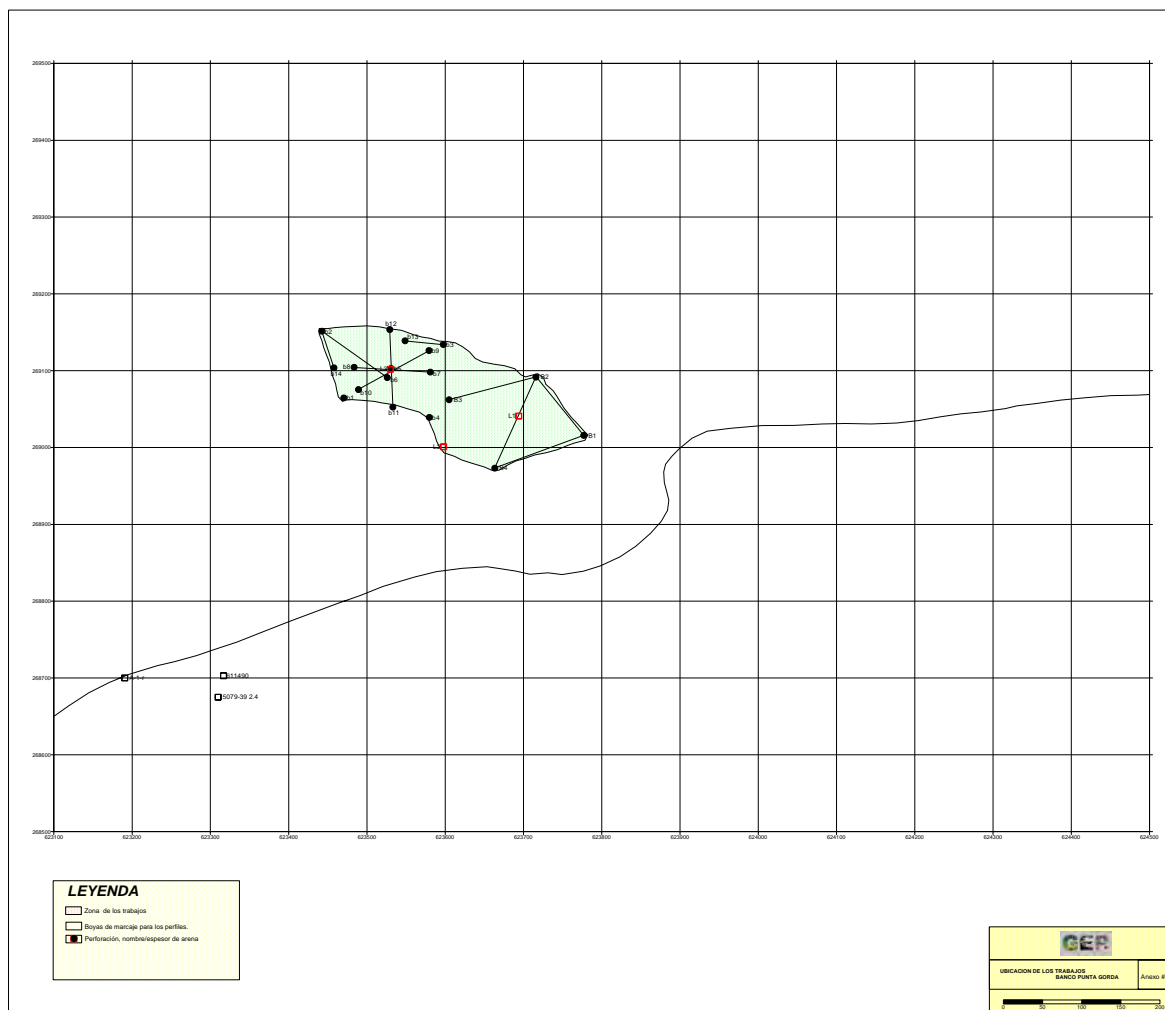
5. La zona de ubicación de los bancos no ofrece problemas en la maniobra para la ejecución del dragado.

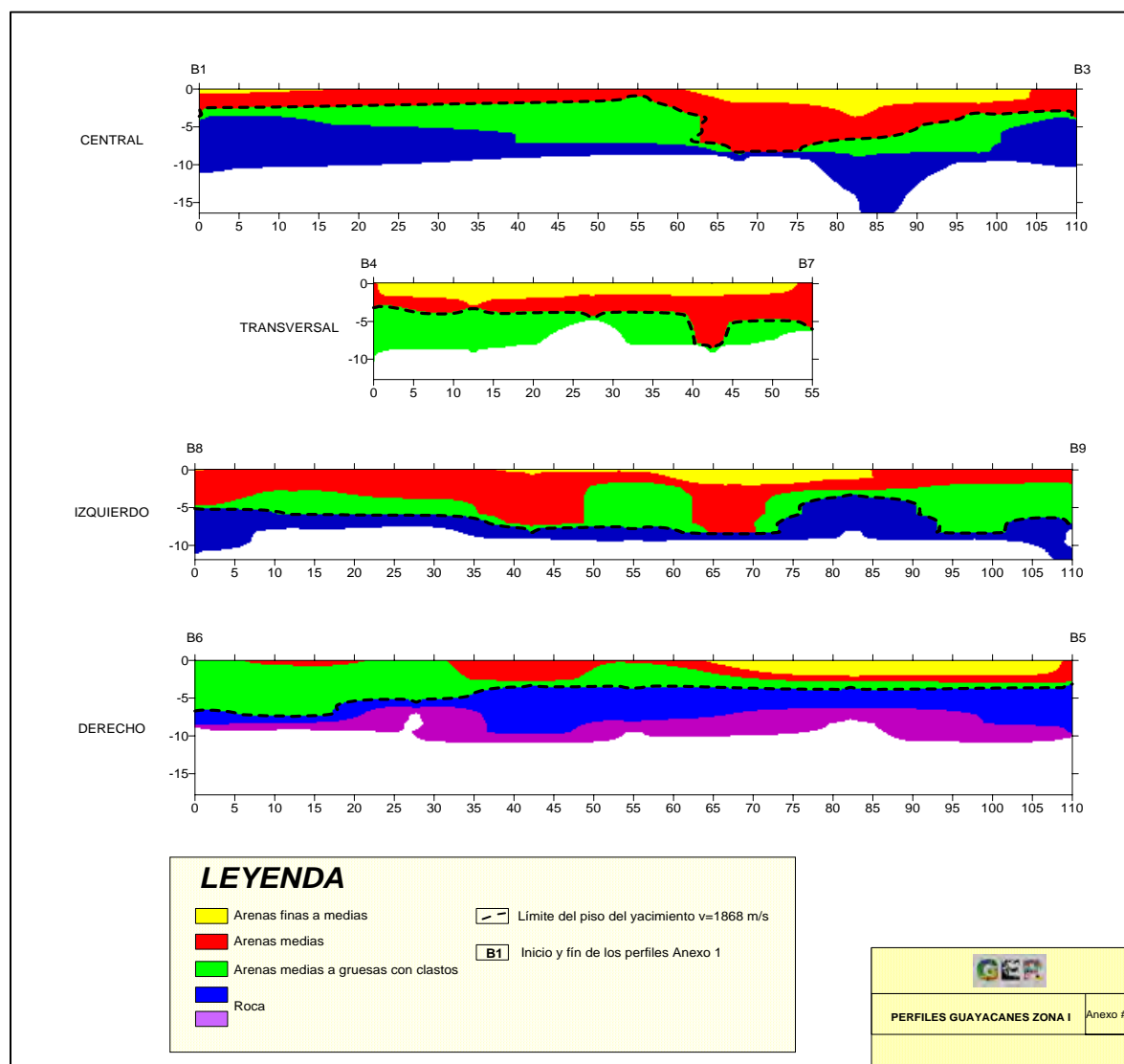
6. Es posible utilizar el método de sísmica somera subacuática para el estudio de bancos de arenas, siguiendo la metodología en los trabajos de campo y gabinete utilizada en esta investigación. La tarea mejor resuelta por el método es el establecimiento de la frontera entre la capa de arena y el sustrato rocoso por el contraste de velocidades que éste ofrece.

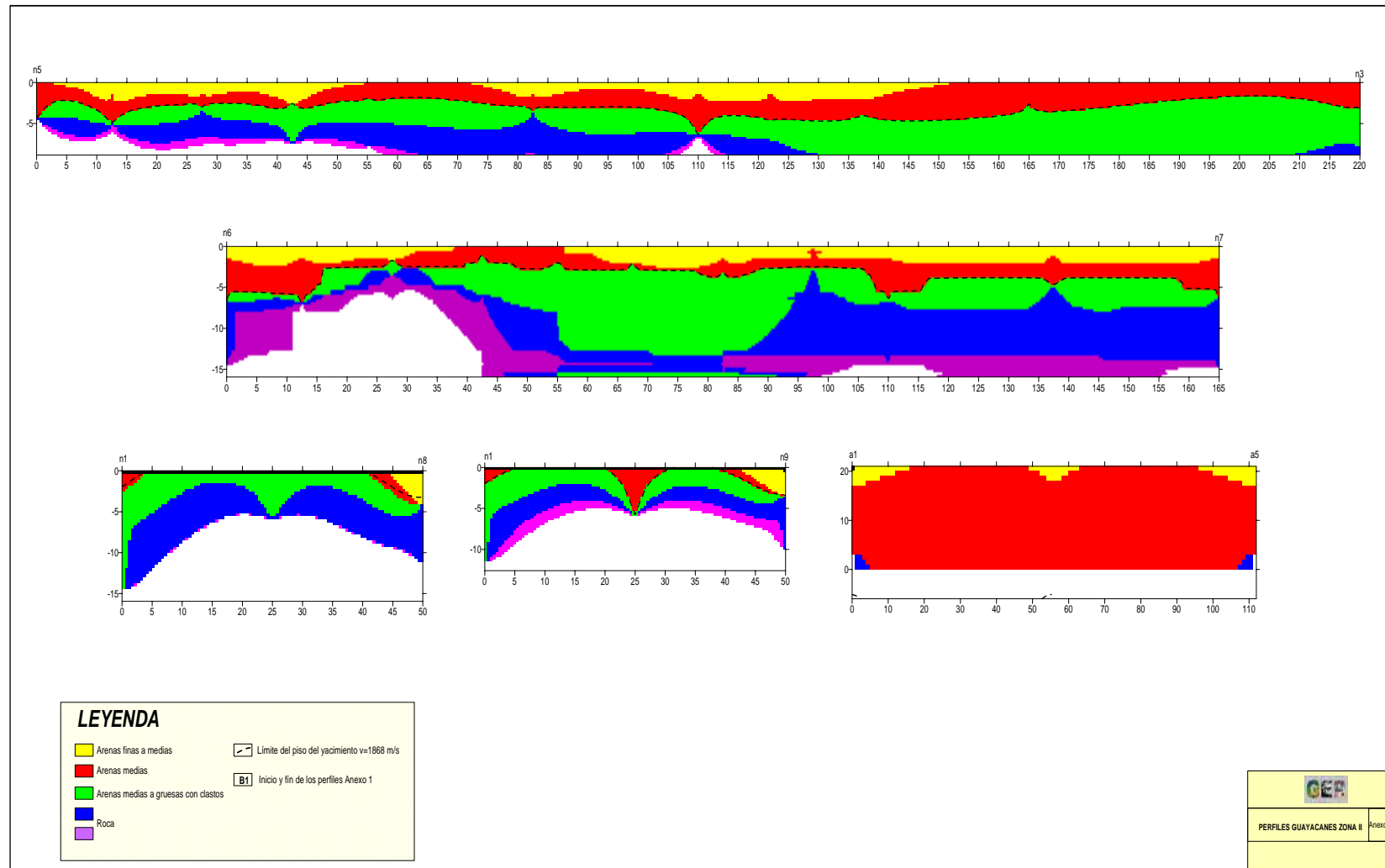
BIBLIOGRAFIA.

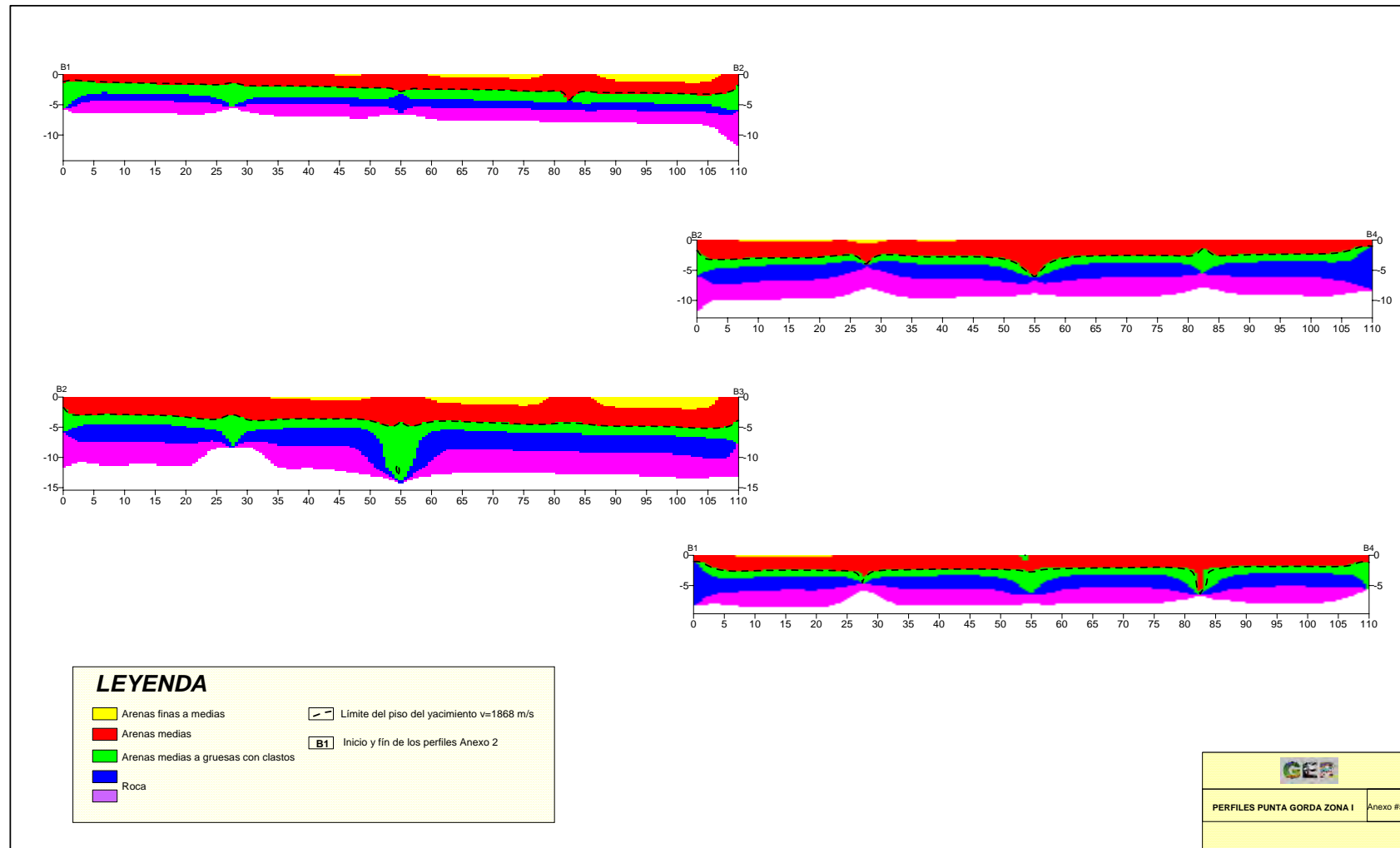
- Alvares A. y Lang R. A (1993). Resultados de la aplicación de la sísmica de refracción somera para las investigaciones en medios acuáticos. III Congreso de Ciencias del Mar.
- Pichardo M. C. (1995). Informe geosísmico del delfinario, variante # 2. Bahía de Naranjo. EMPI. Holguín.

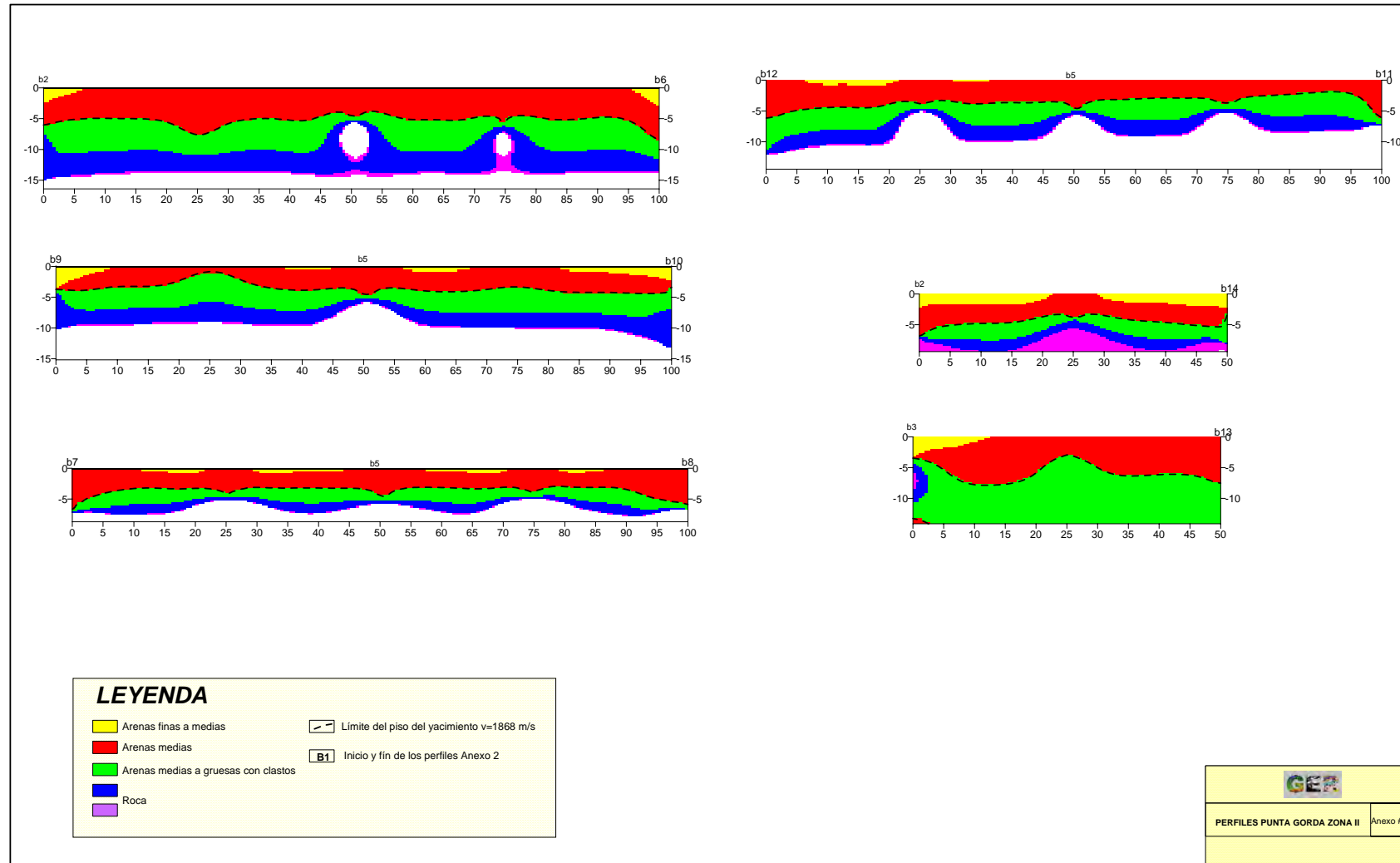


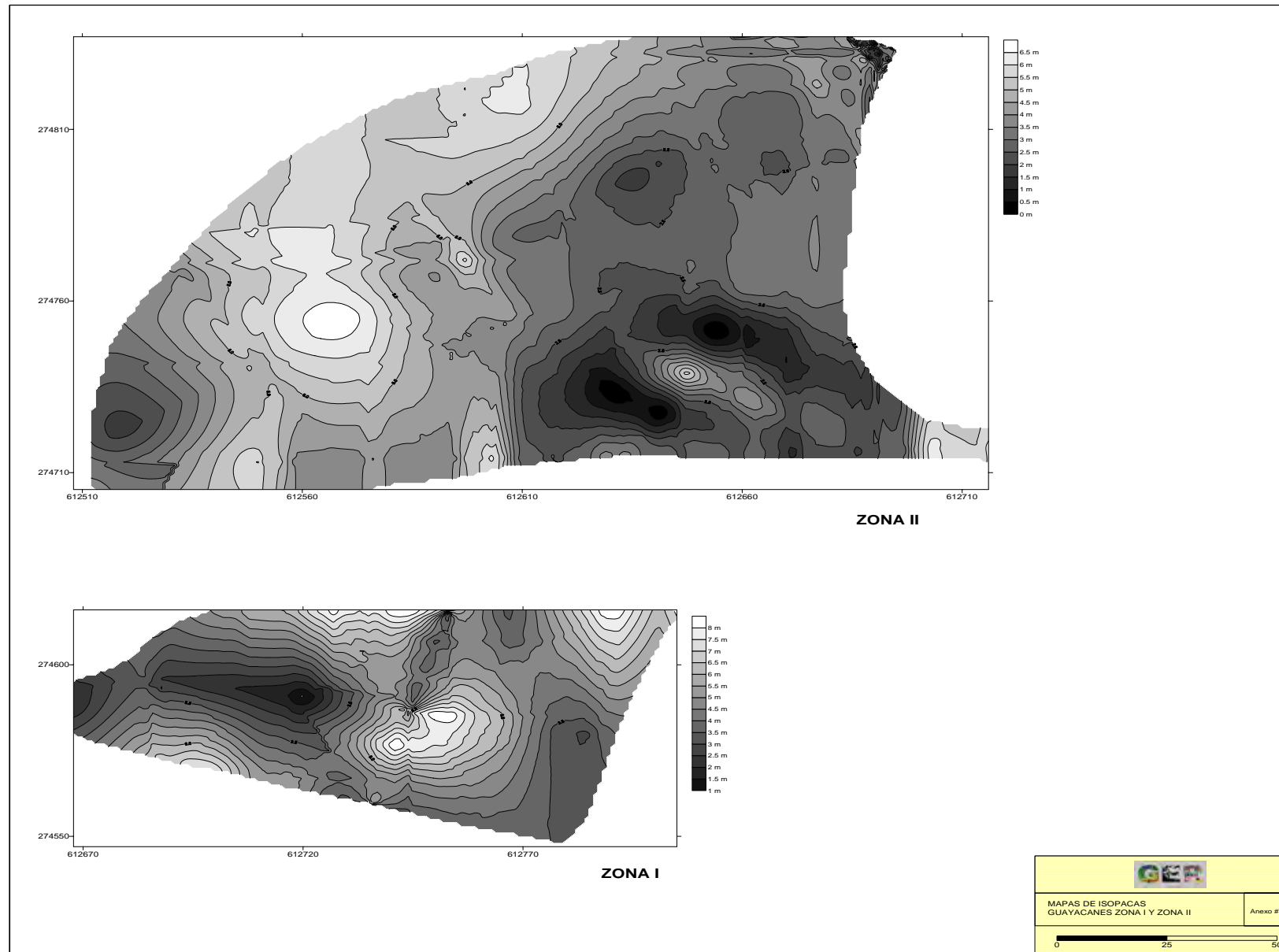


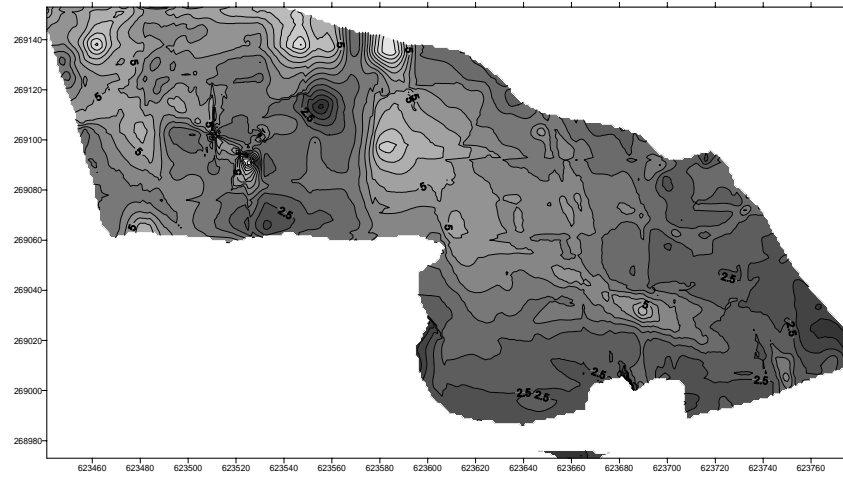












MAPAS DE ISOPACAS PUNTA GORDA	Anexo #8

EVALUACIÓN GEOFÍSICA INTEGRADA PARA LA PROSPECCIÓN DE ORO

Marcial Guerra Piñeiro⁽¹⁾ Fernando Mondelo Días⁽¹⁾ , Alfredo Hernández Ramsay⁽¹⁾ , Orlando Dussac Tamayo⁽¹⁾ , José A. Bárzana Rodríguez⁽¹⁾ , Humberto Barrabí Díaz⁽¹⁾

*Empresa Geominera Oriente, Carretera de Siboney km.2½, Alturas de San Juan
Santiago de Cuba Teléf.: 643836; 641603; 642624, Fax: (53-226)87130
Email: mguerra@geominera.co.cu, marcialg_p@yahoo.es*

RESUMEN:

Estos trabajos tienen como antecedente las investigaciones geofísicas en el sector Sigua al este de Santiago de Cuba, realizadas durante el levantamiento geológico 1:50000 Gran Piedra por G. Kusovkok, J. Acosta y E. Escobar, los datos aéreo geofísico y terrestres realizados por la asociación económica Caridgold Mines Ltd a partir de 1994, y la reevaluación de la información existente de oro en el Sector Sigua por Eric Escobar año 2000. Además en la década del 80 se realizó un levantamiento aerogeofísico por cubanos y soviéticos. En esta nueva etapa de la investigación se aplicó un complejo de métodos geofísicos donde se incluye, Radiometría, Magnetometría y la Polarización Inducida, en la variante, Gradiente Medio. Este complejo de métodos nos permitió asociar zonas de alteraciones, con las zonas de alteración hidrotermal sulfurosa, con presencia de mineralización de oro. También nos permitieron delimitar los procesos hipergénicos de interperismo donde los sulfuros de cobre y zinc se lixiviaron y migran en forma de sulfato y carbonato solubles, no así los sulfatos y carbonatos plomo (anglesita y serucita), yeso y barita, en donde el oro y la plata se concentran en las menas oxidadas. Las discontinuidades de los campos físicos están mapeando la tectónica del sector y los valores mayores del campo magnético están mapeando los cuerpos intrusivos con presencia de magnetita.

ABSTRACT:

These works have as antecedent the geophysical investigations in the Gold Deposit Sector Sigua to the east of Cite Santiago de Cuba, carried out during G. Kusovkok's rising geologic 1:50000 Gran Piedra, by J. Acosta and E. Escobar, the geophysical and terrestrial air data carried out by the association economic Caridgold Mine Ltd starting from 1994, and the reappraisal of the existent information of gold in the Gold Deposit Sector Sigua for Eric Escobar year 2000. Also in the decade of the 80 one carries out a rising aerogeofísico for Cuban and Soviet. In this new stage of the investigation a complex of geophysical method was applied where it includes, Radiometria, Magnetometria and the Induced Polarization, in the variant, Half Gradient. This complex of method allowed to associate areas of alterations with the zonas of alteration hidrotermal and sulfurous with presence of mineralización of gold. They also allowed us to define the processes interperismo hipergénicos where the copper sulfuros and zinc were leached and migran in form of sulfate and soluble carbonate, I didn't seize the sulfates and carbonates lead (anglesita and serucita), plaster and barita. Where the gold and the silver concentrate in the rusty ores. The discontinuities of the physical fields are mapeando the tectonic of the sector and the values bigger than the magnetic field they are mapeando the bodies intrusivos with loadstone presence.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo exponer los resultados de las investigaciones en las Prospecciones del Yacimiento de Oro Sigua en los sectores La Cantera y El Norte en esta investigación se aplicó el complejo de métodos geofísicos tales como la magnetometría, la Radiometría y la polarización (SEV-PI), en la variante gradiente medio MN=40m, Paso Medición=20m). Geológicamente nos encontramos en presencia de un yacimiento hidrotermal y sulfuroso, con presencia de procesos hipergénicos de intemperismo, produciendo menas cupro- polimetálicas, dos tipos de mineralización; la que presenta sulfatos y carbonatos solubles y que migran, donde los sulfuros de cobre y zinc se lixiviaron y migraron en forma de sulfato y carbonato, la segunda mineralización presente en yacimiento es la hay presencia de sulfato y carbonato no solubles(proceso hipergénico) donde hay presencia de sulfato de plomo (Anglesita y Serucita), yeso y Barita, siendo esta mineralización la portadora de la mena de oro y plata. Este tipo de mineralización es más característica del sector La Cantera, que del sector Sigua Norte, donde los procesos hipergénicos están menos desarrollados. Este complejo de métodos resolvió las siguientes tareas geológicas:

- Mapeo de los diferentes tipos litológicos y de la zona de alteración hidrotermal.
- Mapeo de las discontinuidades físicas, asociadas a la tectónica y a otros fenómenos geológicos.
- Mapeo de las zonas con mayor interés con presencia de mineralización de sulfuro con oro

Los resultados permitieron caracterizar la zona de alteraciones hidrotermales y sulfurosas con presencia de mineralización de oro atendiendo a los parámetros Magnéticos, Resistividad (ρ_a), Polarizabilidad (η_a) y radiactividad de las rocas, estableciendo correlación entre estos parámetros y los datos geológicos.

RESULTADOS:

SECTOR “LA CANTERA”

Las formas que adoptan las isolíneas, los gradientes y los cambios de signos de los campos físicos permitió revelar la existencia de discontinuidades físicas asociadas con la tectónica del Sector, siendo las principales direcciones las siguientes. Noreste – Sureste, Noreste- Suroeste, Este – Oeste.

Los valores magnéticos mayores de 41300 ηT forman anomalías que revelan la presencia de pequeños cuerpos intrusivos de composición básica-media –ácida. Los valores menores de 41200 ηT , se relacionan espacialmente con algunas direcciones principales de la tectónica del área y zonas de alteración.

Los valores de polarizabilidad aparente mayores de 3.6 % está asociada geológica y espacialmente con la mineralización sulfurosa diseminada. Los valores entre 2.8 y 3.4 % están asociada con las zonas de alteración con mineralización aurífera.

Los valores menores de 140 Ωm están asociados geológica y espacialmente a zonas agrietadas, afectadas por la tectónica y zonas con mineralización sulfurosa diseminada y los valores mayores de 180 Ωm , están asociados a cuerpos de composición media ácida y zonas con mineralización sulfurosa oxidada (silicificación, carbonatización, sulfatos).

Figura 1. Mapa de interpretación compleja de los campos físicos, Sector Sigua la Cantera.

Figura-2

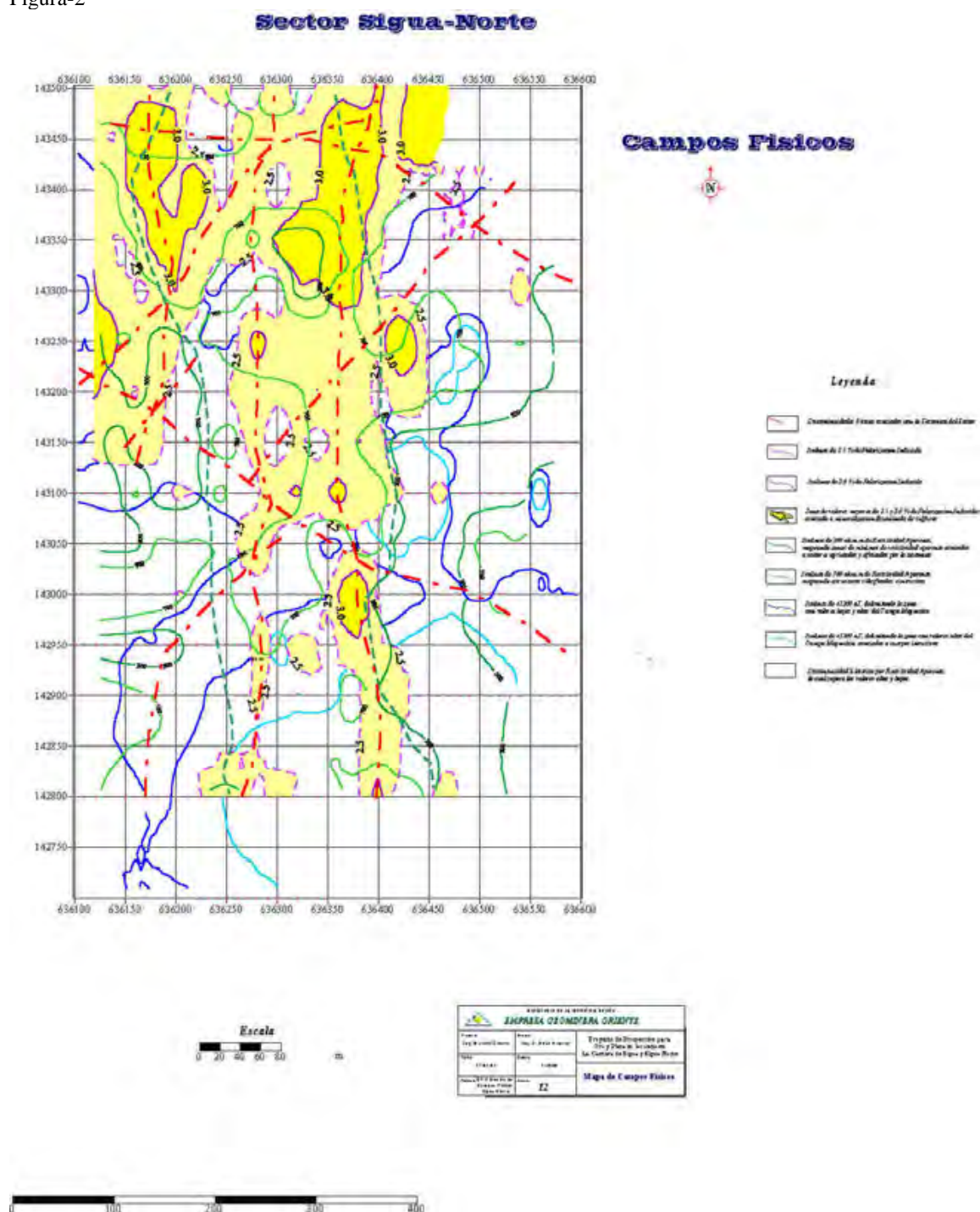


Figura 2. Mapa de interpretación compleja de los campos físicos, Sector Sigua Norte.

Al igual que en el sector de la Cantera, las geometrías que adoptan las isolíneas de los diferentes campos físicos nos permitieron delimitar las direcciones de las discontinuidades físicas las cuales están asociadas con la tectónica.

Los mínimos magnéticos se asocian espacialmente con la tectónica y zonas de alteración, mientras que los valores mayores de 41300 ηT nos están delimitando los cuerpos intrusivos de granodiorita con presencia de magnetita.

Las anomalías magnéticas post mineral con direcciones , Noroeste - Sureste y Noreste – Suroeste. Están asociadas con rocas con presencia de magnetita.

Los valores de polarizabilidad mayores de 2.5 % nos están mapeando zonas con mineralización sulfurosa con oro asociadas a un sistema de fallas con dirección Sud Meridional y Norte – Sur.

Los valores de resistividad mayores de 700 Ωm está mapeando estructuras silicificadas e intrusivos alineados en la parte central del sector formando una franja de dirección norte-sur. Los valores menores de 300 Ωm están asociados a zonas afectadas por la tectónica del sector.

CONCLUSIONES

1. Los valores de polarizabilidad mayores de 2.5 % pueden estar mapeando las alteraciones asociadas a la mineralización sulfuro diseminada con presencia de oro en el sector “Sigua Norte”.
2. Los valores de polarizabilidad mayores de (2.8 y 3.4) % pueden estar mapeando los procesos hipergénicos con presencia de la mineralización oro y plata en el sector “La Cantera”.
3. Las discontinuidades de los campos físicos están mapeando la tectónica del sector.
4. Los valores mayores de 41300 ηT están mapeando los cuerpos intrusivos con presencia de magnetita.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda en futuros trabajos geofísicos, en Sectores similares a los estudiados, aplicar el complejo de método utilizado, por el alto poder de resolución de la tarea técnica planteada.
2. Aunque por datos actuales es criterio de algunos autores que la mineralización del sector “Sigua Norte “ portadora de la mineralización aurífera es diferente con relación a la presente en el Sector “la Cantera” teniendo en cuenta los trabajos que se han expuesto en este la sector podría estar presente la mineralización asociada a los procesos hipergénicos, si tenemos en cuenta la respuesta del patrón geofísico utilizado en el sector “La Cantera”.

3. Realizar perfiles de mediciones experimentales con la técnica del geo-radar con el objetivo de mapear el contacto de los sulfuros oxidados con los sulfuros primarios.
4. Se debe de tomar atención con las zonas o sectores con incrementos de la resistividad aparente con incrementos de los valores de Polarizabilidad aparente, pueden constituir zonas de mineralización de mucho interés, ya no tanto para oro, sino para sulfuros polimetálicos con posible contenido de oro y plata, pues se conoce en sectores de la Sierra Maestra con similares características con contenidos industrial de polimetálicos Pb-Zn-Cu-Ag-Au etc.



RESCATE DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA DEL LEVANTAMIENTO AEROGEOFÍSICO DEL SECTOR SIERRA MAESTRA.

Noel Petrus Marcos ⁽¹⁾ .

(1) Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, s/n, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de la Habana, Cuba. E Mail: petrus@igp.minbas.cu

RESUMEN.

A partir de los datos primarios por perfiles de vuelo del levantamiento aerogeofísico que se ha conservado en su formato digital fuente de adquisición de los datos (formato SOAGD), se acometió la tarea del rescate de esa información, que incluye la aeromagnética y aerogammaespectrométrica y su conversión a formato tipo X,Y,Z utilizado en los Sistemas especializados de procesamiento de información geofísica como lo son el Oasis montaj de la Geosoft y el SURFER de la Golden Software, que permiten la utilización de toda esta información para su reprocesamiento, confección de mapas, gráficos y exportación en disímiles formatos para su utilización en otros Sistemas especializados de amplio uso internacional como el AutoCad y diferentes Sistemas de Información Geográfica (GIS).

En la ejecución de los trabajos de rescate y conversión de formato se utilizaron de forma interactiva programas estándares de edición como el MultiEdit, UltraEdit y Qedit, además de otros diseñados por el autor en momentos necesarios, también se utilizaron los editores del Oasis montaj y SURFER.

A los resultados obtenidos se les realizó trabajos estadísticos estándares para analizar sus resultados, se confeccionó el mapa de recorrido de las líneas de vuelo y se regularizaron los datos para obtener las nuevas matrices con menor tamaño de celdas que brindan mayores detalles para su presentación e interpretación.

ABSTRACT.

Starting from the primary data for profiles of flight of the aerogeophysics survey that has been conserved in their format digital source of acquisition of the data (format SOAGD), was carried out of the rescue of that information (aeromagnetic and aerogammaespectrometric), and its conversion to format type X,Y,Z used in the specialized Systems of processing of geophysical data as they are it the Oasis montaj of the Geosoft and the SURFER of the Golden Software that allow the use of all this information for its reproprocessing, making of maps, graphics and export in dissimilar formats for its use in other specialized Systems of wide international use as the AutoCad and different Systems of Geographical Information (GIS).

In the execution of the rescue works and format conversion they were used of form interactive standard programs of edition like the MultiEdit, UltraEdit and Qedit, besides others designed by the author in necessary moments, the editors of the Oasis montaj and SURFER were also used.

To the obtained results they were carried out works statistical standards to analyze their results, the flight path map of the flight lines was made and the data were regularized by griding to obtain the new grid with smaller cellsize that offer bigger details for its presentation and interpretation.

INTRODUCCIÓN.

Los datos primarios por perfiles de vuelo del levantamiento aerogeofísico Nacional del sector Sierra Maestra conservados hasta la actualidad, se encuentran en formato digital fuente SOAGD producto de su elaboración con el Sistema de Elaboración de Datos Aerogeofísicos del Instituto de Novosibirski en computadoras tipo MainFrame del Sistema Unificado SUMCE (serie



EC - 10XX), formato no apropiado para su utilización con los recientes sistemas y programas más avanzados en computadoras personales (PC), con los que se cuenta hoy en día para su reprocesamiento ó cualquier forma de su utilización. Por otro lado se hallaban conservados en portadores magnéticos de discos flexibles de 3"½ y necesitaban ser conservados en portadores más seguros y de más capacidad por el gran volumen que estos ocupan.

A partir de estas características se acometió la tarea del rescate de la información, que abarca la aeromagnética y aerogammaespectrométrica y su conversión a formato tipo X,Y,Z utilizado en los Sistemas especializados de procesamiento de información geofísica como lo son el Oasis montaj de la Geosoft y el SURFER de la Golden Software, que permiten la utilización de toda esta información para su reprocesamiento, confección de mapas, gráficos y exportación en disímiles formatos para su utilización en otros Sistemas especializados de amplio uso internacional como el AutoCad y diferentes Sistemas de Información Geográfica (GIS).

En la ejecución de los trabajos de rescate y conversión de formato se utilizaron de forma interactiva programas estándares de edición como el MultiEdit, UltraEdit y Qedit, además de otros diseñados por el autor en momentos necesarios, también se utilizaron los editores del Oasis montaj y SURFER.

A los resultados obtenidos se les realizó trabajos estadísticos estándares para analizar sus resultados, se confeccionó el mapa de recorrido de las líneas de vuelo y se regularizaron los datos para obtener las nuevas matrices con menor tamaño de celdas que brindan mayores detalles para su presentación e interpretación.

CARACTERÍSTICAS DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA UTILIZADA.

Como resultado del Levantamiento Aerogeofísico Nacional realizado por un equipo de trabajo Soviético - Cubano durante los años 1979 - 1991, que fue ejecutado por sectores que abarcaban zonas llanas (15) y montañosas (4), se conservaban en formato digital la información de los sectores montañosos dentro del que se incluye el sector Sierra Maestra.

Esta información digital producto de su elaboración con el Sistema de Elaboración de Datos Aerogeofísicos (SOAGD) del Instituto de la Tierra de Novosibirski para máquinas computadoras del Sistema Unificado SUMCE tipo mainframe (EC - 10XX), se encontraba en formato no asequible por las nuevas tecnologías de computadoras personales (PC) y por los nuevos y efectivos sistemas de procesamiento de datos geofísicos como lo es el Sistema Oasis montaj de amplias facilidades y uso internacional. Por otro lado la información se encontraba conservada en discos flexibles de 3"1/2.

Este formato mantenía la estructura general siguiente:

OXYTURKQH

1.0 435571.0 143233.0 -26.90 01.98201 03.48910 00.89338 01.11669 64.31993

0.0 435505.0 143262.0 -12.34 01.55777 02.95821 00.78492 01.56900 63.49082

.

.

2.0 435495.0 178339.0 200.20 06.390751 00.98674 01.50045 03.79032 57.04129

.

la primera línea señala el significado de las columnas del fichero:

O, número de punto de orientación con los que se realizó el foto amarre.



X, coordenada planimétrica X.

Y, coordenada planimétrica Y.

T, Campo Magnético Anómalo.

U, Valor gammaespectrométrico ya corregido a contenido del elemento Uranio

R, Valor gammaespectrométrico ya corregido a contenido del elemento Thorio.

K, Valor gammaespectrométrico ya corregido a contenido del elemento Potasio.

Q, Valor del Conteo Total de radiación Gamma en $\mu\text{R/h}$.

H, altura de vuelo durante las mediciones.

y a continuación los valores de estas columnas.

En ocasiones no existían las separaciones por espacios y nunca señalaban el número de línea de vuelo.

Para los nuevos sistemas de procesamiento de datos geofísicos en computadoras personales se necesita un formato lineal tipo X, Y, Z:

X, coordenada planimétrica X.

Y, coordenada planimétrica Y.

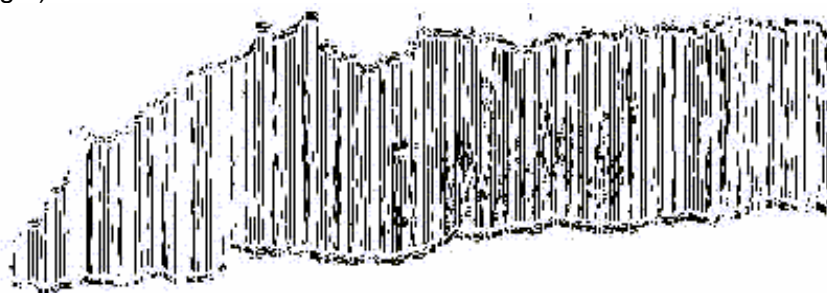
Z, valores de los diferentes canales con mediciones geofísicas (varios canales).

se puede además especificar el número de la línea si se desea.

METODOLOGÍA UTILIZADA.

En la obtención del formato deseado X, Y, Z se utilizaron los programas editores Qedit, MultiEdit, UltraEdit y los editores de los sistemas Oasis montaj y SURFER.

Se realizó la restaura línea a línea desde su soporte original en discos flexibles de 3" ½ y posteriormente se unieron en un solo fichero que abarca todo el sector y se confeccionó al final el mapa de recorrido de las líneas voladas (flight path recovery) para el sector Sierra Maestra (Fig.1):



por defecto irrecuperable se hizo imposible la recuperación desde los discos flexibles donde se encontraban, algunas líneas de vuelo (un total de 7 líneas), no obstante consiceramos un éxito esta conversión a formato útil y su salva en CDRom para su conservación.

Se realizó la estadística al fichero suma final y nos muestra:

XYZSTAT version 1.50.02 Copyright GEOSOFT Inc. 1994

Statistics report for file: SIER.XYZ

Z column number: 1



type	line#	#pts	X-min	X-max	Y-min	Y-max	Z-min	Z-max
line	1	27	404985.5	404988	135860	136659.3	-321.996	-302.561
line	2	132	405465.7	405565.7	132474.8	137275.5	-55.093	499.133
line	3	150	405984.3	406071.2	132401.3	137556.6	-49.003	464.689
line	5	205	407007.5	407040.2	132214.7	139683	-47.567	662.41
line	9	291	408957.9	409006.5	131841.2	141882.2	-58.767	834.912
line	10	288	409484.8	409547.4	131652.9	141874.1	-57.886	1125.469
line	11	283	409977.3	410034.7	131549.8	141770.6	-60.773	1266.772
.
.
.
.
.
line	188	724	498475	498526	158149.5	181129.5	-1357.79	1745.52
line	189	806	498861.2	499029.8	155749.3	180274	-552.964	1172.873
line	190	1009	499398.8	499569.1	149663.2	179833	-604.795	1253.564
line	191	754	499917.7	500059.6	157847.5	180689.5	-449.362	1314.972
line	192	986	500433	500574	154514.3	181405	-778.724	1197.814
line	193	971	500924	501021.7	152555.5	181061.1	-618.768	1241.842
line	194	748	501449.1	501498.5	157370.2	180215	-626.995	1156.563
line	195	824	501950.5	502014.5	155587	180480.1	-525.865	1111.336
line	196	256	502411	502517.5	170013.7	179695.3	-538.713	168.6809
line	197	483	502958.8	502982.1	165738	180530.8	-507.15	1323.415
line	198	265	503448	503508.7	170695	179865	-576.531	59.10576
line	199	556	503958.5	504024	162733.5	180010.5	-542.875	1215.219

Statistics report for file: SIER.XYZ

Z column number: 1

Number of points: **356791**

Number of lines: 463

Base lines: 0

Tie lines: 0

Trend lines: 0

Test lines: 0

SUMMARY X-min: 404985.5 X-max: 574171.1
Y-min: 130745.1 Y-max: 213200
Z-min: -1836.56 Z-max: 3865.148
Z-mean: 91.2514 Z-dev: 280.3448

solo se muestra parte de las estadísticas por líneas de vuelo un sumario final de todas las líneas, es de destacar el no. de puntos total que es de 356 791 que densifica la información de la región del levantamiento 14 veces, pues la densidad de puntos anteriormente a disposición era de 24 950 puntos. Como representación gráfica para tener idea de lo que esto representa, se muestra en la figura 2 en un área de este sector, la densificación anterior representada por pequeños círculos negros y la densidad actual por puntos rojos:

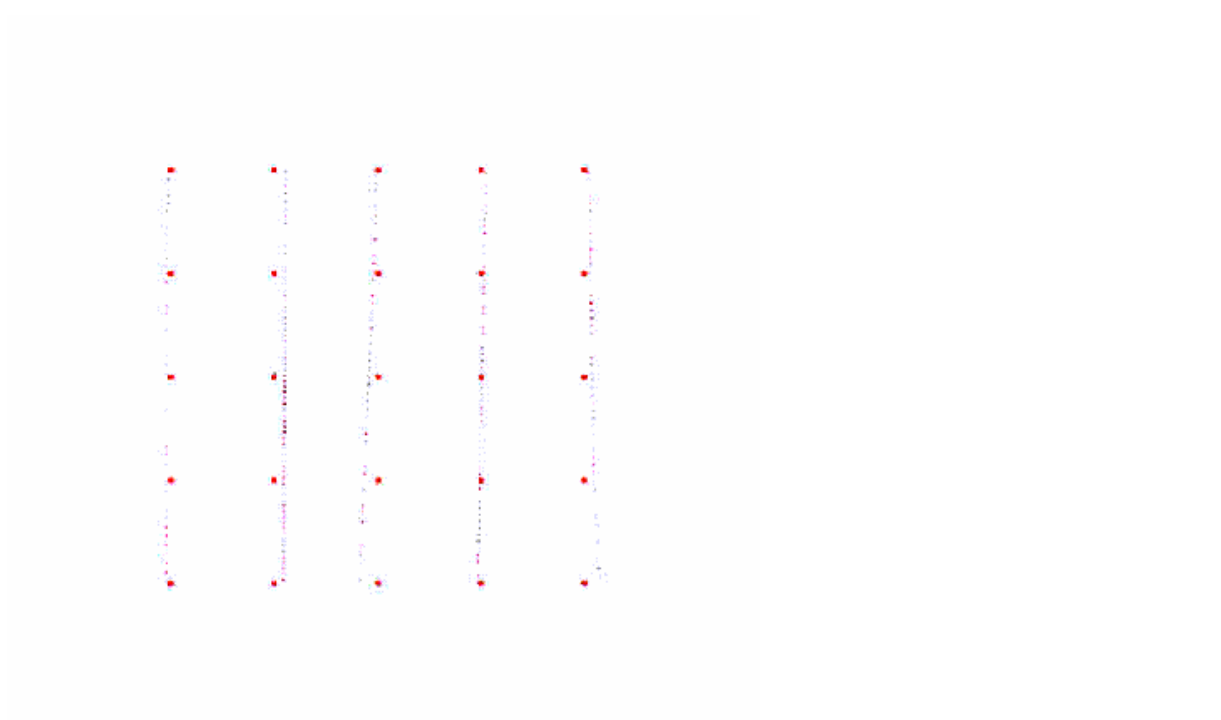


Fig. 2. Representación espacial de las densidades de puntos:

Leyenda:

○ - puntos de densificación anterior.

· - puntos de densificación actual.

Se realizó además la regularización de los datos geofísicos contenidos en este levantamiento, el Campo Magnético Anómalo, el contenido de los elementos gammaespectrométricos Potasio en %, Uranio y Thorio en p.p.m. y su Conteo Total de radiación Gamma en $\mu\text{R/h}$, con tamaño de celda 200 x 200 metros, menor que los datos regularizados con que antes se contaba de 500 x 500 metros, de esta forma se amplían los detalles de las diferentes magnitudes geofísicas y posibilita una mejor representación e interpretación.

Se confeccionaron las matrices y sus imágenes (extensión .GRD de Geosoft), por ejemplo Figuras 3 y 4:

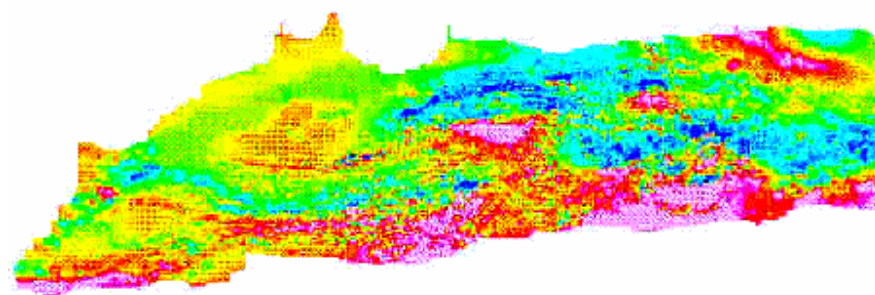


Fig no. 3. Imagen del Campo Magnético Anómalo:

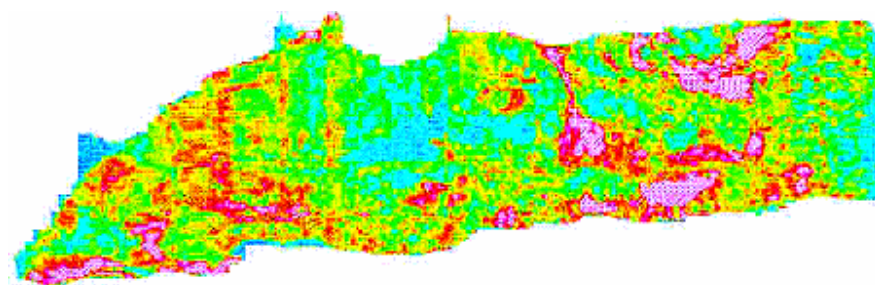


Fig. no. 4. Imagen del contenido en p.p.m. del elemento Uranio:

RESULTADOS ALCANZADOS.

Como logros alcanzados se pueden enumerar:

- Rescate y conservación en soportes magnéticos (CDRom) confiables y acequibles.
- Conversión a formato lineal X, Y, Z por líneas de vuelo, listos para su utilización con sistemas de procesamientos actualizados y eficientes en computadoras personales.
- Confección del mapa de recorrido real de las líneas de vuelo.
- Regularización de los datos geofísicos y confección de sus imágenes por matrices con mayor detalle que permite destacar los rasgos locales con mayor definición..
- Aumento considerable de la densidad de puntos con valores de las mediciones geofísicas adquiridas que permite tener un volumen superior de información de la disponible hasta la actualidad.

CONCLUSIONES.

Como uno de los logros principales se destaca el de poseer la información primaria por líneas de vuelo durante la adquisición de las mediciones de este levantamiento aero geofísico, pues hasta la actualidad solo se contaba con los datos regularizados cada 500 metros (matrices con celda de 500 x 500 m.).

Esta información rescatada y puesta a disposición de los distintos procesamientos que se deseen y/o necesiten poseen una alta densidad de puntos muestreados que es sobre líneas de vuelo distanciadas a 500 metros y en pequeñas áreas de 250 metros, y sobre estas líneas puntos distanciados a un promedio de 30 metros, anteriormente se contaba con datos regularizados cada 500 m. que significa tener líneas distanciadas a 500 m. y puntos sobre ellas cada 500 m. El número de puntos con valores geofísicos de Campo Magnético Anómalo, Contenidos de los elementos gammaespectrométricos y su el Conteo Total de la radiación Gamma, anteriormente era de 24 950 y ahora se dispone de 356 791, 14 veces superior.

En nuestros archivos digitales se cuenta además con otros sectores del Levantamiento Aerogeofísico Nacional con la información original por líneas de vuelo de los sectores montañosos Pinares de Mayarí, Guantánamo Sur, Escambray y el sector llano Nuevitas - Guaimaro, los que se propone acometer de inmediato trabajo similar a este para su recuperación, conversión de formato y aumento de la densificación de puntos con ubicación



real, que mejoren las investigaciones geológicas para lo que se realizaron e incrementar el conocimiento geofísico de esas zonas.

Además se recomienda contactar con el Instituto de la Tierra de Novosibirski ó la entidad que lo puede haber reemplazado en Rusia, para conocer la posibilidad y gestión a realizar en la obtención de la información original de los restantes sectores que nunca fueron enviados a nuestro País, con vista a realizarles similar procesamiento y aumentar la densidad de puntos.

BIBLIOGRAFÍA.

Prieto R., Levantamiento aerogeofísico del sector Sierra Maestra. 1990. O.N.R.M.

DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CONVERSIÓN GAMMAESPECTROMÉTRICOS.

Noel Petrus Marcos

Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad Habana. ZIP 11000. E-mail: petrus@igp.minbas.cu.

RESUMEN.

Durante los levantamientos gammaespectrométricos las mediciones adquiridas son en conteos por segundo (c.p.s.), que deben ser corregidas a contenido equivalente para el elemento Potasio en porcentaje (%), los elementos Uranio y Torio en partes por millón (p.p.m.) y el Conteo Total en MicroRöntgen por hora ($\mu\text{R/h}$).

En múltiples ocasiones la información gammaespectrométrica existente se encuentra en unidades de conteos por segundo debido a que la corrección necesaria para llevarlos a su equivalente en contenido no se ha realizado por no existir polígonos de calibración o la información de estos no se conservó y no se dispone de ella, además en otras ocasiones no se perseguía el objetivo de obtener el equivalente en contenido porque las tareas se cumplían sin la conversión a contenidos.

Para disímiles investigaciones geológicas como lo son la cartografía geológica, definición de rasgos tectónicos superficiales, alineaciones, límites, contactos entre otras, es definitorio el trabajo estadístico de los contenidos, lo que hace necesaria la conversión a contenido equivalentes de los elementos gammaespectrométricos para obtener mejores resultados.

En distintas áreas del territorio Nacional se cuenta con datos ya corregidos y determinado el contenido de los elementos gammaespectrométricos, así como se han conservados sus datos adquiridos en conteos por segundo (c.p.s.) y se hace posible la determinación de los coeficientes que permitan la conversión de cps a contenido equivalente en estas áreas.

En un área se realizó esta investigación obteniendo resultados que fueron comparados cualitativamente visualizando las imágenes existentes y las obtenidas y cuantitativamente a través de estudios estadísticos que se muestran en tablas resúmenes.

Se estableció una metodología para la determinación de los coeficientes de conversión de los tres elementos gammaespectrométricos, que podrá ser utilizada en futuros trabajos con este objetivo.

ABSTRACT.

During the aerogammaespectrometric survey the acquired data are in counts per second (c.p.s.) that should be corrected to equivalent content for the element Potassium by percent (%), the elements Uranium and Torio in parts per million (p.p.m.) and the Total Count in MicroRöntgen per hour ($\mu\text{R/h}$).

In multiple occasions the gammaespectrometric data existent is in units of counts per second because the necessary correction to take them to its equivalent one in content has not been carried out for not existing calibration polygons or the information of these it was not conserved and doesn't have her, also in other occasions the objective was not pursued of obtaining the equivalent one in content because the tasks were completed without the conversion to contents.

For dissimilar geologic investigations as they are it the geologic cartography, definition of superficial tectonic features, alignments, limits, contacts among other, is very important the statistical work of the contents, that makes necessary the conversion to equivalent content of the gammaespectrometric elements to obtain better results.

In different areas of the National territory it is already had data corrected and certain the content of the gammaespectrometric elements, as well as their data have been conserved acquired in counts per second (c.p.s.) and it becomes possible the determination of the coefficients that allow the cps conversion to equivalent content in these areas.

In an area was carried out this investigation obtaining results that they were compared visualizing the existent images qualitatively and those obtained and quantitatively through statistical studies that are shown in charts summaries.

A methodology settled down for the determination of the coefficients of conversion of the three elements gammaespectrométricos that will be able to be used in future works with this objective.

INTRODUCCIÓN.

El territorio de la República de Cuba cuenta con la unificación de todos los levantamientos por sectores aerogammaespectrométricos que cubre el 97 % de su territorio insular.

Esta unificación de la aerogammaespectrometría abarca los tres elementos gammaespectrométricos en contenido (%) para el Potasio y p.p.m. para el Uranio y el Torio) y el Conteo Total de radiación Gamma en $\mu\text{R/h}$. De esta información se escogió un área que está ubicada en la región Oriental cubierta por el levantamiento aerogeofísico del sector Guantánamo Sur, por poseer además los datos de este levantamiento en su adquisición original en conteos por segundo (c.p.s.).

Con estas informaciones de una misma área en c.p.s. del sector Guantánamo Sur y en contenido de la base de datos Nacional aerogammaespectrométrica se realizaron los trabajos de procesamiento para obtener las relaciones necesarias, la confección de sus gráficos, el cálculo de sus estadísticas y el diseño de una metodología para la determinación de los coeficientes de conversión a contenido de los tres elementos gammaespectrométricos.

Metodología utilizada.

Se unificaron ambas informaciones con idénticas coordenadas planimétricas X, Y en un fichero y se obtuvieron las relaciones entre los contenidos en % ó en p.p.m, en dependencia del elemento que se trate, y los valores en c.p.s. a convertir, con estas se confeccionó el gráfico de distribución de puntos de las relaciones y se calcularon los coeficientes aritméticos (A, B, C) de mejor ajuste a una recta para cada elemento gammaespectrométrico, ej.(fig. 1) para el elemento gammaespectrométrico Potasio:

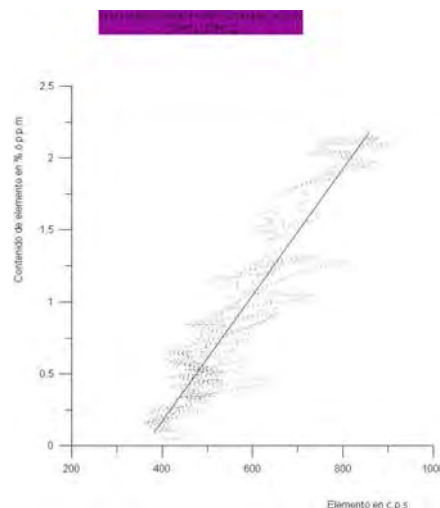


Fig.1. Gráfico de distribución de puntos de las relaciones $K_{\%} / K_{\text{cps}}$.

Las estadísticas calculadas para este juego de datos del elemento Potasio resultaron:

Número de datos: 7329

Elemento K en c.p.s. :

Rango:	674
Mínimo:	304
Máximo:	978
Media:	563.793
Mediana:	513.75
25%-tile:	460
75%-tile:	661.75
Desviación Estándar:	142.894
Varianza:	20418.7

Contenido del Elemento K en %:

Rango:	2.28104
Mínimo:	0.0142778
Máximo:	2.29532
Media:	0.811028
Mediana:	0.579236
25%-tile:	0.385294
75%-tile:	1.1651
Desviación Estándar:	0.563806
Varianza:	0.317877

Relación Contenido Elemento % / Elemento en c.p.s.:

Rango:	0.00309921
Mínimo:	3.917E-005
Máximo:	0.00313838
Media:	0.00132025
Mediana:	0.00114123
25%-tile:	0.000816
75%-tile:	0.00180587
Desviación Estándar:	0.000652233
Varianza:	4.25408E-007
Coef. de variación:	0.494021
Coef. de Skewness:	0.510677

Con el cálculo de los coeficientes aritméticos (A, B, y C) de ajuste a una recta con todos los valores de relación se puede efectuar la conversión de valores en c.p.s. a contenido por elemento (% ó p.p.m.). Posteriormente se regularizaron los datos convertidos con tamaño de celda 250 x 250 metros por tener mayor resolución y densidad de puntos que la información primaria a escala 1: 50 000. Se confeccionaron sus imágenes a color y calcularon las estadísticas a la información corregida y los datos regularizados en matrices de cada elemento gammaespectrométrico para observar su comportamiento y evaluar cuantitativamente los resultados convertidos en relación con los primarios, estos resultados se presentan a continuación (tablas no.1, 2 y 3):

Tabla I. Resultados estadísticos para el elemento Potasio:

POTASIO.

	Datos lineales (formato .XYZ)		Datos regularizados (formato .GRD)	
	Korig (%)	Kobtenido (%)	Korig (%)	Kobtenido (%)
mínimo.	0.142778	-0.034	-0.0257	0.071
máximo.	2.295319	2.6551	2.225	2.547
media.	0.8110275	0.8129	0.8107	0.808
σ	0.563805	0.5858	0.5505	0.568

Tabla II. Resultados estadísticos para el elemento Uranio:

URANIO				
	Datos lineales (formato .XYZ)		Datos regularizados (formato .GRD)	
	Uorig (ppm)	Uobten (ppm)	Uorig (ppm)	Uobtenido (ppm)
mínimo.	0.2068719	0.3396546	0.10910	0.2632
máximo.	2.889034	3.162057	2.9138	3.2437
media.	1.507383	1.507382	1.5112	1.5085
σ	0.6091117	0.6226689	0.6141406	0.623249

Tabla III. Resultados estadísticos para el elemento Torio:

TORIO				
	Datos lineales (formato .XYZ)		Datos regularizados (formato .GRD)	
	THorig (ppm)	Thobten (ppm)	THorig (ppm)	Thobten (ppm)
mínimo.	0.01035	-0.1302728	-0.6347	-0.4768
máximo.	4.72088	7.087656	4.5952	6.7862
media.	0.6661093	0.6661088	0.591523	0.596473
σ	0.7501373	0.804387	0.7176704	0.751564

De estos resultados estadísticos podemos concluir que fundamentalmente los valores medios y su desviación estándar son casi idénticos, y estos es fundamental, pues recoge todo el volumen de datos, sin embargo las diferencias entre los valores mínimos y máximos, aunque están en rango y son pequeños, son relativos a eventos puntuales.

Se realizó además es estudio estadístico de las diferencias punto a punto de entre los valores primarios y los obtenidos (ver tabla no. 4) de donde observamos cuantitativamente el comportamiento y valoramos la efectividad de la determinación de los coeficientes. De las imágenes confeccionadas observamos cualitativamente la similitud entre las obtenidas con esta metodología y las que conforman la base de datos Nacional, ej. fig. no.2 a y b del elemento Potasio.

Tabla IV. Estadísticas de las diferencias por elemento gammaespectrométrico:

DIFERENCIAS ENTRE VALORES DE REFERENCIA Y OBTENIDOS.			
	Elemento Potasio %	Elemento Uranio p.p.m.	Elemento Torio p.p.m.

Mínimo	-0.359869	-0.3409104	-2.366773
Máximo	0.2976386	0.5585979	0.4354208
Media	-0.0018749	0.0000017	0.0000006
σ	0.081461	0.07555	0.17219

Se destaca que en los valores medios la diferencia es sumamente aceptable por los valores mínimos alcanzados.

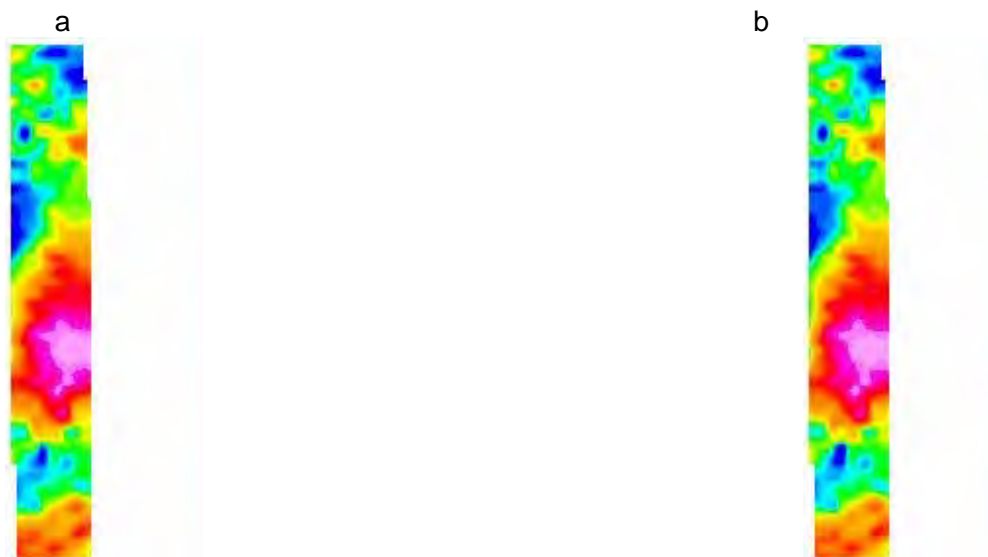


Fig. 2. Imágenes a color del elemento Potasio: a) Imagen original de referencia y b) Imagen obtenida por la metodología

De las imágenes se observa cualitativamente la identidad entre ambas.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ALCANZADOS.

Cuantitativamente, de las tablas confeccionadas con la estadística para cada elemento observamos las pequeñas diferencias y su valor medio que nos garantiza la efectividad de los coeficientes determinados (tablas I, II, III y IV).

Cualitativamente, de las imágenes (fig. 2) obtenidas y sus contrapartes existentes de la base de datos Nacional, observamos la similitud entre ellas que refuerza la confiabilidad de la metodología elaborada y aplicada.

CONCLUSIONES.

Con esta metodología elaborada se posibilita que cualquier sector en el territorio Nacional que se encuentre en c.p.s. sea llevado a contenidos con buena exactitud y además, levantamientos futuros a realizar que solo se lleve su finalidad a la obtención de c.p.s., puedan convertirse ó

corregirse a contenidos para reforzar las diferentes investigaciones geológicas y el enriquecimiento del conocimiento geofísico del País.

En nuestro territorio existen múltiples sectores levantados por aerogeofísica con técnicas modernas, donde la información gammaespectrométricas solo fue obtenida en c.p.s. por cumplir con las tareas y objetivos que se acometían, pero deben ser llevadas a contenidos y con esta metodología queda garantizada la conversión ó corrección.

BIBLIOGRAFÍA.

- Alfonso Roche J. R., 1983. *Matemática aplicada a la Geofísica*. Ediciones ENSPES.
Alfonso Roche J. R., 1989. *Estadísticas en las Ciencias Geológicas*. Editora ISPJAE.
Prieto R., Chang J., 1990. *Levantamiento aerogeofísico del sector Guantánamo Sur*. O.N.R.M., IGP.

LA FRANJA MINERALIZADA CILANTROS – LA VIGÍA – LIMONES, UNA PRUEBA MÁS DE LA EXISTENCIA DEL PLUTÓN MAREA DEL PORTILLO

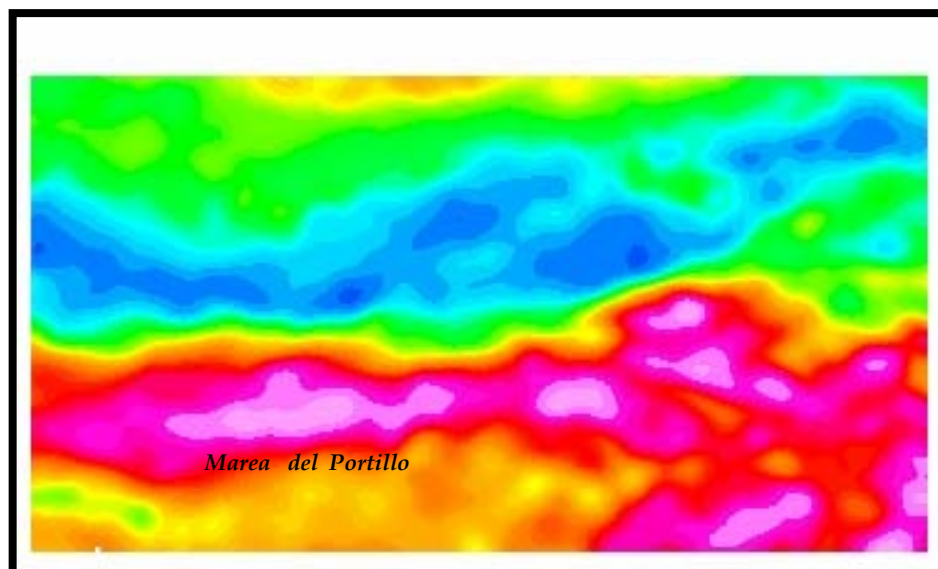
R. Sánchez Cruz(1), Beatriz Rodríguez Basante(1), Eric M. Escobar Pérez(2), Noel Petrus Marcos(1), Pedro Ferro Espinosa(3), José Antonio Bárzana Rodríguez(3)

Instituto de Geología y Paleontología, (2) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, (3) Empresa Geominera Oriente.

En la Sierra Maestra, entre 1995-1996, se descubrió un grupo de zonas de alteración hidrotermal y puntos mineralizados con contenidos anómalos de oro, plata, cobre y polimetálicos a lo largo de una zona de dirección sublatitudinal, Caimana, en las inmediaciones de Marea del Portillo, sectores: Cilantros, La Vigía, Palenque, Barranca Honda, Chiquito y Limones. La franja mineralizada se corresponde con zonas de gradientes Ta(RP) que indican el posible contacto entre rocas volcánicas intrusivas y rocas efusivo-sedimentarias.

En las propilitas en Limones se obtuvieron contenidos de oro entre 0.5-1.9g/t. y en vetillas de calcopirita, esfalerita y galenita hasta 11.0g/t. de oro, 3.3% de Cu y 12% de Zn. La Vigía–Cilantros, zona de silicificación con cuarzo, sericita, baritina, siderita, hematita, pirita y en menor cantidad calcopirita, se caracteriza por contenidos de oro entre 100-700ppb. Aparentemente existe relación genética entre esas alteraciones y las más limitadas en Río Chiquito, Barranca Honda y Arroyo Palenque. Los dos primeros, donde se revelaron vetas de baritina y cuarzo de 1m. de espesor con sulfuros diseminados, cercanos al depósito de Mn “Isola”, podrían considerarse como la prolongación E de La Vigía que continúa hasta la anomalía EM-6, entre los ríos Cilantros y Mota, al W y E respectivamente. En arroyo Palenque, afluente del río Cilantros, se observan zonas de alteración de 10-50m de espesor representadas por vetas y vetillas de carbonatos, siderita, sericita, cuarzo, baritina, a veces sulfuros (pirita y calcopirita). En total, hasta Limones, en las orillas del río Macío, la zona de alteración alcanza 15 Km. de largo.

Los valores de Ta de hasta +500nT son provocados por rocas intrusivas. La existencia de mínimos magnéticos locales, productos de la desmagnetización bajo los efectos de las soluciones hidrotermales, favorecen su explicación como provocada por una fuente magmática ciega, origen de los fluidos mineralizantes, ambos son pruebas a favor de la existencia del plutón Marea del Portillo.



Mapa del Recálculo Ascendente (500m) de la Reducción al Polo del Campo Magnético Ta, definiendo la posición del intrusivo Marea del Portillo.

LA AEROGAMMA ESPECTROMETRÍA UNA HERRAMIENTA EFICAZ COMO BASE DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA: GUAMÁ DEL SUR - BAYAMITA EN LA SIERRA MAESTRA, UN CASO DE ESTUDIO

Beatriz Rodríguez Basante, Roberto Sánchez Cruz, Jesús Moreira Martínez.

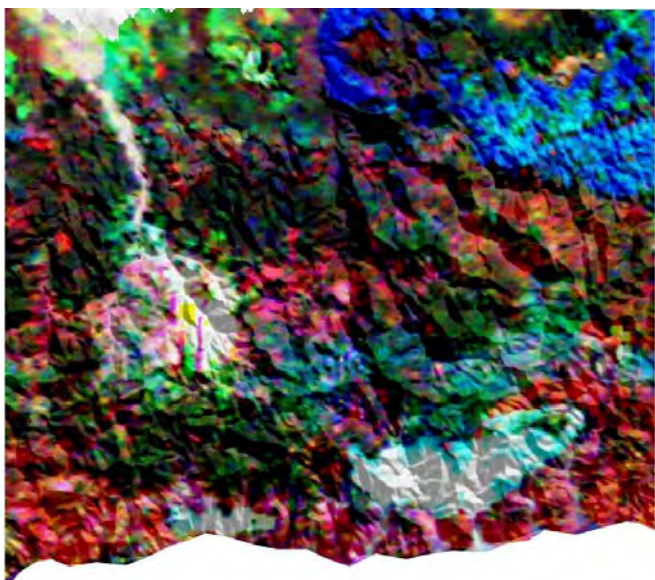
Instituto de Geología y Paleontología.

La eficacia de los métodos gamma espectrométricos, pese a ser hartamente conocida, ha sido poco empleada en toda su potencialidad en la geología cubana. Su uso, que generalmente se ha constreñido a las escalas más regionales y a resolver tareas de igual índole, es aquí extendido a tareas más amplias dentro de la cartografía geológica: deslinde litológico, caracterización y/o subdivisión de los intrusivos, mapeo de zonas de alteración y de perspectiva minera entre otras.

La Sierra Maestra, cubierta de vegetación, con amplio desarrollo de cortezas de intemperismo y un relieve desmembrado que implica una adquisición de datos en los límites superiores de la condicionalidad del levantamiento (80-100 m de altura), es un escenario difícil donde el éxito con la utilización de dichos métodos asegura su resolutivez en otros escenarios más favorables de la geología cubana. El plutón Guamá del Sur-Bayamita y sus alrededores, repletos de incógnitas geólogo-geofísicas por resolver es un buen ejemplo.

Se utilizan los métodos gamma espectrométricos y se cartografían mediante variantes de sus mapas, incluyendo los ternarios (RGB) y el análisis espectral, las diferentes variedades litológicas de las zonas afloradas de dicho intrusivo, se comprueba la correspondencia de algunas de las anomalías radioactivas con las cúpulas de ruptura de necks ciegos supuestas por la cartografía magnética. Se utiliza la relación Th/K para definir las zonas más perspectivas para la aparición de mineralización. Como apoyo en la interpretación, el trabajo se complementa con resultados del levantamiento gamma pedestre integral y el canal magnético del levantamiento aerogeofísico complejo.

La integración de datos, tanto provenientes de investigaciones anteriores, como más actuales, y el análisis estadístico de las diferentes magnitudes, permiten una evaluación eficaz del sector. La correlación con los datos del relieve, tan influyente en este caso, brindan a la interpretación un tono novedoso dentro del quehacer de la interpretación geofísica tradicional en Cuba.



Mapa Ternario del Sector, donde se identifica el intrusivo Guama del Sur – Bayamita como A.



EVALUACIÓN INTEGRAL DE LOS TRABAJOS DE VERIFICACIÓN TERRESTRE DE LAS ANOMALÍAS AEROGAMMA-ESPECTROMÉTRICAS DE LA REPÚBLICA DE CUBA.

Roberto Sánchez Cruz, Beatriz Rodríguez Basante, Juan Jesús Moya Rodríguez, Magalys Fuentes Rodríguez, Fidel Prieto Castro, Leodegario Lufriú Díaz, Antonio Oviedo Balbín.
Instituto de Geología y Paleontología

Entre 1979-1993 se efectuó el levantamiento AeroGammaEspectrométrico (AGE) 1: 50000 de Cuba, que incluyó la verificación terrestre de unas 300 anomalías. Muchos opinan que esta es la parte más débil de los trabajos realizados, sin embargo, esa afirmación siempre ha sido subjetiva. Durante la evaluación de todos los resultados contenidos en 18 extensos reportes, mayormente en ruso, se comprobó que efectivamente la verificación terrestre de las anomalías AGE presenta errores metodológicos graves que afectan la credibilidad de la información, cuya calidad no se encuentra al mismo nivel en todos los informes existentes, no obstante, estos trabajos costaron millones de pesos y con esta evaluación se rescata lo valioso de la misma.

Los resultados se presentan en forma de tabla, donde se revisa, controla, agrupa, generaliza y traspasa a soporte digital, bajo conceptos análogos, todos los resultados de la verificación terrestre de anomalías AGE de Cuba. Por primera vez también puede resumirse qué se hizo y qué falta por hacer; cuantas anomalías restan sin explicar, cuantas necesitan ser reverificadas y lo más importante, la detección de nuevos sectores perspectivas para la aparición de mineralización aurífera, motivos futuros de prospección.

Se brindan algunos criterios cuantitativos de la evaluación de la calidad, se muestran los mapas digitales de la verificación en escalas regionales y las perspectivas a priori de los futuros prospectos en el país. El principal resultado práctico radica en que por primera vez se conoce todo acerca de las anomalías AGE verificadas en Cuba: volúmenes por métodos, características de las anomalías: dimensiones, intensidad, naturaleza, explicación geológica y otras.

El Servicio Geológico Nacional cubano ahora puede establecer recomendaciones concretas para la prospección de mineralización endógena de metales preciosos, cupro-polimetálicas, de skarnes y de materias primas potásicas o fosfáticas, sobre la base del Levantamiento AeroGamma-Espectrométrico de Cuba, fundamentalmente en las áreas perspectivas, gracias a la generalización y reevaluación realizada.

PROYECTO	VOL(Km2)	TOTALANOM	VOLTOTALVERIF	ITINERGEOLOG	ITINRAD	ITINMAG	MEDGAM-ESP	MUESTREO
PRS-E 1987	5500	42	8	22.98	22.98	4.78	260	35
H-M 1986	5367	165	40	79.12	78.58	9.6	1004	164
PRN-G 1980	3670	40 ? (32 y 8)	0	0	0	0	0	0
SC 1981	8243	?	3 (?)	4.5 (?)	4.5 (?)	0	1.55 Km (?)	20 (?)
C 1982	4201	7	7	32.1	32.1	2.9	221	95
M-C 1982	2420	7 set. recomend	2	6.2	6.2	0	18	0
H 1982	5760.5	228	18	1	1	1	1	1
GN 1983	2705.2	12	12	28.7	30	3.7	457	103
CA-C 1984	9324.3	27	27	67.73	63.56	32.51	955	184
IP 1984	2190 (1:25000)	31	31	64.85	67.33	36.54	1191	227
VCN	6823.3	23(3 Anom Mag.)	23	52.02	61.4	34.5	608	160
Hab 1987	2915	41	9	27.82	27.82	0	330	57
SM	5320	299	30(?)	62.84	53.94	53.94	897	24
E 1994	4080(3983)?	190	9	14.82	14.82	14.82	256	19
GS 1991	4874.87	251	21? (18 ó 25)	37.56	37.56	37.56	642	126
NG 1988	9597.24	44	31	70.94	70.94	58.92	732	196
B - C 1989	9357.64	7	4	3.66	3.66	1	46	10
PM 1990	5710	138	31	56.26	56.26	56.26	730	137

Principales Volúmenes de los Trabajos de Verificación Terrestre de Anomalías Aerogamma-Espectrométricas.

PRIMERA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2005.
Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de Abril del 2005.



RESULTADOS DE LA UTILIZACIÓN DEL GEORADAR (GPR) EN LA EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS LATERITICOS DE CUBA ORIENTAL

Ing. Jorge E. Acosta Breal⁽¹⁾, Ing. Maria Gentoiu⁽¹⁾, Dr. Waldo Lavaut Copa⁽¹⁾, Ing. Marcial Guerra⁽¹⁾, Ing. Orlando Dussac Tamayo⁽¹⁾, Ing. Lázaro Fernández⁽²⁾

(1) Empresa Geominera de Oriente, carretera de Siboney Km21/2, Alturas de San Juan, Alta Vista, Santiago de Cuba, Cuba.

(2) Empresa comandante Che Guevara, Moa, Holguín

RESUMEN

El creciente interés en el estudio de los minerales existentes en las cortezas de intemperismo tropicales induce a la búsqueda de tecnologías y metodologías que permitan un cálculo confiable y económico de esos recursos minerales.

El tradicional uso de redes de pozos para el cálculo de los recursos minerales en cortezas lateríticas, resulta por lo general insuficiente y poco preciso, al no poder evaluar adecuadamente la variabilidad de los espesores de la capa mineral, para lo cual serían necesarias redes extremadamente densas de perforaciones (del orden de 4 x 4m, según muchos autores) que resultan económicamente imposibles.

Los métodos geofísicos en la actualidad resuelven ese problema, especialmente el del Georadar, con un amplio potencial demostrado en la definición del modelo geológico de esos depósitos y en la planificación minera. El Georadar permite obtener imágenes del subsuelo con altísima resolución lateral y vertical y definir con seguridad los contactos entre las limonitas y las serpentinas blandas y entre estas y las rocas del basamento. También detecta relictos de rocas dentro de las lateritas y zonas de agrietamientos en el basamento.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en varios yacimientos de la región de Moa, ubicada en la parte Norte Oriental de Cuba, sectores: Yagrumaje Norte, Moa Oriental y Punta Gorda. En los Radargramas obtenidos se separan con una alta resolución las interfases entre las limonitas y saprolitas y entre estas y las rocas consolidadas.

ABSTRACT

The growing interest in the study of the ores in the lateritic weathering profiles induces to the search of technologies and methodologies that allow a reliable and economical estimate of these mineral resources.

The traditional use of a boreholes grid for the calculation of the lateritic ore mineral resources is in general insufficient and not very precise, not being able to evaluate properly the variability of the thickness of the mineral layer because it would be necessary an extremely dense grid of drilling (4x4 m, according to many authors), which is economically too expensive.

In the present, the geophysical methods solve the problem, especially GPR with a wide potential demonstrated in the definition of the geologic pattern of those deposits and in the mining planning. The GPR allows to obtain images of the underground with high lateral and vertical resolution and to define the boundary between the limonites and the soft serpentines and between these and the parent rocks of



the basement. It also detects blocks and pebbles of unweathered rocks inside the laterite and areas of cracking in the basement.

In this work are shown the results of the investigations of several laterite deposits of the Moa region, located in the North-Eastern part of Cuba, within the sectors called Yagrumaje Norte, Moa Oriental and Punta Gorda. In the obtained Radargrams are separated with a high resolution the boundary between the limonites and saprolite and between these and the consolidated rocks.

INTRODUCCIÓN

En la región Norte-Oriental de Cuba, se localizan importantes yacimientos lateríticos que sirven de sustento a una importante producción de níquel más cobalto y a una industria en la que se invierten cuantiosos recursos para su desarrollo.

La preparación de las reservas geológicas que garanticen el desarrollo de la industria niquelífera nacional, se convierte en un objetivo priorizado de los geólogos y geofísicos cubanos.

En este trabajo se demuestra que la utilización de la técnica geofísica conocida como Georadar o GPR (Ground Penetrating Radar) aporta la información geológica necesaria para realizar un eficiente cálculo de recursos y proceder a una adecuada planificación minera, con más eficiencia y menos costos que mediante las metodologías tradicionales basadas fundamentalmente en pozos de perforación.

La técnica GPR produce imágenes de alta resolución de la corteza de intemperismo, y permite resolver entre otros problemas geológicos los siguientes:

- ♦ Delimitar la frontera entre la capa de ocres estructurales finales y los ocres estructurales iniciales (saprolita fina).
- ♦ Definir el límite entre los ocres estructurales iniciales y la roca madre lixiviada (saprolita gruesa).
- ♦ Definir el contacto entre la roca madre lixiviada y el basamento rocoso.
- ♦ Cartografiar la presencia de núcleos de rocas, dentro de los ocres.

Entre las variables geológicas que intervienen en el cálculo de recursos en estos depósitos se destaca, por su extrema variabilidad, la potencia de las capas productivas, sobre todo en el límite con las saprolitas y el basamento o de los ocres con el basamento. Para obtener su modelación adecuada mediante perforaciones, serían necesarias redes de 8 x 8 m, según los resultados de destacados especialistas cubanos, lo que elevaría considerablemente los costos de la investigación. Este problema se resuelve definitivamente mediante la prospección con Georadar, que permite definir esas interfaces mediante imágenes continuas muy resolutivas, proporcionando informaciones cualitativas y cuantitativas muy exactas.

ALGUNOS ASPECTOS SOBRE LA GEOLOGIA DE LOS DEPOSITOS LATERITICOS.



Los yacimientos lateríticos se desarrollan en todos los macizos de rocas máficas y ultramáficas ofiolíticas del país que ocupan en la región oriental un área total de 3400 Km², de los cuales 835 Km² (el 25%) están cubiertos eluvialmente por una corteza de intemperismo laterítica de 10 m de potencia promedio, desarrollada en la región de Moa y la meseta de Pinares de Mayarí, parte nort-oriental de Cuba. Estos depósitos comenzaron a ser estudiados en la década del 50 del siglo pasado por compañías norteamericanas, pero, solo a finales de ese decenio se comienza su explotación con la instalación de una moderna industria de proceso ácido.

La parte oriental de Cuba incluye terrenos amesetados y de suave pendiente (principalmente 5-15 °), con cotas +50 hasta +900 m, prolongadamente (Maestrichtiano-Paleoceno hasta el Reciente). La mayor parte del área de los macizos está constituida por ultramafitas harzburgitas serpentinizadas en un 40-90%, de procedencia oceánica toleítica (23% de olivino y 76% de piroxeno rómbico enstatita).

La corteza de intemperismo laterítica, independientemente de la altimetría del terreno respecto al nivel del mar, presenta una misma estructura litológica zonal, con uno hasta seis litotipos, donde se distinguen dos zonas inestructurales (globulada, terrosa) y cuatro estructurales (con relictos de la estructura primaria de la roca madre, fragmentaria, polvosa), ubicadas inmediatamente por debajo de las primeras. Según la composición zonal, se establecen tres tipos litológicos de perfiles de intemperismo: inestructural (con uno o dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibsíticos); estructural incompleto (con dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibsíticos y un litotipo estructural limonítico gibsítico); y estructural completo (con dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibsíticos, un litotipo estructural limonítico gibsítico y un litotipo estructural serpentínico- arcilloso limonítico) . Fluctuantemente, por debajo de cada perfil ocroso yacen las zonas litológicas de rocas madres lixiviadas y agrietadas, que completan el espesor total de alteración hipergénica de las rocas madres.

La presencia, difusión areal y potencia de los tipos litológicos de perfiles de intemperismo se controlan por la variación de la pendiente del terreno, el microclima, fisuración tectónica y el quimismo y mineralogía de las rocas madres ultramáficas (magnesialidad, ferrosidad-aluminosidad, cantidad y tipo de piroxeno y serpentinas), siendo más desfavorables los tipos menos serpentinizados, más antigoritizados y más piroxénicos, así como los terrenos con frecuentes pendientes entre 15 y 35°, y los ubicados en microclimas menos lluviosos (menor de 1500 mm/año).

Las Cortezas de Intemperismo Ferroniquelífera-Cobaltífera cubanas litológicamente están formadas por las zonas (capas u horizontes) que se recogen en la Tabla No.1

La extrema variabilidad lateral de los perfiles lateríticos fundamentalmente en los límites entre los ocos estructurales iniciales y la roca lixiviada o en su ausencia con la roca madre, impiden que las tradicionales redes de pozos pueden reflejar una imagen real de esos contactos y de las potencias de las capas limoníticas. En las figuras esquemáticas 1,2 y 3 que a continuación incluimos se observan algunos de los escenarios posibles donde las



perforaciones no son capaces de dar la imagen real del corte litológico, induciendo a significativos errores en la definición de los espesores de las capas y el posterior calculo de recursos.

Zonas Litológicas Genéticas	Litotipos cubanos	Léxico literario	Tipos de Perfiles de Intemperismo
Zonas de deshidratación y globulación de hidróxidos de hierro	Ocre inestructural con concreciones ferruginosas (OICP)(perdigón y coraza)	Ferricreta	Inestructural laterítico goethítico-hematítico gibbsítico
Zona de ocretización completa	Ocre inestructural sin concreciones ferruginosas (OISP)	Limonita= Tierra roja	Inestructural laterítico goethítico-gibbsítico
Idem	Ocre estructural final (OEF)	Limonita= Saprolita fina	Estructural laterítico goethítico-gibbsítico
Zona de ocretización parcial	Ocre estructural inicial o semiocre (OEI)	Saprolita media	Estructural saprolítico goethítico-serpentínico
Zona de lixiviación y ocretización inicial	Roca madre lixiviada y ligeramente ocretizada (RML)	Saprolita gruesa	Estructural saprolítico serpentínico-arcilloso
Zona de agrietamiento	Roca madre agrietada con mineralización zonal hipergénica filoniana y masiva (RMA)	Roca madre	Estructural saprolítico serpentínico querolítico

Tabla No.1. Estructura litológica de las cortezas de intemperismo de ultramafitas de Cuba Oriental (W.Lavaut, 1987).

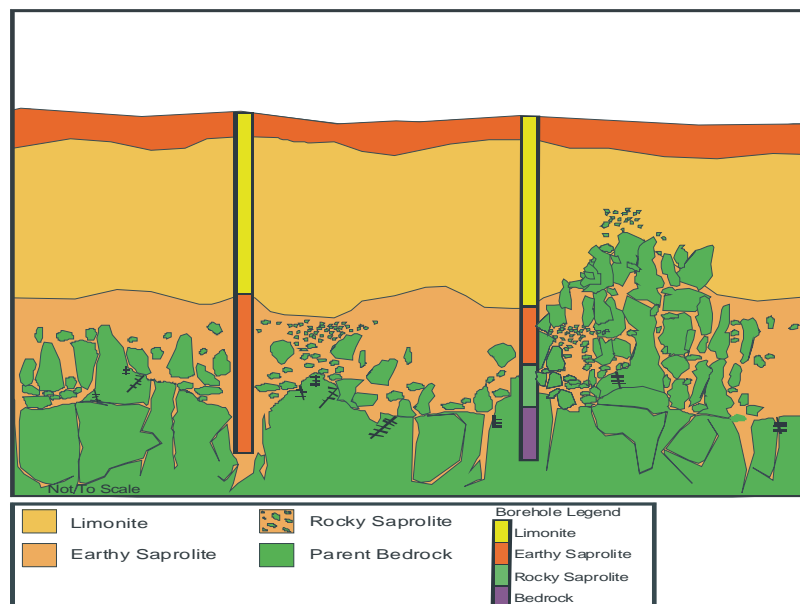




Fig. 1 Situaciones que inducen a errores en la estimación de las potencias de las capas limoníticas. . (J Francke, 2001)

En la figura precedente se aprecia que la red de pozos no puede encontrar pináculos como el que existe en la parte derecha, o se introducen por grietas rellenas de lateritas, ofreciendo una imagen distorsionada de los espesores reales de los ocre.

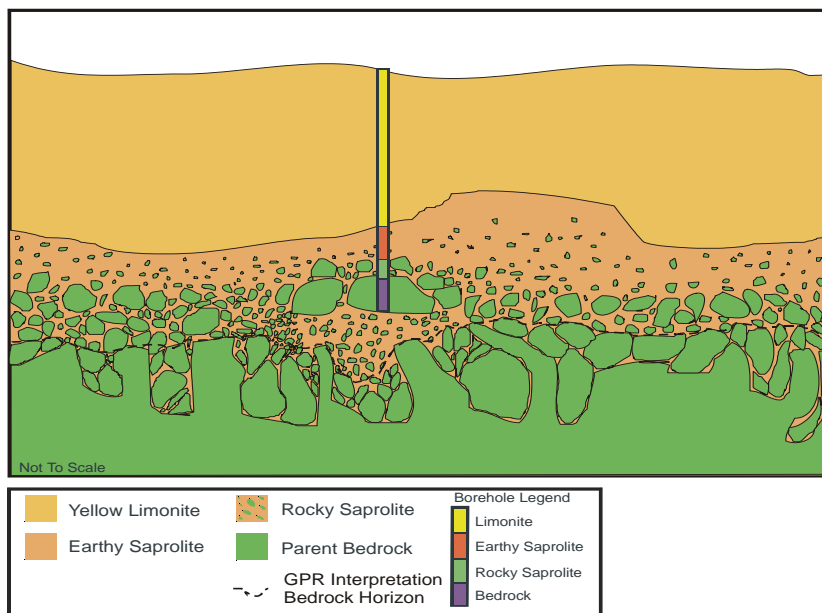


Fig. 2 Los pozos se detienen en núcleos de rocas flotantes dentro de las limonitas o saprolitas. (J Francke, 2001)

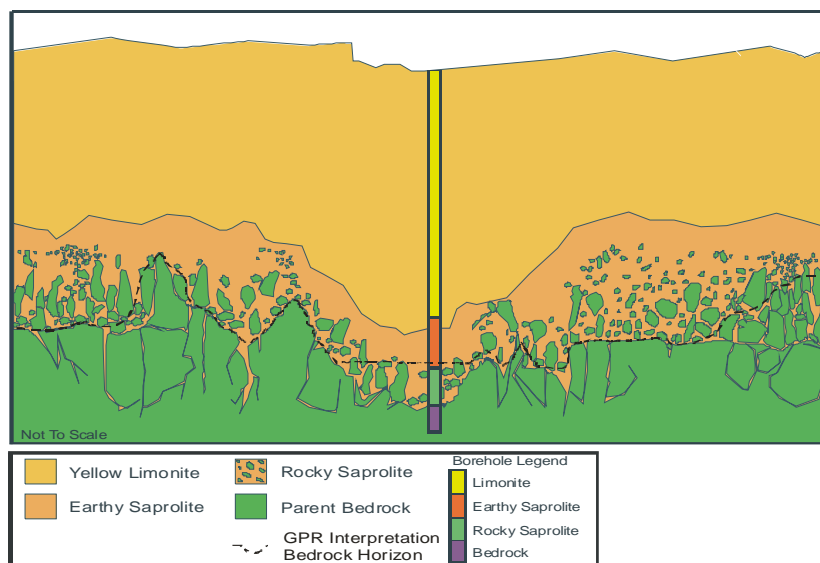


Fig.3 Los pozos penetran por grietas o depresiones, conduciendo a errores en la apreciación de los espesores. (J Francke, 2001)

En la figura 2 se muestra otro escenario donde la red de pozos no es capaz de esclarecer el corte geológico. El pozo no puede definir que encontró un relicto rocoso.

En la figura 3, el pozo encuentra una depresión quizás producida por una falla con pocos metros de ancho y al correlacionar este pozo con el siguiente la potencia estimada de los ocre es errónea.

PRINCIPIOS DE APLICACIÓN DEL MÉTODO

El GPR se basa en la emisión de un breve pulso de energía electromagnética a través de una antena emisora hacia el subsuelo con una frecuencia única que puede variar entre 12.5 y 2000 Mhz. Cuando el pulso alcanza una interfase donde existe un contraste en la constante dieléctrica, ocurren fenómenos análogos a los registrados en la sismica de reflexión cuando cambia la impedancia acústica. Una parte de la onda es reflejada y regresa a la superficie donde es captada por la antena receptora, mientras que la energía remanente continúa su recorrido hasta la siguiente interfase.

Nuestra experiencia indica que las profundidades alcanzadas por las ondas Radar en las limonitas son significativas, debido probablemente a diferentes causas, entre ellas:

- ♦ El fuerte contraste existente entre los límites de las capas, especialmente entre los OEF y OEI y el basamento.
- ♦ En los ocre se produce una lixiviación de los minerales conductores, favoreciendo el transito de la señal por este medio sin que se produzca su total atenuación.
- ♦ La porosidad contrastante entre la capa limonítica y la saprolítica y entre estas y la roca madre.



El principal objetivo en la exploración de las lateritas es definir el límite entre los ocres y la roca madre, que por lo general, constituye la frontera de la minería. La imagen de este contacto se obtiene nítidamente por la técnica Radar, posiblemente debido a las cantidades contrastantes de agua existentes en ambas capas. En los ocres y las saprolitas el contenido de agua es alto por la presencia de minerales arcillosos y mayor cantidad de poros, determinando que la velocidad de propagación de las ondas sea relativamente pequeña, mientras que en el basamento disminuye drásticamente la cantidad de agua y las ondas electromagnéticas alcanzan velocidades mucho más altas, produciéndose en ese límite una fuerte reflexión.

EQUIPAMIENTO UTILIZADO Y TRABAJOS DE CAMPO

En la captación de los datos se utilizó el sistema Georadar Ramac GPR™, el modelo mas moderno que la prestigiosa firma Mala Geoscience, de nacionalidad Sueca, tiene en el mercado.

El Sistema Ramac exhibe el orgullo de diseño por el cual Suecia tiene una bien ganada reputación. Este sistema está diseñado para funcionar con verdadera tecnología de 16 bits. Configurado con un poderoso procesador de 32 bits, el RAMAC GPR™ se vanagloria del más alto índice de repetición de pulsación (100kHz) y el índice más alto de exploración (hasta 200 exploraciones por segundo). En su clase ningún otro equipo presenta tan buenas características, que garantizan por un lado la mayor profundidad de estudio debido a su mayor potencia de pulsación de 100kHz y por el otro una gran calidad en sus mediciones al realizar mas de 200 mediciones repetidas por segundo para cada dato medido, lo que permite disminuir, hasta eliminar los ruidos geológicos y detectar reflectores débiles o pequeños a mayor profundidad.

Las mediciones se realizaron por líneas, con paso de medición 1metro, utilizando una antena no protegida de 50 Mhz.

El procesamiento incluyó varias etapas, entre las cuales: Determinación del cero, ganancias, filtros, la determinación de las velocidades para la conversión de profundidades y la corrección de alturas.

El cálculo de las velocidades se realizó utilizando el modo de operación CMP (common midpoint), el análisis de las hipérbolas en los radar- gramas y la correlación con pozos de perforación.

En la figura 4, aparece una imagen de una comisión de Geominera en operaciones de campo en el yacimiento Moa Oriental.



Fig.4 Comisión de georadar en operaciones.



Fig.5 Imagen característica de los yacimiento lateríticos de Cuba Oriental.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este trabajo presentamos ejemplos de trabajos realizados en varios yacimientos de la región de Moa.

Yacimiento Moa Oriental

Se ejecuto una campaña de radar realizada entre los meses de abril y mayo, ejercicio demostrativo para la compañía Moa-Nickel SA. que opera en la región de Moa.

Los radargramas obtenidos poseen una óptima calidad. Con la antena utilizada se logran profundidades de alrededor de 20m, suficientes para el estudio del corte laterítico en el sector prospectado.



A continuación realizaremos una breve discusión de los perfiles que se presentan.

En el área investigada existe una red de perforación de 33.33x 33.33 m, como se observa en la Fig. 6., que muestra el radargrama por la **Línea-8**. Antes de analizar la correlación entre los pozos y los resultados del Georadar debemos tener en cuenta las diferencias de origen entre un método y otro para la separación de los límites entre las distintas capas investigadas.

En el caso de la perforación los límites se establecen a partir de los resultados de análisis químicos, criterios económicos, características visuales de los ocre, entre otros. En el caso del método geofísico los límites entre las capas se definen por los contrastes de las propiedades físicas: constante dieléctrica y permeabilidad Magnética.

Por estas causas no debe esperarse una coincidencia exacta entre ambos métodos, a lo que se suman las limitaciones de la perforación para evaluar la variabilidad lateral y vertical de los límites entre los ocre y las saprolitas y entre estos con las rocas madres como se explico en las figuras 1,2 y 3.

En la Fig.6(línea 8) se aprecia una correlación entre el resultado del georadar y la perforación buena, estableciéndose las mayores diferencia en la parte central del perfil.

En el radargrama obtenido, se aprecia con nitidez el contacto entre los OEI y las rocas saprolíticas con el basamento delimitado por una línea de color marrón. Los colores mas intensos del radargrama definen las rocas del basamento menos alteradas.

La línea verde representa el límite entre los OEI y la roca saprolítica, más desarrollada en la parte oeste del perfil. Como se observa es menos nítido el límite entre las saprolitas y los ocre, representados por el color blanco en el radargrama, sin embargo se puede establecer sin dificultad.

El color rojo de la parte inferior de los pozos representa la presencia de la roca madre, el azul los ocre y el verde las rocas saprolíticas. El color rojo en la parte superior describe los ocre inestructurales.

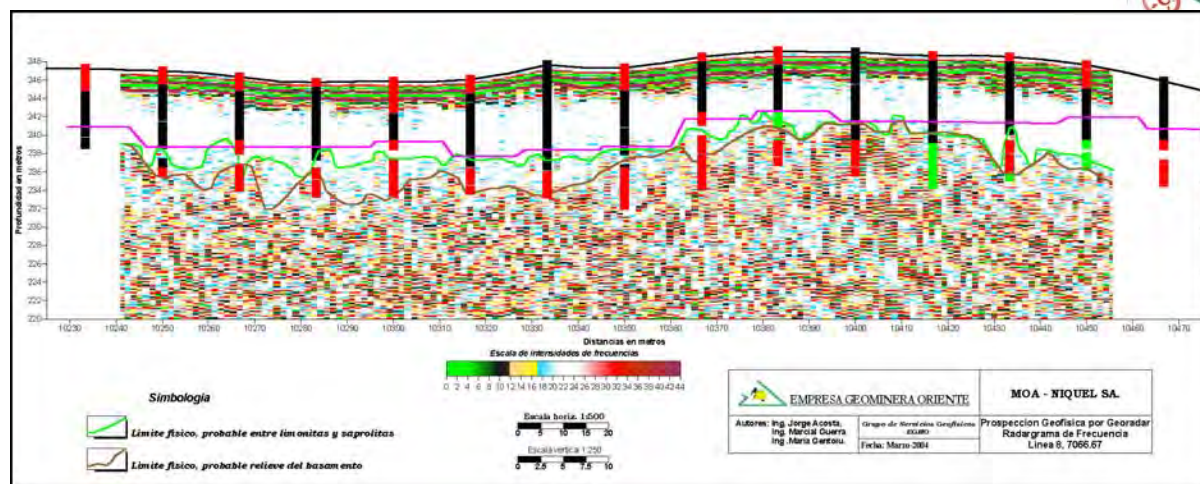


Fig. 6 Radargrama por la Línea-8. Yacimiento Moa Oriental

Yacimiento Yagrumaje Norte

En este Yacimiento se estudiaron varios perfiles situados aproximadamente en su zona central, en los que existía una red de perforación previa de 23.5x23.5 aproximadamente.

En el perfil PYN2, Fig. 8, en el radargrama obtenido se delimita por una línea de color magenta, el contacto entre los OEI y la Roca Madre. Puede observarse la gran variabilidad lateral de este limite y como la relativamente densa red de perforaciones no es suficiente para modelarlo con precisión.

En el extremo Oeste del perfil el pozo P-213, es evidente que encuentra un relicto rocoso y no llega al basamento. En esta zona el radargrama muestra algo mas a la izquierda de este pozo y en profundidad, la presencia de reflexiones y pequeñas hipérbolas, que están indicando que dentro de la masa ocrosa existen relictos de rocas con diámetros superiores a 1m, o rocas de menores diámetros pero agrupadas. En general en este corte se aprecia la presencia de numerosos relictos de rocas, englobados en líneas de color púrpura, que se caracterizan por intensos puntos de reflexión. Estos también pueden estar determinados por pequeños fragmentos de rocas agrupados o zonas con concreciones de hierro o silicificadas.

Entre los pozos P-05 y (P-86), se observa en el perfil que el basamento rocoso se acerca a la superficie, formando un pináculo, que no puede ser detectado por la perforación. Estos pozos están situados en zonas de agrietamiento como lo indica el radargrama y lo ratifica el perfil magnetometrico (que se muestra sobre esta imagen)por mínimos del campo.

Este perfil refleja nuevamente las limitaciones de la perforación para obtener una imagen real de la variabilidad lateral y vertical de los espesores de la corteza de intemperismo, que solo puede ser lograda con el uso de la técnica GPR.



La correlación entre la perforación y el resultado geofísico en este perfil es buena al existir diferencias poco significativas generalmente inferiores a 2 metros

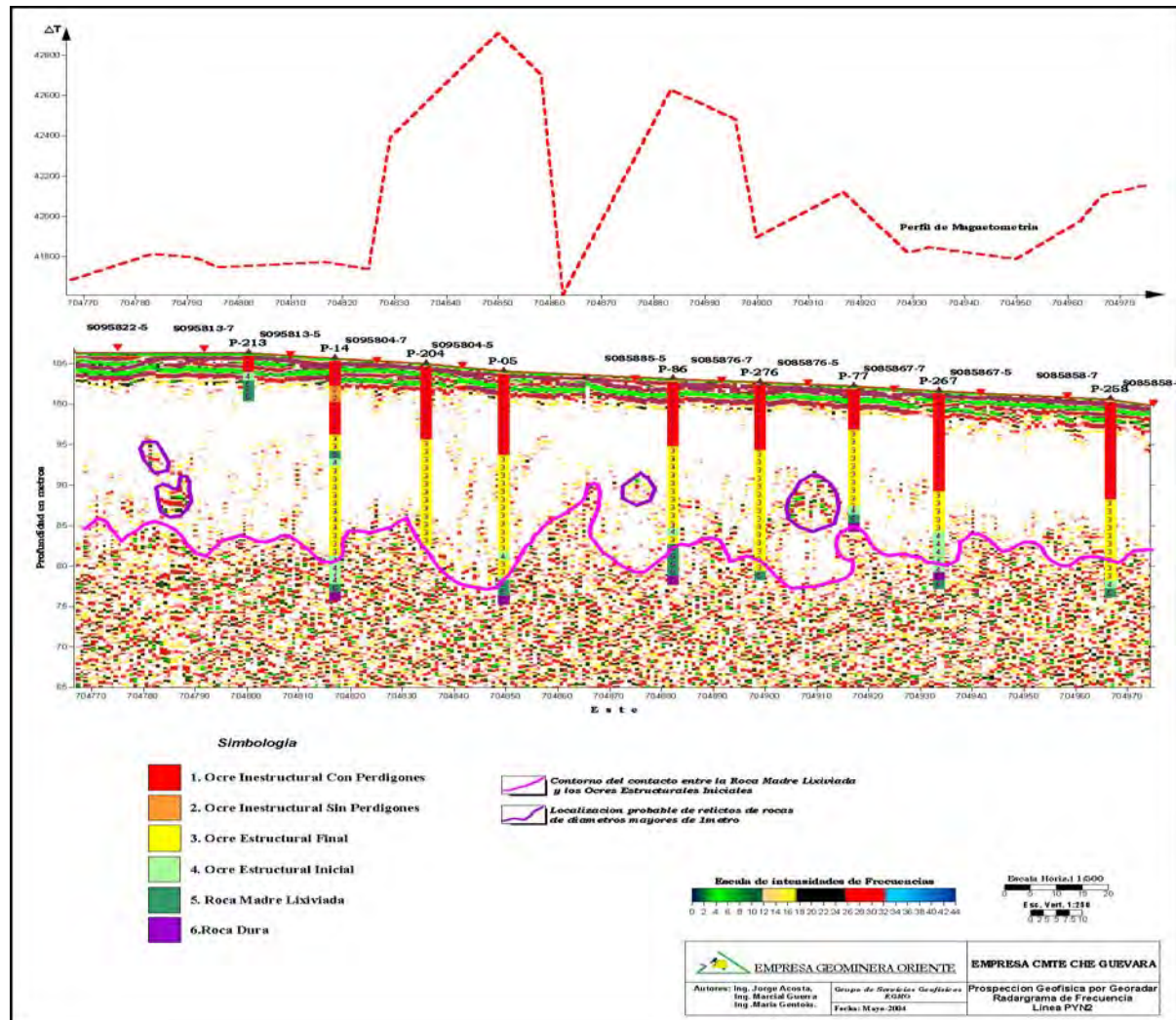


Fig.7 Radargrama en el yacimiento Yagrumaje Norte.

Yacimiento Punta Gorda

En este yacimiento se realizaron varios perfiles en el frente de explotación, demostrando las ventajas que ofrece la utilización de la técnica radar en la planificación minera.

Los perfiles se ejecutaron sobre un área escombreada como se aprecia en la Fig. 8. En el radargrama se establece claramente el límite (línea de color magenta) entre los ocres estructurales finales y el basamento. Mediante contornos de color púrpura se cartografiaban dentro de los ocres zonas con reflexiones de las ondas electromagnéticas mas intensas que



asociamos a la presencia de relictos de rocas, que por su estructura pudieran constituir los restos de diques meteorizados. Este corte presenta para la explotación una gran complejidad por la presencia de esos numerosos fragmentos de rocas en la mena.

La correlación entre los límites obtenidos por la imagen del georadar y la perforación es buena, siendo las mayores diferencias de alrededor de 2 metros. Una vez mas resulta evidente la limitación de la red de pozos para crear un modelo adecuado de la variabilidad de los contactos entre los ocre y la roca.

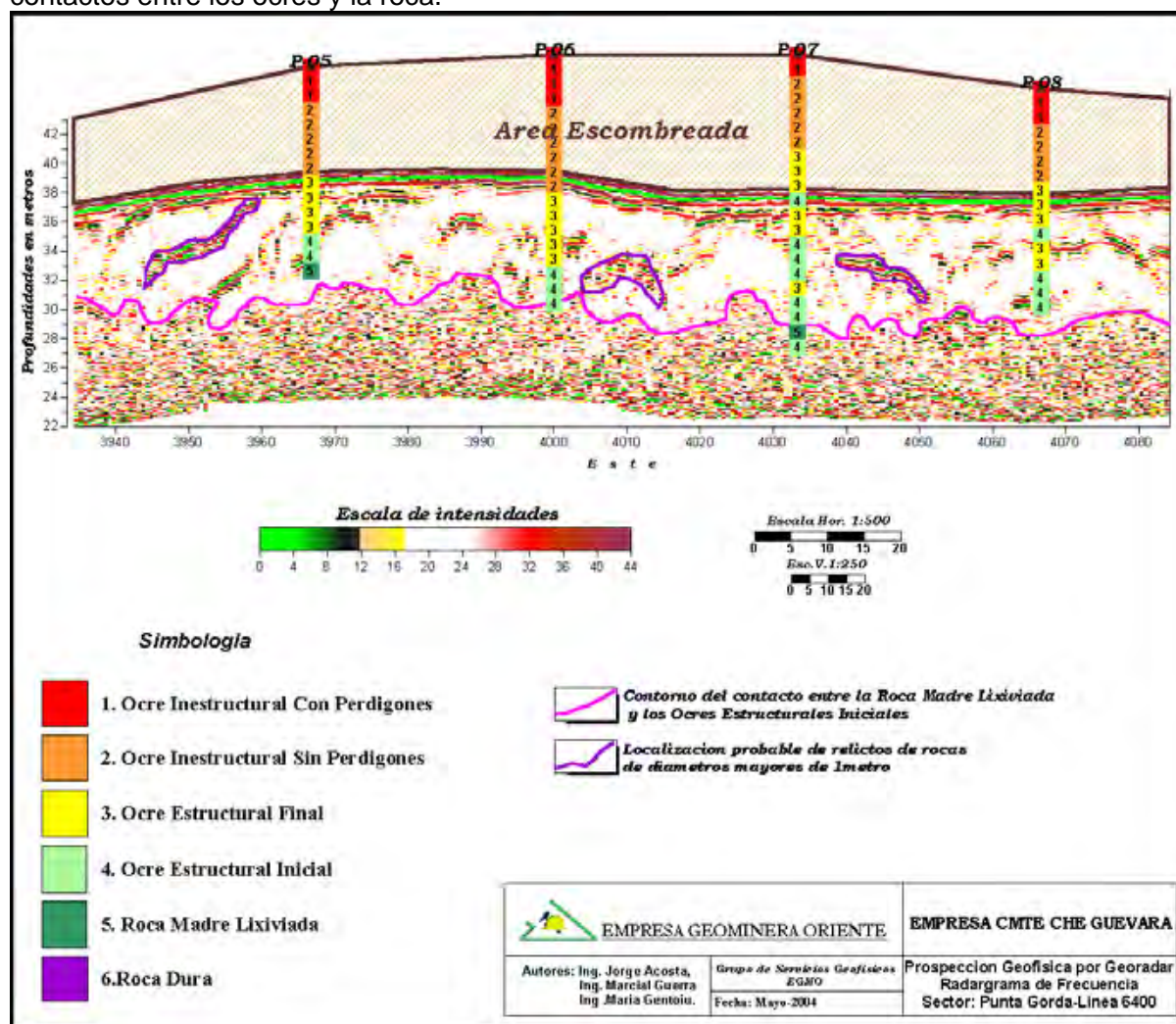


Fig.8 Radargrama en el yacimiento Punta Gorda.

Conclusiones:

- ♦ Los resultados obtenidos permiten cartografiar diferentes capas del corte litológico en las lateritas, con una alta resolución.



- ♦ El límite entre las rocas madres y los ocreos estructurales iniciales se define fuertemente.
- ♦ Se puede delimitar con nitidez el contacto entre la capa de los ocreos iniciales y los finales.
- ♦ La prospección con Georadar constituye una herramienta valiosa en la evaluación de los yacimientos lateríticos, permitiendo determinar la potencia de las capas limoníticas.
- ♦ En el presente, solo la técnica Radar permite lograr un salto cualitativo en el cálculo de recursos en este tipo de yacimiento.
- ♦ Este método geofísico constituye una poderosa herramienta para la proyección de la minería, especialmente por el sistema de bancos.

Referencias

Francké Jean C. 2001, Ground Penetrating Radar Test Surveys, Moa Bay Nickel Project, Moa, Cuba
Lavaut Copa W. 2001, Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba Oriental

EL LEVANTAMIENTO AEROGAMMA-ESPECTROMÉTRICO DE LA REPÚBLICA DE CUBA: SUS CARACTERÍSTICAS y CALIDAD

Roberto Sánchez Cruz, Beatriz Rodríguez Basante, Juan Jesús Moya Rodríguez.

Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca 1002 entre Calzada de Güines y Línea del Ferrocarril. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba, CP 11000. E-mail: rscruz@igp.minbas.cu; moya@igp.minbas.cu; betty@igp.minbas.cu.

RESUMEN

El Departamento de Geofísica del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) como fundamento del Mapa AeroGamma-Espectrométrico (AGE) 1:100000 de la República de Cuba recientemente terminado, realizó un análisis exhaustivo de cada uno de los reportes que contienen de manera diseminada la información sobre los trabajos del Levantamiento Aerogeofísico Complejo a escala 1: 50000 del país. Hasta el momento, la información disponible se reducía a datos parciales que no siempre coincidían con la información dentro de cada uno de los reportes de investigación. Se presenta toda la información existente en soporte Access, para lo cual fue necesaria la revisión de más de 4600 páginas de texto, 280 figuras, 110 tablas y un sin número de otros materiales que aparecen en los referidos reportes.

Por primera vez se tabulan las características de los trabajos separadamente: sus volúmenes por métodos, tipos y escalas y las condiciones de su amarre topogeodésico. Se agrupan los conjuntos según los diferentes parámetros: por ciento de puntos identificados en tierra, altura real del vuelo, cantidad de puntos identificados por Km de vuelo, precisión de cada uno de los canales espectrales...y otros. El análisis está apoyado con mapas comparativos y tablas donde se representan las magnitudes correspondientes de cada uno de los reportes de vuelo para poder evaluar rápidamente toda la información necesaria sobre determinado conjunto de datos en un sector de vuelo o en una región en específico dentro del territorio nacional. El trabajo realizado ha servido para demostrar las bondades y debilidades de los mapas gamma-espectrométricos de Cuba de manera cuantitativa brindándose una evaluación final del trabajo.

ABSTRACT

The Department of Geophysics of the Institute of Geology and Palaeontology (IGP) as a base for the Cuban AirborneGamma-Espectrometric Map (AGE) 1:100000 scale, finished recently, carried out an exhaustive analysis of each one of the fly reports that contain, in a disseminated way, the whole information about that Complex Airborne Geophysical Survey. Up to now, the available information was partial only, that didn't always coincide exactly with the true information inside each one of the existing fly reports.

All the information is presented supported on database management system. During the preparation of database set were checked more than 4600 text pages, 280 figures, 110 charts and other materials from those referred reports.

For the first time are showing tabulated the separated characteristics of the surveys; their volumes for methods, types and work scales and the conditions of their topographical attachment to ground. It appears different groups of sectors according to the characteristics of their parameters: percent of identified points on earth, real height of the flight, quantity of points identified by Km of flight, precision of each one of the spectrometric channels...between others characteristics. The analysis is supported with the corresponding comparative maps and charts, where had been represented the corresponding magnitudes to each one of the flight reports so, that in a quick way, you can evaluate all the necessary information about a group of parameters in a fixed flight sector or in an specific region over Cuban national territory. This work demonstrated the kindness and weaknesses of the gamma-spectrometric maps of Cuba in a quantitative way for first time.

INTRODUCCION

El Levantamiento Aerogeofísico Complejo de Cuba fue dividido en razón de su tamaño en 18 diferentes proyectos de vuelo, correspondientes a 18 diferentes regiones geográficas del territorio nacional, sin que mediase para ello otros criterios que no fuesen: las características del relieve, y un tamaño que permitiese un acceso adecuado desde un aeropuerto cercano que facilitase la economía y logística del vuelo y en última instancia el tiempo de contrato de los especialistas que intervendrían en el trabajo.

Los datos del Levantamiento Aero-Gammaespectrométrico (LAGE) presentados son el resultado del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de Cuba (Magnetometría y Aerogammaespectrometría), en las escalas 1:50000; 1:25000 comenzados en 1979 en las zonas llanas (hasta 1986-87) y que se extendieron hasta 1990-91 con los vuelos sobre las zonas montañosas, (desde 1986-1987), ver Tabla I y fueron todos extraídos de los informes técnicos de vuelo. Los levantamientos de las zonas llanas (portador avión, AN-2) y de las zonas montañosas (portador helicóptero, MI-17), fueron posteriormente unificados en base a los resultados de la Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional diseñada especialmente para este propósito, y volada en 1987, aproximadamente en las postrimerías de la ejecución de los contratos de las Zonas Llanas, antes del cambio del portador, constituyendo este, un reporte de vuelo separado.

La parte cubana contraparte de los contratos se aglutinó en los inicios, en la Empresa Nacional de Geofísica (ENG), perteneciente a la rama de la prospección petrolera y a posteriori alrededor de la Expedición Nacional de Trabajos Geofísicos (E.N.T.G.), luego E.T.G., creada al efecto con ese único fin, ambas de la rama de la prospección de minerales, donde los datos de los vuelos recibían un procesamiento primario y el visto bueno de su calidad. Dado el prolongado tiempo de ejecución del Levantamiento (1979-1993, que incluye el tiempo de la confección de los últimos informes) el state of art lógicamente cambió, lo que puede observarse en las tablas adjuntas.

El procesamiento de la información en Cuba resultó la piedra de toque de todo el trabajo, por las dificultades que traía el montaje y desmontaje del sistema de procesamiento en distintos centros de cálculo. En la Tabla I puede observarse el tránsito en el tiempo de la tecnología de procesamiento de la información y el lugar en que se realizaron dichos trabajos, algo muy importante en conjunto con la totalidad de los factores actuantes pues al final brindarán una idea de los avatares sufridos por la información digital y fáctica que hoy manejamos.

En este trabajo se manejan solo las partes más importantes de las características del LAGE de Cuba. Un más completo análisis de la situación puede ser consultada en el Informe del Proyecto 226, R. Sánchez Cruz et al. 2003.

MATERIALES Y METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS

Los primeros datos aerogeofísicos de los mapas AGE de Cuba fueron procesados en Rusia en 1979, donde continuó esta labor hasta finales del 1987 cuando comenzó el procesamiento en Cuba: primero en el Centro de Cálculo del Ministerio de la Industria Básica y a continuación, alternativamente, en el Centro de Cálculo de la Empresa Nacional de Geofísica primero y la Secretaría de Asuntos Nucleares a posteriori. Mientras

que en el Centro de Cálculo del IVTSSIIGGIMC en Novosibirsk, las máquinas utilizadas fueron las EVM (siglas para máquinas computadoras en ruso) M-222 y continuaron con las EC-1033; en los centros de cálculo de La Habana, la tecnología cambió desde las EC-1020 y 1022 hasta la EC-1035, terminando con la EC-1062, donde se procesaron los datos de los sectores Sierra Maestra y Escambray, últimos en realizarse.

Tabla I. Características Técnicas Generales del Levantamiento AGE a escala 1: 50000 de la República de Cuba.

No.	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	LAGE 1:50000 y 1:25000 Zonas Llanas	LAGE 1:50000 y 1:25000 Zonas Montañosas	LAGE 1:50000 y 1:25000 Red de Apoyo
1	Áreas cubiertas en Km ² .	83285 (75883.88 + 7446.8)	21784 (19562 + 2222)	7290.6 Km.
2	Cantidad de Sectores	14	4	1
3	Medio Portador	AN – 2 avión	MI – 17 helicóptero	AN – 2 avión
4	Velocidad de Crucero en Km/h.	140-180	140 - 160	160-180
5	Fecha de Realización	1979 - 1986	1987 - 1992	1986-1987
6	Aerogamma-espectrómetro	AGS - 71s Ruso	SKAT – 77 Ruso	AGS – 71s Ruso
7	Cantidad de Canales	8	8	8
8	Volumen Cristal de NaI(Tl) en L.	25.4	25.4	25.4
9	Intervalo de Muestreo en s.	1.0	0.28; 0.33; 0.5; 1.0	1.0
10	Resolución Energética según Cs-137 en %	12.7	14.8	11.3
11	Coefficiente de Sensibilidad Promedio	0.884	0.9	0.88
12	Altura de Vuelo en m.	60 ± 5	75 ± 25	60 ± 5
13	Radioaltímetro	RB-2 y RV - UM	APV	RB - 2
14	Cámara de Amarre Fotográfico	AFAG - 17	AFA- 36 AFAG - 17	AFAG - 17
15	Descifrador de Fotonegativos	PDN - 1	PDN - 1	PDN - 1
16	Error Máximo del Amarre Planimétrico en m.	±50	± 50	±50
17	Distancia Promedio entre Puntos de Observación (Km.)	2.3 – 4.6	3.31- 3.4	5.0
18	Identificación de Fotoamarres (en %)	85.1-99.75	99.44 – 100.0	99.9

El orden general de ejecución de los proyectos puede dividirse en dos grandes grupos, los correspondientes a las zonas llanas, volados con un portador AN-2 (avión) y los correspondientes a las zonas montañosas con portador MI-17 (helicóptero), este último arrendado al MINFAR. Debe señalarse también, como puede observarse en la tabla de volúmenes y tiempo de realización del LAGE, más adelante, que este fue un trabajo bastante inefectivo por lo dilatado de su tiempo, en general, tanto durante el período de adquisición de datos como durante la elaboración de ellos y tanto los equipos de vuelo,

como los de procesamiento, en lo referente al personal extranjero, impusieron una serie de requisitos muy difíciles de cumplimentar perennemente, lo que convirtió la logística de ejecución en un verdadero problema, lo que resultó ser la causa principal de las demoras sufridas.

RESULTADOS

Es justo evaluar la importancia que el orden de ejecución tiene para el análisis de las características del LAGE de Cuba por cuanto sobre la base de ese orden pueden ser explicados éxitos y anomalías en textos y mapas, desbordes y carencias. La tabla 7 puede servir de ejemplo a lo que significa la dilación en tiempo entre adquisición y elaboración y entre esta e informe final, tanto en cuanto a la permanencia del equipo de trabajo, sea en una u otra tarea; tanto en cambio de las condiciones objetivo-subjetivas: state of art, metodología de elaboración y/o confección de proyectos, informes, exigencias técnico-productivas u otras.

Estabilidad en la Adquisición de datos y Productividad.

Según pesquisas realizadas dentro de esta investigación, el orden de realización de los vuelos en el terreno fue el siguiente, con entradas y salidas de algunos sectores sin concluirlos, para luego regresar, lo que puede observarse de las columnas de las tablas donde se representa la duración de los trabajos de adquisición de datos:

Pinar del Río Norte.
Santa Clara
Camagüey
Cienfuegos
Holguín
Guantánamo Norte
Ciego de Avila-Camagüey
Isla de Pinos
Villa Clara Norte
Habana-Matanzas
Pinar del Río Sur y Este
Habana
Nuevitas-Guáimaro
Bayamo-Cauto
Red de Apoyo
Pinares de Mayarí
Guantánamo Sur
Sierra Maestra
Escambray.

Creemos importante este orden de ejecución pues puede explicar muchas cosas sobre el tipo de equipamiento utilizado y la calidad de las mediciones obtenidas, así como el grado de informatividad de tal o cuál informe, así como la repetición de parámetros de calidad entre levantamientos consecutivos en el tiempo (desde Guantánamo Sur hasta Escambray). Al parecer el orden de realización tuvo que ver más con condiciones organizativas en los aeropuertos y otros factores logísticos que con el orden lógico de ejecución que vendría dado por el avance organizado en una u otra dirección del territorio nacional, con la salvedad de que las zonas montañosas, como se observa, debían ser dejadas para el final dado el cambio tecnológico que implicaba su realización, producto

del necesario cambio del medio portador; el cambio ulterior del equipamiento de la estación AGS-71s al SKAT-77 también influyó. El tiempo de realización y los volúmenes del LAGE de Cuba pueden ser observados en la Tabla II.

Tabla II. Volúmenes Generales y Tiempos de Ejecución del LAGE de la República de Cuba.

Orden	Sector de Vuelo	Volúmenes (en Km ²)		Duración de los Trabajos de Campo (mensual/anual)		Duración en meses
		1:50000	1:25000	Inicio	Fin	
1	2	3	4	5	6	7
1	Pinar del Río Norte & Güines 1980	3670.0	1496.0	01/79 & 08/79	07/79 & 10/79	10
2	Santa Clara 1981	8243.0	1264.0	10/79	09/80	12
3	Camagüey 1982	4201.0	2517.0	10/80	05/81	8
4	Cienfuegos 1982	2420.0	-	07/81	08/81	2
5	Holguín 1982	5760.5	-	09/81	04/82	8
6	Guantánamo Norte 1983	2705.2	-	05/82	09/82	5
7	Ciego de Avila - Camagüey 1984	9324.3	-	09/82	02/83	6
8	Isla de Pinos 1984	-	2199.8	04/83	06/83	3
9	Villa Clara Norte 1985	6823.0	-	10/83	02/84	5
10	Habana y Matanzas 1986	5367.0	-	12/83	04/84	5
12	Pinar del Río Sur & Este 1987	5500.0	-	04/84	09/84	6
11	Habana 1987	2915.0	-	07/84	01/85	7
14	Nuevitas - Guáimaro 1988	9597.24	-	02/85	11/85	10
15	Bayamo - Cauto 1989	9357.64	-	12/85	04/86	5
13	Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional 1988	7290.46(Km ²)	-	04/86	06/86	3
16	Pinares de Mayarí 1990	6011.0	658.0	05/87	12/88	8
17	Guantánamo Sur 1991	4150.5	724.37	10/88	10/89	10
18	Sierra Maestra 1993	5320	840.0	01/88 10/89 11/90	02/88 06/90 11/90	11
19	Escambray 1994	4080.0	?	06/90	09/90	4

Nota: El signo de interrogación significa que los resultados del procesamiento de las líneas de vuelo de la escala 1: 25000 nunca se procesaron separadamente en Cuba.

El orden de realización de los informes no es tan fácil de discernir de la información existente, pese al dato de la página titular en cada uno de ellos, aunque como se puede observar en casi todos aparecen fechas de realización para los trabajos de gabinete,

elaboración, e informe final, dentro de las primeras páginas del texto, pero... también es cierto que en algunos casos las fechas se solapan entre uno y otro informe.

Casi el 50 % de la información textual se halla en ruso, el 47,4% del total, y algunos de los sectores de vuelos, poseen un solo ejemplar de consulta, lo que hace más vulnerable la información y hasta la realización de este trabajo, nadie había intentado generalizar toda la información y verdaderamente nadie conocía el estado verdadero de ella, sus bondades e ineficiencias.

Condicionalidad Planimétrica.

Los parámetros que bendicen la calidad de cualquier LAGE, están referidos al control de su exactitud planimétrica ante todo, por cuanto el método de foto amarre seleccionado (en 1979 el GPS era un sueño impensable), es más seguro, cuanto mayor es el por ciento de identificación de los puntos en tierra y menor la distancia entre los puntos de amarre. Una vez asegurado la reproducción de los materiales en el plano XY, caemos en el segundo factor de calidad del LAGE: Z o la altura de vuelo. Las condiciones de la estación AGS-71s y el volumen de cristal de NaI(Ta) utilizado obligaron a una altura técnica de entre 60-75m, dejando el límite superior del rango para los sectores de topografía complicada. Los resultados de los controles citados pueden ser observados en la tabla III. El por ciento de condicionalidad explica el grado en que las mediciones en un sector se hallan por sobre la altura máxima permisible para la correcta captación de las radiaciones gamma.

Tabla III. Características de Condicionalidad Planimétrica y Altimétrica del LAGE de la República de Cuba.

SECTORES DE VUELO	PORTADOR	ERROR PLANIMETRICO (m)	Distancia Promedio entre los fotoamarres (Km)	PUNTOS FOTO-IDENTIFICADOS (%)	ALTURA DEL VUELO (m)	CONDICIONALIDAD (%)
1	2	3	4	5	6	7
Pinar del Río Norte & Güines 1980	An-2	50.0	3.8 & 2.3	96.04 & 96.41	75.0 ± 5.0	96.0
Santa Clara 1981	An-2	50.0	3.25 & 3.15	98.6	65.0	98.0
Camagüey 1982	An-2	50.0	3.72 & 3.6	98.5	60.0	100.0
Cienfuegos 1982	An-2	50.0	4.32	99.3	60.0	100.0
Holguín 1982	An-2	50.0	3.7	95.03	60.0	100.0
Guantánamo Norte 1983	An-2	50.0	2.75	96.5	75.0	50.0
Ciego de Avila - Camagüey 1984	An-2	50.0	3.05	95.5	65.0	100.0
Isla de Pinos 1984	An-2	50.0	3.5	97.5	65.0	100.0
Villa Clara Norte 1985	An-2	50.0	4.3	94.6	60.0	100.0
Habana y Matanzas 1986	An-2	50.0	4.6	85.1	60.0 ± 5.0	100.0
Pinar del Río Sur & Este 1987	An-2	50.0	3.5	98.6	60.0-75.0	100.0
Habana 1987	An-2	50.0	3.27	99.2	72.0	100.0
Nuevitas - Guáimaro 1988	An-2	50.0	3.75	99.5	70.0	100.0

Bayamo - Cauto 1989	An-2	50.0	4.34	99.75	72.0	100.0
Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional 1988	An-2	50.0	5.0	99.9	60.0 ± 5.0	100.0
Pinares de Mayarí 1990	Mi-17	50.0	3.4	99.77	75.0 ± 25.0	100.0
Guantánamo Sur 1991	Mi-17	50.0	2.6	99.44	?	100.0
Sierra Maestra 1992	Mi-17	50.0	2.65	100.00	75.00	100.0
Escambray 1994	Mi-17	50.0	3.31	99.5	51.6	100.0

Nota: Pese al marcado en rojo (peligro) de los trabajos de la Red de Apoyo, recordar que las funciones de este tipo de vuelo difieren sustancialmente del levantamiento por perfiles y que por lo tanto la identificación de un punto de fotoamarre por cada 5 Km de vuelo son más que satisfactorias para el enlace entre los distintos polígonos o proyectos de vuelo

La Tabla IV es una de las tablas más completas de las analizadas y habla muy bien de la calidad del trabajo realizado.

Condicionalidad Altimétrica.

La tercera coordenada para la reproducción, Z no está exenta de críticas al analizar los resultados de la tabla III. De los 19 reportes de vuelo, solo 4 (21 %) de ellos presentan junto al valor de la altura media del vuelo, el valor del error en su determinación y solo 2 de ellos (10%), ofrece un resultado diferente a decenas o medias decenas de metros de altura. El peor de los casos ocurre en el sector Guantánamo Sur donde los autores no brindan siquiera la altura promedio del vuelo. Todos estos pequeños deslices crean un ambiente de dudas acerca de la confiabilidad de los datos brindados y la última sensación es que ellos no eran realmente muy tomados en cuenta por los autores, más preocupados en cuanto al control del equipamiento y la calidad de las mediciones que al control de la reproducción-ubicación de los datos.

Al final de la tabla debemos enfrentarnos a la columna de condicionalidad, con un casi perenne 100% en todos los sectores, algo que también despierta sospechas por cuanto viene precedido por lo anteriormente explicado. Como evaluación de la certidumbre de los datos, echamos mano a lo único que poseemos en estos momentos: las matrices recuperadas de los datos de cuatro y medio sectores de vuelo y para ejemplificar, repetiremos el calculo que debió realizarse al final del período de adquisición de datos para conocer la verdadera condicionalidad del sector, calculo que según los autores es 100% (ver tablas correspondientes) o sea que todo el sector había sido volado hasta los 75m de altura.

En la Tabla III observamos que los autores redefinen la altura permisible como **75.0 ± 25.0m**, y es en **el único sector de vuelo donde se define esta altura condicional**, este valor sería correspondiente a aceptar como condicional alturas de vuelo de hasta 100m, algo hasta el momento no aceptado en ninguno de los reportes anteriores. Las cifras más cercanas fueron las del sector Pinar del Río Norte y Güines de $75.00 \pm 5.0m$, volando sobre un sector de mogotes con un avión de alas fijas y muy sabiamente los autores de aquel reporte anuncian una condicionalidad del 96% para su sector.

El sector Pinares de Mayarí es, topográficamente hablando de mediana complejidad, sus puntos álgidos se relacionan en el S con la sierra de la Gran Piedra y las pre montañas de El Cobre al W de Santiago de Cuba y en el N con la meseta de Pinares de Mayarí y el lomerío de Nicaro, ambos sectores de relieve más complejo, puede ser observado en la figura I con tonalidades azules y rojas, correspondientes a alturas hasta 75.0 la primera y mayores que 75.0 y hasta 200.1m la última.

Si nos basamos en el calculo estadístico de las alturas de vuelo, el 9.4% de los valores determinados por el radioaltímetro están por encima de los 75.0m permisibles de altura de vuelo condicional, si ampliamos algo más este margen de condicionalidad hasta los 85.0m de altura, el 5.6% de los valores fueron adquiridos por encima de esta altura, por lo tanto en ningún caso el LAGE del sector Pinares de Mayarí posee un 100% de condicionalidad del vuelo.

Estadística de los datos:

Sector: Pinares de Mayarí
Parámetro calculado: Altura de Vuelo
N=456459
Media.....52.87m
Mediana.....50.38m
Desviación Standard.....17.19
Coeficiente de Variación.... 0.32
Varianza.....295.58

La Figura 1 muestra una los datos de altura por encima (rojo) y por debajo (azul) de la altura condicional a lo largo de las líneas de vuelo para hacer más comprensible lo aleatorio de las mediciones que se obtuvieron, lo que necesariamente implicaría su remoción de la matriz original de datos, lo que no se realizó. Estos datos dudosos, fueron filtrados e incluidos en la matriz original. Un trabajo más acucioso requiere su localización, declaración como dummie y la vuelta al filtrado primario de los datos, si se desea una matriz de datos que realmente responda a los parámetros de la condicionalidad fijados. En otro de los procesamientos realizado, se calcularon los parámetros de anomalía $\mu+\sigma$, $\mu+2\sigma$ y $\mu+3\sigma$ y es curioso que el 84% de la distribución o sea el primer nivel anómalo (70.06m) resultare muy cercano a la altura límite de condicionalidad establecida (75.0m). El segundo nivel anómalo (87.26m), que representa el 97.5% de la distribución, ya está por encima del límite de condicionalidad, así que cualesquier valor por encima del 84% del valor de altura, marcado por 70.06m es anómalo a la distribución de valores según el universo estudiado.

Sin embargo, según los autores de los reportes de vuelo, **el único sector no condicional** del LAGE es el pequeño sector de Guantánamo Norte. El enfrentamiento a dicha área en un portador de ala fija, resultó un reto insalvable para los navegantes, quienes no pudieron asegurar una altura de vuelo menor que 75m en el 50% del área cubierta, dado el fuerte desmembramiento del terreno, restringiendo fuertemente el uso de los datos obtenidos para cualquier tarea ulterior, como reportan los autores en las conclusiones de ese reporte de vuelo. Durante la adquisición se reportaron alturas de vuelo de hasta 300m lo que brinda una idea de hasta donde esta restricción de condicionalidad es severa.

Otra vez el sector Habana – Matanzas se destaca por el cúmulo de parámetros negativos que lo caracterizan. Sin embargo, el sector de vuelo Sierra Maestra, presenta un 100% de

puntos identificados, algo creíble cuando se analiza lejos del dato sobre la segunda menor distancia entre puntos de fotoamarre de todo el LAGE de Cuba (2.65Km): si bien es cierto que los ríos y arroyos mayores son fuentes casi exactas de identificación dentro del paisaje boscoso, la densidad del amarre conspira contra eso pues obligatoriamente muchos puntos deberán caer sobre sectores cubiertos muy difíciles de identificar. Otra vez no hay maneras de conocer la realidad.

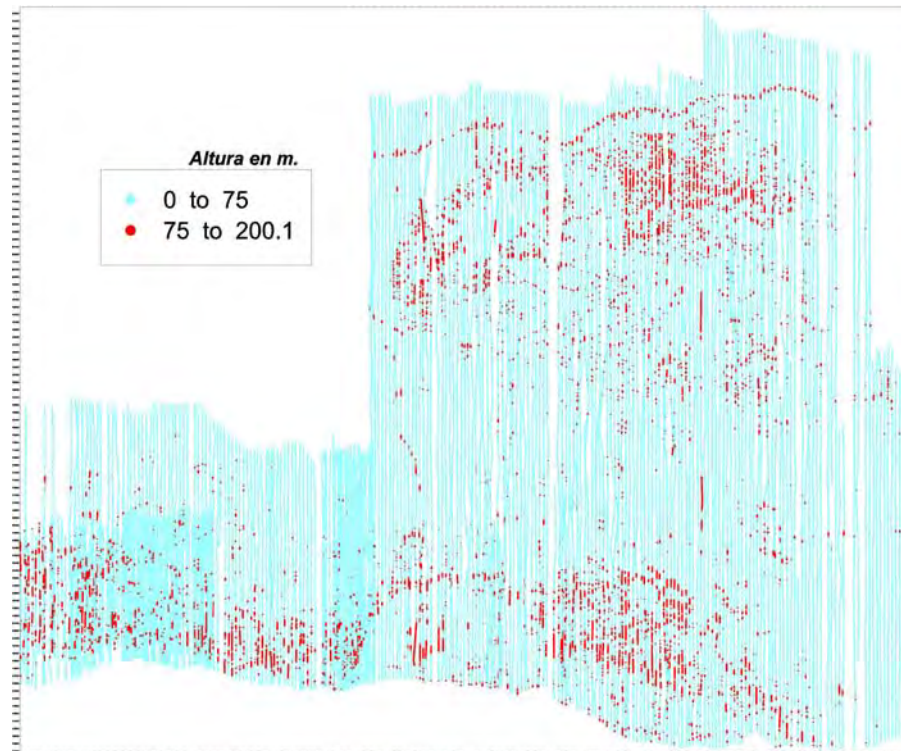


Figura 1. Imagen de los valores de altura en el sector Pinares de Mayarí por encima y por debajo del límite condicional, calculado para cada uno de los puntos de adquisición de datos.

Precisión del LAGE de Cuba.

Los mapas del LAGE de Cuba han sido comprobados y examinados en el quehacer diario durante los últimos 25 años, calificándose excelentemente bien para la escala del trabajo. La calidad del LAGE de la República de Cuba puede ser observada detalladamente en la Tabla V donde se muestra la precisión de las mediciones realizadas a partir de los controles de chequeo. En general la precisión del LAGE de Cuba en escala 1:50000 puede enmarcarse dentro de los siguientes límites:

Tabla V a. Rangos de variación de la precisión del LAGE en escala 1: 50000 de Cuba.

PARAMETROS	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	e_{mc} total
Intensidad Total Gamma (μ r/h)	0.09	0.28	0.16
Concentración Uranio ($n \times 10^{-4} \%$)	0.29	1.64	0.74
Concentración Thorium ($n \times 10^{-4} \%$)	0.7	1.82	0.98
Concentración de Potasio (%)	0.13	0.36	0.22

Sin ninguna clase de duda los peores proyectos en cuanto a la precisión alcanzada de sus mediciones (tomando en cuenta la evaluación de sus resultados repetidos) son: Habana-Matanzas y Habana, los cuáles poseen el mayor error medio cuadrático del conjunto total de datos.

La calidad del arreglo de datos de los parámetros gamma-espectrométricos fue controlada de dos maneras principales: por medio de sus valores repetidos a partir de las líneas de vuelo de control realizadas respecto a las líneas de vuelo primarias a las que nos referimos (Tabla V y V a) y mediante el control del trabajo del espectrómetro antes y después de los vuelos diarios en un lugar prefijado en el aeródromo, sobre tierra o cemento, midiendo los valores de fondo y los valores de los patrones espectrométricos de control o modelos minerales: la Tabla VI muestra el control de estos parámetros.

Otro aspecto importante que debe ser mencionado referente a la Tabla VI referida es en cuanto a la extensión promedio de las líneas de vuelos. Casi la totalidad de los datos que se brindan fueron calculados durante la preparación de este trabajo, a partir del cálculo de la longitud total de líneas de vuelo tomados de los gráficos dentro del texto, entre la cantidad de estas.

En su conjunto, las Tablas V, Va y VI mostradas pueden ser consideradas como las que caracterizan plenamente el LAGE de Cuba en cuanto a su calidad. La concepción metodológica del LAGE incluía un procedimiento de examen de sus variaciones que aseguraba el control estricto de las posibles fuentes de agentes externos que conspiraran contra su estabilidad. En la Tabla VI pueden observarse en conjunto las variaciones del error medio cuadrático a partir de las mediciones repetidas, anteriormente comentado y de las variaciones en la determinación del fondo regional.

La Tabla VII muestra la evaluación de la calidad del LAGE de Cuba dada por sus mismos autores en diferentes partes de sus textos. La tabla no se separa mucho de las inconsistencias en cuanto a la uniformidad de la información brindada por los reportes de vuelo del LAGE de Cuba. Puede verse que solo el 37.8 % de los reportes se detiene a informar la cantidad de cintas analógicas de que consta el proyecto, en el caso del sector Santa Clara, los datos fueron extraídos del gráfico de control de vuelos diario. En ese mismo por ciento, los reportes de detienen a brindar el resultado de su evaluación.

Los primeros informes realizados en Rusia presentan su calificación de Buena sobre la base de la evaluación del material fáctico enviado a San Petersburgo, pero no brindan gradaciones de esta evaluación y se da el caso de Guantánamo Norte que pese a la no condicionalidad del 50% de su territorio es calificado de Bueno.

Elaboración de los Datos del LAGE de Cuba.

Para una mejor comprensión de los procedimientos de elaboración de los datos puede ser vista la Tabla VIII donde aparecen algunas características del sistema de procesamiento de datos, el centro de cálculo responsable y otros datos de interés, los que fueron extraídos de los reportes de vuelo. La tabla es harto elocuente en cuanto a lo que significan las demoras en la elaboración de los datos y las negativas consecuencias que ello trae aparejado y que fueron ya explicadas anteriormente. Igualmente puede ser visto al final la inestabilidad de la permanencia de la elaboración en un determinado centro de cálculo y los inconvenientes que ello conlleva, todos conspirando contra la calidad y

rapidez del procesamiento. Son igualmente destacables las inconsistencias de los reportes de vuelo, realizados en Cuba, en lo referente a la elaboración de los datos al final de la Tabla VIII.

En la tabla IX se muestran las características del procesamiento de la información. la ausencia de datos refleja la superficialidad con que se enfrentó este aspecto por parte de los ejecutantes.

Equipamiento Utilizado durante el Procesamiento de la Información.

En la Tabla X se pueden observar detalladamente los hardware y software donde se procesaron los datos procedentes de las adquisiciones, es de señalar, como a lo largo de este informe que muchos de los datos no son dados explícitamente en los textos de los reportes y deben intuirse de otras referencias; a veces no hay modo de conocer el sistema de elaboración utilizado o uno u otro periférico, es entonces cuando aparecen los signos de interrogación.

Volúmenes de los Trabajos Realizados en el LAGE de Cuba.

La Tabla XI se muestra como ejemplo de los problemas existentes con los reportes de los volúmenes de vuelo que aparecen dentro de los textos de los Informes de los Sectores: la mayoría de los volúmenes mostrados han sido calculados dentro de esta investigación simplemente multiplicando por el doble el volumen del área en Km² dado en las páginas iniciales de los reportes de vuelo; las acotaciones dan ideas sobre otros problemas adicionales confrontados. Las tablas XI a , XIb y XIc, a continuación en conjunto con la tabla XII brindan una panorámica de la disimilitud de formas de reportar los trabajos realizados. Respecto a esta última, a partir de los datos que se poseen y suponiendo que en el resto de los sectores sin datos de costos, se gastó tanto como el promedio de lo conocido, puede afirmarse que el LAGE de la República de Cuba costó alrededor de 16 millones de pesos (16 047 639.15).

Dentro de los textos de los reportes de vuelo se utiliza constantemente el término "levantamiento de carcasa" con él se refieren a la parte preliminar del vuelo en un sector, cuando según la metodología seguida por los ejecutores, realizaban un reconocimiento general de toda el área con line spacing de 10 Km, con el fin de evaluar el fondo del sector. Indistintamente además usan los términos "líneas transversales" para las líneas perpendiculares a las direcciones de vuelo que cada 10 Km aproximadamente realizaban para el control en la ubicación y del equipamiento. En otras ocasiones llaman "líneas secotransversales" a algo interpretado como lo mismo anterior...???; asimismo aparecen "diagonales"...???, "enlace"...???, secantes...??? y otras. Para representar gráficamente los resultados tabulados se muestran a continuación un grupo de figuras con los resultados más importantes obtenidos que serán de gran ayuda a los usuarios de la información aerogamma-espectrométrica de Cuba.

Las Figuras 2, 3, 4 y 5 muestran gráficamente una manera eficaz de conocer las características del LAGE.

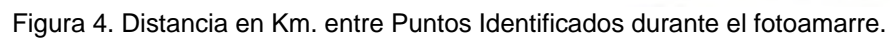
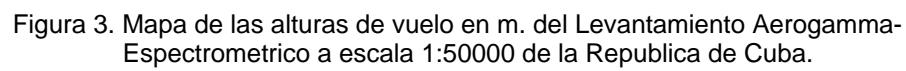
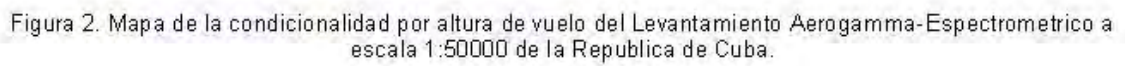




Figura 5. Porcentaje de Identificación Planimétrica

CONCLUSIONES

- Por primera vez se obtiene una visión general de los trabajos del LAGE realizado en Cuba, pues lo extendido de su ejecución y la existencia de un gran por ciento de la información en ruso, habían delatado esta tarea cuando bruscamente se interrumpió la terminación del contrato.
- Quedan sentadas las bases para la realización de la estandarización del LAGE de Cuba a escala 1: 50000.
- Se establecieron fundamentadamente las deficiencias del LAGE de Cuba en escala 1: 100000.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alaminos, C.; C.A. García; R. Fernández; A. Manchado; M. Altabas. 1980.** "Proyecto Técnico Económico Organizativo para la Comprobación Preliminar de los Sectores Perspectivos Recomendados en el Informe del LAGC. de la Provincia de Pinar del Río. Archivo IGP. No.
- Barritt, S. D. 1993.** "The African Magnetic Mapping Project, 1993. ITC. Journal 1993-2 Special Issue.
- Chang Bravo, J.L.; G. Grevnirov; A. Brodovoi. 1990,** "Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de las Provincias de Santiago de Cuba, Holguín, Gramma y Guantánamo, (Sector Pinares de Mayarí)". Archivo O.N.R.M. Inv. No. 3915. IGP. Inv. No. 60.
- Chang Bravo, J.L.; F. Prieto; J. Fernández; L. Corbea. 1990,** "Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de las provincias de Guantánamo, Santiago de Cuba y Holguín, sector Guantánamo Sur". Archivo O.N.R.M. Inv. No. 4081.
- Liubyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1984.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias Ciego de Avila y Camagüey. 1984. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3318; IGP. Inv. No. 188.
- Liubyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1983.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de la Isla de Pinos. 1983. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3317; IGP. Inv. No.
- Liubyi, L. I.; T. V. Martinova; V. L. Vasiliev y G. A. Glikman. 1984.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias de Villa Clara, Cienfuegos, Sancti Spíritus y Ciego de Avila, (Sector Santa Clara). 1980. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3022.
- Liubyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1982.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias

- Cienfuegos y Matanzas, (Sector Cienfuegos). 1982. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. , IGP. Inv. No. 180.
- Liubiyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1983.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias de Villa Clara, Cienfuegos, Guantánamo y Holguín, (Sector Guantánamo Norte). 1983. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3134, IGP. Inv. No. 182.
- Liubiyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1982.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de la Provincia de Camagüey, (Sector Camagüey). 1982. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. , IGP. Inv. No. 177.
- Liubiyi, L. I.; T. V. Martinova; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1982.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias de Las Tunas y Holguín, (Sector Holguín). 1981. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3109, IGP. Inv. No. 181.
- López Dominic, J. 2000.** "Metodología para la Compilación y Estandarización de los Datos Aeromagnéticos obtenidos en Diferentes Levantamientos". (Inédito). Fondos de Geominera S.A.
- Lubennikova, T.; S. Lobanov; A. Brodovoi; V. Ruzanov. 1984.** " Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo (LAGC) en el Territorio de la Provincia de Pinar del Río, (sector Pinar del Río Sur y Este). (Inédito). Fondos de la ONRM. Inv. No. 3577 e IGP. Inv. No. 06.
- Lufriú, L.; I. Padilla; L. Corbea. 1996** "Notas Explicativas al mapa del campo Aeromagnético y a los mapas de Radiación Gamma y concentraciones de U(Ra), Th, K a escala 1: 250000 de la República de Cuba" Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Lufriú Díaz, L.; I. Padilla; V. Sujanov; L. Corbea. 1984** "Informe Sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias Habana y Matanzas, (sector Habana-Matanzas), en la República de Cuba. (Inédito). Fondos del IGP. Inv. No. Archivo O.N.R.M. La Habana, No. Inv. 3489.
- Lufriú Díaz, L.; I. Padilla; L. Corbea. 1987** "Informe Sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de la Provincia de La Habana, (sector Habana), en la República de Cuba. (Inédito). Fondos del IGP. Inv. No. Archivo O.N.R.M. Inv. No. 3536, IGP. Inv. No. 03.
- Martinova, T. V.; A. R. Torubarov y G. A. Glikman. 1985.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias Villa Clara y Matanzas. (Sector Villa Clara Norte). 1985. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3359; IGP. Inv. No. 179.
- Padilla Rodríguez, I.; L. Lufriú; A. Leal; G. Millán; L. Corbea; F. Prieto. 1994.** " Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spíritus, (sector Escambray). (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. , IGP. Inv. No. 574.
- Padilla I. 1997.** "Grado de estudio Aerogeofísico de La República de Cuba". Estudios sobre Geología de Cuba. IGP 1997; p-491, p-494. ISBN 959 - 243- 002- 0
- Padilla I. 2002.** "Relación entre los radioelementos presentes en la región central de Cuba y la morbilidad por cáncer". Tesis para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Geólogo-Geofísicas. Universidad de Campinas. Brasil. Comunicación Verbal.
- Parker, M. 1993.** " Using Old Geophysical Surveys: Problems and Solutions. ITC. Journal 1993-2. Special Issue.
- Pérez Almaguer, E. 1999.** "A New Approach to Improving the Quality of Older Generation Gamma-Ray Spectrometry Data: a Case Study from N.E. Kibaran Belt, central Africa. Thesis for Master in Science degree. ITC. The Netherlands. 1999.
- Petrus Marcos, N.; L. Lufriú Díaz; R. Sánchez Cruz; A. Oviedo Balbín; J.J. Moya Rodríguez; E. Kessell Herrera. 2003** "Informe sobre los Resultados del Tema I+D 229 "Generalización de la información aerogeofísica HEM para la cartografía Geológica y el pronóstico de áreas perspectivas en los sectores Sierra Maestra y Escambray". Fondos del IGP. Inv. No. .
- Petrus Marcos N. F. Prieto y otros 1998.** " Rescate de la BD gammaespectrométrica de la parte occidental de la República de Cuba". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Petrus Marcos N. 2003** "Visualización de los datos aerogamma-espectrométricos para los estudios geológicos". V Congreso Cubano de Geología, La Habana 2003. Comunicación verbal.

- Petrus Marcos N. 1997.** 1997. Trabajo Temático Productivo No.14653 "Creación de la Base de Datos Aerogeofísicos complejos realizados en los años 1994-1995 por Scintrex-Caribe".
- Prieto Caínzos, R. L.; G. Grevnirov; A. Brodovoi; J. Fernández; L. Corbea. 1988.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias de Camagüey y Las Tunas, (Sector Nuevitas-Guáimaro). 1988. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3688, IGP. Inv. No. 232.
- Prieto Caínzos, R. L.; A. Brodovoi; I. de la Vega y L. Corbea. 1989.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincias Holguín y Gramma, (Sector Bayamo-Cauto). 1989. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 3737, IGP. Inv. No. 189.
- Prieto Caínzos, R. L.; I. Padilla; L. Lufriú y R. Sánchez Cruz. 1991.** "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el Territorio de las Provincia de Santiago de Cuba y Gramma, (Sector Sierra Maestra). 1991. (Inédito). Fondos de ONRM. Inv. No. 4199.
- Prieto Castro F.; N. Petrus y otros 2000.** " Creación de la Base de Datos Aerogammaespectrométrica de la región de Cuba Central" .2001. Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Prieto Castro F.; N. Petrus; A. Oviedo; J.J. Moya; L. Lufriú; E. Kessell; R. Sánchez Cruz 2001.** "Creación de la Base de Datos Aerogammaespectrométrica de la región oriental de la República de Cuba". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Reeves, C.V. 1993.** " New Horizons for Airborne Geophysical Mapping. 1993. ITC. Journal 1993-2. Special Issue.
- Rodríguez Basante B.; R. Sánchez y otros 2003** "Identificación y clasificación de los errores más comunes presentes en la BD Gammaespectrométrica de Cuba". Resúmenes preparatorios V Congreso Cubano de Geología, La Habana 2003. Comunicación Verbal.
- Rusanov, V. A. y R. L. Prieto Caínzos. 1988.** "Informe sobre la Red de Apoyo AeroGeofísica Nacional". (Inédito). Fondos del IGP. No. Inv. 176.
- Sánchez Cruz, R.; B. Rodríguez Basante; N. Petrus Marcos; A. Oviedo Balbín; F. Prieto Castro; L. Lufriú Díaz; J. L. Chang Bravo; M. E. Pardo Echarte; I. Padilla Rodríguez; R. L. Prieto Caínzos. 2003.** "Ejemplos de Utilización del Mapa AeroGammaEspectrométrico 1:100000 de Cuba como parte de la Solución de Distintos Problemas Geológicos". V Congreso Cubano de Geología. La Habana 2003.
- Sánchez Cruz, R.; B. Rodríguez Basante; J.J. Moya; F. Prieto Castro; N. Petrus Marcos; A. Oviedo Balbín; L. Lufriú Díaz; 2003.** "Informe del Proyecto 226 sobre la Estandarización de la Base de Datos AeroGamma-Espectrométrica de la República de Cuba". Archivo IGP. Inédito.
- Sánchez Cruz, R.; B. Rodríguez Basante; N. Petrus Marcos. 2004.** "Report about the Cuban airborne spectrometric surveys: minimal features". Cuban Contribution to Worldwide Gamma-Spectrometric Map. Inedit. Archives IGP, Cuba & ITC, The Neederlands.

Tabla IV. Volumen del material fotográfico para el amarre topográfico y los tipos de dispositivos utilizados.

SECTORES DE VUELO	TIPO DE AERO-FOTOCAMARA	DESCIFRADOR DE NEGATIVOS	CANTIDAD ROLLOS NEGATIVOS	CANTIDAD TOTAL NEGATIVOS	CANTIDAD NEGATIVOS AMARRADOS
Pinar del Río Sur y Este 1987	Afag-17 No.35	PDN-1	18	3565	3516
Habana y Matanzas 1986	Afag-17 No.35	PDN-1	11	2574	2191
Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional 1988	Afag-17 No.?	PDN-1	6	2665	2664
Pinar del Río Norte y Guines 1980	Afag-17 No. 35	PDN-1	23 y 5 (por sectores)	5556 y 891 (por sectores)	5336 y 859 (por sectores)
Santa Clara 1981	Afag-17 No. 36	PDN-1	?	6125	6031
Camaüey 1982	Afag-17 No. 35	PDN-1	20	6244	6151
Cienfuegos 1982	Afag-17 No. 35	PDN-1	5	1206	1197
Holguin 1982	Afag-17 No. 35	PDN-1	13	4252	4041
Guantánamo Norte 1983	Afag-17 No. 35	PDN-1	7	2746	2652
Ciego de Avila - Camagüey 1984	Afag-17 No. 35	PDN-1	20	7263	6937
Isla de Pinos 1984	Afag-17 No. 35	PDN-1	9	3089	3011
Villa Clara Norte 1985	Afag-17 No. 35	PDN-1	10	3254	3077
Habana 1987	Afag-17 No.?	PDN-1	10	2082	2065
Sierra Maestra 1993	Afag-17 No.?	PDN-4	25	5604	5604
Escambray 1994	Afag-17 No.?	PDN-4	8	2844	2830
Guantánamo Sur 1991	Afag-17 No.?	PDN-4	22	5212	5183
Nuevitas - Guáimaro 1988	Afag-17 No.?	PDN-4	28	5138	5112
Bayamo - Cauto 1989	Afag-17 No.?	?	56	4836	4824
Pinares de Mayarí 1990	Afag-17 y 36	PDN-4	44	4894	4883

Tabla V. Precisión del LAGE de la República de Cuba.

Sectores de Vuelo	e_{mc} para Gamma Total Intensity (μ r/h)	e_{mc} para Uranium ($n \times 10^{-4}$ %)	e_{mc} para Thorium ($n \times 10^{-4}$ %)	e_{mc} para Potassium (%)
1	2	3	4	5
Pinar del Río Norte & Güines 1980	0.15	0.32	0.81	0.22
Santa Clara 1981	0.11	0.29	0.7	0.15
Camagüey 1982	0.2	0.5	0.9	0.2
Cienfuegos 1982	0.15	0.5	0.9	0.2
Holguín 1982	0.11	0.61	0.71	0.2
Guantánamo Norte 1983	0.24	0.4	0.8	0.3
Ciego de Avila – Camagüey 1984	0.2	0.7	1.2	0.2
Isla de Pinos 1984	0.18	0.3	0.8	0.13
Villa Clara Norte 1985	0.1	0.6	0.8	0.18
Habana y Matanzas 1986	0.2	1.64	1.82	0.36
Pinar del Río Sur & Este 1987	0.17	0.75	0.93	0.23
Habana 1987	0.28	1.44	1.12	0.15
Nuevitas - Guáimaro 1988	0.09	0.52	0.79	0.24
Bayamo - Cauto 1989	0.1	0.6	0.7	0.2
Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional 1988	0.09	0.68	0.73	0.18
Pinares de Mayarí 1990	0.1	0.5	1.0	0.2
Guantánamo Sur 1991	0.09	0.51	0.87	0.13
Sierra Maestra 1992	0.07	0.68	0.5	0.25
Escambray 1994	0.14	0.91	1.15	0.24

Nota: e_{mc} – error medio cuadrático.

La Tabla VI. Volúmenes de los trabajos repetidos para el cálculo del error medio cuadrático de las mediciones y valores de la precisión de las variaciones del fondo de los distintos radioelementos.

Sectores de Vuelo	Extensión promedio de las líneas de vuelo (Km)	Direcciones de la líneas de vuelo	Volumen de mediciones repetidas	Cantidades de líneas de vuelos repetidas	Error medio cuadrático de las variaciones de las mediciones del fondo de U (n x 10-4%)	Error medio cuadrático de las variaciones de las mediciones del fondo de Th (n x 10-4 %)	Error medio cuadrático de las variaciones de las mediciones del fondo de K (%)	Error medio cuadrático de las variaciones de las mediciones del fondo de Ig (µr/h)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pinar del Río Norte & Güines 1980	?	130°-310°; 0°-180° Pinar Norte & Güines	?	?	?	?	?	?
Santa Clara 1981	58.7 & 26.5	50° - 230°	966.8 Km	?	?	?	?	?
Camagüey 1982	58.0 & 45.0	0° - 180°	709 Km	?	?	?	?	?
Cienfuegos 1982	50	0° - 180°	?	?	?	?	?	?
Holguín 1982	45 ? de la figura	0° - 180°	609.3 Km?	?	0.24	0.42	0.07	0.03
Guantánamo Norte 1983	100.0	0° - 180°	223.6 Km	?	0.2	0.4	0.07	0.03
Ciego de Avila - Camagüey 1984	60.0 (?) de la figura	0° - 180°	(10%)	?	0.34	0.46	0.102	0.037
Isla de Pinos 1984	48.0 ? de la figura	0° - 180°	165.9 Km	?	0.53	1.35	0.15	0.13
Villa Clara Norte 1985	42.0 & 67.0	0° - 180° & 50° - 230°	220.65 Km	?	0.53	1.35	0.15	?
Habana y Matanzas 1986	65	0° - 180°	2698 puntos	11	0.9	2.3	0.31	?
Pinar del Río Sur & Este 1987	36.5	135°-315° from - to 1-198; 0°-180° from - to 199-319	3361 puntos	10	0.9	2.3	0.31	?
Habana 1987	37	0° - 180°	2551 puntos	6	0.9	2.3	0.31	?
Nuevitas - Guáimaro 1988	60	0° -180°	7740 puntos	17	0.73	1.65	0.14	?
Bayamo - Cauto 1989	54.0	0° -180°	768.82 Km	9	0.73	1.65	0.14	?

1	2	3	4	5	6	7	8	0
Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional 1988	105	Distintas	2326 puntos	38	0.73	1.65	0.14	?
Pinares de Mayarí 1990	33 & 95	0° - 360°	108 Km?	?	0.5?	0.7?	0.14?	0.05?
Guantánamo Sur 1991	39.8?	0° - 360°	?	?	?	?	?	?
Sierra Maestra 1992	33.9?	0° - 360°	84.6 Km	?	?	?	?	?
Escambray 1994	34	0° - 180°	?	?	?	?	?	?

Nota: La inconsistencia de los datos demuestra la afirmación repetida a lo largo de este informe sobre la falta de regularidad en control y la exposición de los datos. Parcialmente como siempre, en dependencia del criterio de los diferentes autores de cada diferente reporte técnico de vuelo, puede ser observada en dichos reportes las magnitudes de los conjuntos de datos de control, las que no son útiles en todos los casos para la completa evaluación de la calidad de un determinado procedimiento, debido a su inconsistente extensión.

Tabla VII. Calidad del Material Analógico del LAGE de Cuba según la propia apreciación de los autores de los reportes de vuelo sobre la base del control de las adquisiciones, por ellos realizadas.

SECTORES DE VUELO	Cantidades CINTAS ANALÓGICAS	Calidad			EVALUACION
		EXELENTE%	BUENA%	SUFICIENTE%	
Pinar del Río Sur y Este 1987	43	40	48	12	Buena
Habana y Matanzas 1986	29	17	68	15	Buena
Red de Apoyo Nacional 1988	17	65	23	12	Buena
Pinar del Río Norte y Guines 1980	?	?	?	?	Buena
Santa Clara 1981	72 (según fig. 4)	?	?	?	Buena
Camañey 1982	?	?	?	?	Buena
Cienfuegos 1982	?	?	?	?	Buena
Holguín 1982	?	?	?	?	Buena
Guantánamo Norte 1983	?	?	?	?	Buena
Ciego de Avila - Camagüey 1984	?	?	?	?	?
Isla de Pinos 1984	?	?	?	?	?
Villa Clara Norte 1985	?	?	?	?	?
Habana 1987	20	36.6	53.5	10	?
Sierra Maestra 1993	?	?	?	?	Buena
Escambray 1994	?	?	?	?	?
Guantánamo Sur 1991	?	?	?	?	Suficiente
Nuevitas - Guáimaro 1988	58	21	58	21	Buena
Bayamo - Cauto 1989	57 (la 119 desechada)	31.9	56.7	11.4	Buena
Pinares de Mayarí 1990	67	21.5	50.1	28.4	?

Tabla VIII. Duración de los trabajos de procesamiento de la información, Sistema de elaboración, tipo de hardware utilizado y lugar del procesamiento.

SECTORES DE VUELO	Tiempo de Procesamiento e Informe	Duración (meses)	Sistema de Procesamiento utilizado (Ruso)	Centro de Cálculo y lugar	Modelo de Máquina Computadora (Rusa)
1	2	3	4	5	6
Pinar del Río Norte & Güines 1980	02/79-06/80	17	ASOD Airborne geophysics	CebZapGeologuia (VTs ZGT, West Geophysical Trust) Saint Petersburg	EVM M-222
Santa Clara 1981	05/80-08/81	16	ASOD Airborne geophysics	CebZapGeologuia Saint Petersburg	EVM M-222
Camagüey 1982	08/81-06/82	11	ASOD Airborne geophysics	CebZapGeologuia Saint Petersburg	EVM M-222
Cienfuegos 1982	01/82-06/82	6	ASOD Airborne geophysics	CebZapGeologuia Saint Petersburg	EVM M-222
Holguín 1982	07/82-03/83	9	ASOD Airborne Geophysics (¿)	?	EVM M-222
Guantánamo Norte 1983	04/83-08/83	5	ASOD Airborne Geophysics (¿)	?	EVM M-222
Ciego de Avila – Camagüey 1984	10/83-02/84	5	ASOD Airborne geophysics	CebZapGeologuia Saint Petersburg	EVM M-222
Isla de Pinos 1984	01/84-06/84	6	?	CebZapGeologuia Saint Petersburg	EVM M-222 (Mag Channel: ES-1033)
Villa Clara Norte 1985	07/84-03/85	9	?	CebZapGeologuia Saint Petersburg	ES-1033
Habana y Matanzas 1986	01/86-12/86	12	SOAGD	IVTS SNIIGGIMS Novosibirsk	ES-1033
Pinar del Río Sur & Este 1987	10/86-10/87	13	SOAGD	IVTS SNIIGGIMS Novosibirsk	ES-1033
Habana 1987	01/87-12/87	12	SOAGD	IVTS SNIIGGIMS Novosibirsk	ES-1033
Nuevitas - Guáimaro 1988	01/88-11/88	11	SOAGD	IVTS SNIIGGIMS Novosibirsk	ES-1033
Bayamo - Cauto 1989	01/89-06/89	6	SOAGD	IVTS SNIIGGIMS Novosibirsk	ES-1033
Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional 1988	04/87-01/88	10	SOAGD	IVTS SNIIGGIMS Novosibirsk	ES-1035
Pinares de Mayarí 1990	01/90-10/90	10	SOAGD	SEAN & MINBAS Havana	SU-1035 y SU-1061

1	2	3	4	5	6
Guantánamo Sur 1991	02/91- 10/91	11	SOAGD	?	ES-1035?
Sierra Maestra 1992	01/92- 05/93	17	SOAGD	SEAN	SU-1061
Escambray 1994	01/92- 11/93	23	SOAGD	SEAN Havana	SU-1061

Tabla IX. Características de la elaboración de los datos del LAGE de Cuba.

Reportes de Vuelo	Cantidad de puntos durante la suavización simétrica	Grid de Interpolación	Pasos del grid (m)	Ancho de la ventana rectangular que se mueve a lo largo del ejeX / ejeY (m)	Coefficiente de peso	Spline
1	2	3	4	5	6	7
Pinar del Río Norte & Güines 1980	?	?	?	?	?	?
Santa Clara 1981	?	?	?	?	?	?
Camagüey 1982	?	?	?	?	?	?
Cienfuegos 1982	?	?	?	?	?	?
Holguín 1982	?	?	?	?	?	?
Guantánamo Norte 1983	?	?	?	?	?	?
Ciego de Avila – Camagüey 1984	?	?	?	?	?	?
Isla de Pinos 1984	?	?	?	?	?	?
Villa Clara Norte 1985	?	Rectangular Regular ?	350x1000	?	$P=I-R_i/D_i$ (Mag)	?
Habana & Matanzas 1986	21	No claro	250x250 (Idem Mag channel)	1250/500	1/R2 (sum)	Bicúbico
Pinar del Río Sur & Este 1987	21 (21 puntos para el canal Mag)	Rectangular Regular	250x250 (Idem Mag channel)	1250(125)/1250(750)	1/R2 NW 1/R2 NS	Bicúbico
Habana 1987	19	Rectangular Regular	250x250	1250/750	1/R2 (sum)	Bicúbico
Nuevitas - Guáimaro 1988	19	Rectangular Regular	500x250	1600/600	1/R2 (sum)	Bicúbico
Bayamo - Cauto 1989	19	Rectangular Regular	500x250	1600/600	1/R2 (?)	Bicúbico
Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional 1988	19 (21 puntos para el canal Mag)	-	-	0	1 (1 Mag Channel)	No
Pinares de Mayarí 1990	7 (27 puntos para el canal Mag)	Rectangular	500x500	2500/750	1/R2 (sum)	Ventana rectangular promedio
Guantánamo Sur 1991	¿	Rectangular	500x500 Y 1000x1000	250/750	1/R2 (sum)	Ventana rectangular promedio
Sierra Maestra 1992	7 (19 puntos para el canal Mag)	?	?	?	?	?

Escambray 1994	7 (19 puntos para el canal Mag)	Rectangular Regular	500x500 1:50000 & 1:100000 scales	250/750	1/R (?)	¿
-----------------------	---------------------------------	---------------------	--	---------	---------	---

Tabla X. Hardware y Software utilizados para el procesamiento de los datos del LAGE de Cuba.

SECTORES DE VUELO	MAQUINA UTILIZADA	SISTEMA DE ELABORACION DE DATOS	CENTRO DE CALCULO	IMPRESORA ESCALA/ GRAFICADOR/ LUGAR/TEXTO	Observ.
1	2	3	4	5	6
Pinar del Río Sur y Este 1987	ES-1033	SOAGD (Sistema Obrabotki Abtomatizirobanniu Geofisicheskii Dannij)	IVTs SNIIGGIMS/ Novosibirsk	?/ Minbas/ La Habana/ La Habana	
Habana y Matanzas 1986	ES-1033	SOAGD (Sistema Automatizado de Elaboración de Datos Geofísicos)	IVTs SNIIGGIMS/ Novosibirsk	?/ MINBAS/ La Habana/ La Habana	
Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional 1988	ES-1035	SOAGD	IVTs SNIIGGIMS/ Novosibirsk	?/ Novosibirsk/ ?/ La Habana	
Pinar del Río Norte y Guines 1980	EVM M-222	ASOD "Aerogeofísica" (Abtomatizirobanniu Sistemu Obrabotki Dannij)	CebZapGeologuia (VTs ZGT, Centro de Calculo del Trust Geofísico del Oeste)	ATSPU/ Atlas/ San Petersburgo/ San Petersburgo	
Santa Clara 1981	EVM M-222	ASOD (Sistema Automático de Elaboración de Datos)	CebZapGeologuia, San Petersburgo	ATSPU/ Atlas/ San Petersburgo/ San Petersburgo	
Camaüey 1982	EVM M-222	ASOD "Aerogeofísica"	CebZapGeologuia, San Petersburgo.	ATSPU/ Atlas/ San Petersburgo/ San Petersburgo	
Cienfuegos 1982	EVM M-222	ASOD "Aerogeofísica"	CebZapGeologuia, San Petersburgo	?/ Atlas-2/ San Petersburgo?/ San Petersburgo	
Holguin 1982	EVM M-222	ASOD "Aerogeofísica" ?	?	ATSPU/ Atlas-2/ San Petersburgo/ San Petersburgo	
Guantánamo Norte 1983	EVM M-222	ASOD "Aerogeofísica" (?)	?	?/ Atlas/ San Petersburgo?/ San Petersburgo	
Ciego de Avila - Camagüey 1984	EVM M-222	ASOD	CebZapGeologuia, San Petersburgo	ATSPU/ Atlas/ San Petersburgo/ San Petersburgo	
Isla de Pinos 1984	EVM M-222 (canal Mag. en ES-1033)	?	CebZapGeologuia, San Petersburgo	?/ ES-7054/ ?/ San Petersburgo	
Villa Clara Norte 1985	ES-1033	?	CebZapGeologuia, San Petersburgo	?/ ES-7054/ ?/ San	Las cintas perforadas elaboradas en el

				Petersburgo'85 (InfGen)-La Habana'84 (texto Verificación Terrestre ?/ ?MINBAS/ La Habana/ La Habana	sistema ATsS-1.
Habana 1987	ES-1033	SOAGD	IVTs SNIIGGIMS/ Novosibirsk	HP-7440(Unión de Geología)/ SPPU-2<CM-2>(ENG)/ La Habana/ La Habana HP-7440/ IGP/ La Habana/ La Habana HP-7740(IGP)/ SPPU-2<CM-2>(ENG)/ La Habana/ La Habana ?/ ?/ San Petersburgo?/ La Habana ?/ ?	El ploteador de Gráficos SPPU-2 para Ta y Grad T.
Sierra Maestra 1993	SV-1061 (SV o SU ???)	SOAGD	SEAN (Secretaria Ejecutiva de Asuntos Nucleares)		
Escambray 1994	SU-1061	SOAGD?	SEAN		
Guantánamo Sur 1991	SU-1061	SOAGD	SEAN		
Nuevitas - Guáimaro 1988	ES-1033	SOAGD	IVTs SNIIGGIMS/ Novosibirsk	MINBAS?/ La Habana/ La Habana ?/ ?/ ?	
Bayamo - Cauto 1989	ES-1033	SOAGD	IVTs SNIIGIMS/ Novosibirsk		
Pinares de Mayarí 1990	SU-1035 y SU-1061	SOAGD	SEAN y MINBAS	La Habana?/ La Habana	

Tabla XI. Volúmenes de longitud total de líneas de vuelo AGE reportado respecto al área del LAGE según las escalas de los trabajos.

SECTORES DE VUELO	AREA 1: 50000	AREA 1: 25000	LONGITUD LINEAS DE VUELO (Km)
Pinar del Río Sur y Este	5500	0	11000
Habana-Matanzas	5367	?	10734
Escambray	4080	Aparece demarcada en Fig.1, no se dan volúmenes	8160
Ciego de Avila	9324.3	0	18648.6
Villa Clara Norte	6823.3	0	13646.6
Pinares de Mayarí	6011	658	2687
Isla de Pinos	0	2199.8	6504 (debía ser 8799.2 o sea 4 veces el área en 1:25000)
Santa Clara	8243	1264	21542 (incluye las escalas 1:50000 y 1: 25000)
Habana	2915	0	5830
Cienfuegos	2420	0	4840
Guantánamo Norte	2705.2	0	5410.4
Camagüey.	4201	2517	17143
Holguín	5760.5	0	11521
Nuevitas Guáimaro	9597.24 en la pag.5. En la pag.82 dice 10293.00 ???...	0	19194.48 (?), pues existen dos volúmenes de área.
Bayamo-Cauto	9357.64	0	18715.28
Sierra Maestra	5320	840	10840 (?), calculada de Fig 1 para 1: 50000, no incluye 1: 25000, podrían sumarse 1680 Km calculados a partir de los 840 Km ² del 1: 25000.
Guantánamo Sur.	4150.5	724.37	10465.8 (?), calculada de Fig 1 para 1: 50000 y 1: 25000
Pinar del Río Norte y Guines	3670	1496	7340 y 5984 (?) calculado según normas por escala.
Red de Apoyo	3645.23 Area ficticia calculada a partir de los Km de Líneas de Vuelo	0	7290.46

Tabla XI a. Volúmenes totales de líneas del LAGE con distintos fines.

REPORTES DE VUELO	LEVANTAMIENTO DE CARCASA (Km)	LINEAS DE VUELO TRANSVERSALES Y DE ENLACE (Km)	LINEAS REPETIDAS (Km)
Pinar del Río Sur y Este	1180.35	736.75	242.4
Habana-Matanzas	1076.25	561.05	426.75
Escambray	1431	?Se mencionan sin dar volúmenes	?Se mencionan sin dar volúmenes
Ciego de Avila	1218 (?)	692.3	156
Villa Clara Norte	1440 (?) Calculado de Fig.1	Incluida en Secante y Enlace	220.65
Pinares de Mayarí	?	?	108 (Para Magnetometría)
Isla de Pinos	928.75 ? Calculado de Fig 1	210.7 aparecen como secantes	165.9
Santa Clara	1101.5	(secantes y repetidas en secotransversales)	(están dos columna atrás)
Habana	545.95	947.45	104.3
Cienfuegos	246.75 (?) calculada de Fig.1	?	?
Guantánamo Norte	533.6	Incluida en Secotransversales	223.6
Camagüey.	1316.0, (648.0 y 668.0)	?	709
Holguín	646.65	Aparece en Secantes y de Enlace	609.3
Nuevitas	?	1390.7	567
Guáimaro	?	937.75 dice Transversales y de Enlace	768.82
Bayamo-Cauto	?	158.5 (?) Calc. de Fig. 1 citadas como "diagonales".	84.6
Sierra Maestra	? (reportados 2563 Km de perfiles lineales, clasificación no se da)	462 (?) Calc. de Fig. 1 suma de secantes+diagonales	?
Guantánamo Sur.	?	1820 (secantes y repetidas)	se incluyen en secantes o transversales
Pinar del Río Norte y Güines	213	0	484.12
Red de Apoyo	0		

Tabla XI b. Volúmenes totales de líneas del LAGE con distintos fines.

REPORTES DE VUELO	VOLUMEN DE LINEAS DE ENLACE (Km)	VOLUMEN DE LINEAS SECO-TRANSVERSALES (Km)	VOLUMEN APROXIMADO DE LINEAS DE VUELO (u)
Pinar del Río Sur y Este	2	6	319
Habana-Matanzas	4 ? Se extrajeron de la Fig.1	4 ? Las mismas	168 ?
Escambray	?Se mencionan sin dar volúmenes	548 No aparece, calculada de Fig.1	240 ?
Ciego de Avila	237.1	Volumen en Transversales	314
Villa Clara Norte	Incluidas en Transversales	668.46	286 (?) Calculadas de Fig.1
Pinares de Mayarí	?	?	155 (?)
Isla de Pinos	Aparecen en Transversales	Aparece en Transversales	219
Santa Clara	230.5 (calculada del gráfico de la Fig. 8)	966.8	300
Habana	Incluidas en Transversales	Idem. de transversales	206 (?)
Cienfuegos	?	142.25 (?) Calculadas de Fig. 1	104 (?) Calculada de Fig.1
Guantánamo Norte	117.4	190.7	108
Camagüey.	425 aparecen como de perfil	1387	217(?), (170+47)
Holguín	141.95	515.35	290 (?)
Nuevitás	Volumen en Transversales	230 (?) Calculado de Fig.1	319
Guáimaro	Volumen en Transversales	Volumen en Transversales y de Enlace	332 (?)
Bayamo-Cauto		481 (?) Calc. de Fig. 1	310 (?) según Fig. 1. No se conoce si incluyen escala 1:25000...
Sierra Maestra	?	aparecen como "secantes"	194(?) y 132(?) spacing 500 y 250, respectivamente. Calculado de Fig. 1.
Guantánamo Sur.	?	Idem. Puede ser 462.0	260 y 110 spacing 500m; 180 para spacing 250m (?). Extraído Fig. 1, aproximado.
Pinar del Río Norte y Guines	?	Volumen en Transversales y de Enlace	71
Red de Apoyo	Todas	0	

Tabla XI c. Volúmenes totales de líneas del LAGE con distintos fines.

REPORTES DE VUELO	VOLUMEN DE LINEAS DE SOLAPE (Km)	VOLUMEN DE LINEAS DE DETALLAMIENTO (Km)	VOLUMEN DE LINEAS DE CALCULO DE ALTURAS (Km)	VOLUMEN DE LINEAS PARA AUMENTO DE CONDICIONALIDAD (Km)	VOLUMEN DE LINEAS DE TRABAJOS METODOLOG-EXPERIMENT. (Km)
Pinar del Río	0	0	267	?	0
Sur y Este					
Habana-	?	?	?	?	?
Matanzas					
Escambray	?Se mencionan sin dar volúmenes	?Se mencionan sin dar volúmenes	?	?Se mencionan sin dar volúmenes	?Se mencionan sin dar volúmenes
Ciego de Avila	18.1	181.5	23.0	?	0
Villa Clara					
Norte	?	18.65	224	0	0
Pinares de Mayarí	?	?	?	?	?
Isla de Pinos	0	0	0	0	273.8
Santa Clara	?	69.9	117.0	?	?
Habana	?	0	0	?	0
Cienfuegos	?	?	?	0	0
Guantánamo Norte	130.1	50	?	259.8 Producto de problemas con la altura	210.9
Camagüey.	210(74+36)	128	351		?
Holguín	119.7	24.6 Detallamiento de Anomalías. AGE	199.95	0	327.0
Nuevitas					
Guáimaro	0	0	396.0 calculado de Fig. 1	?	0
Bayamo-Cauto	0	0	0	?	0
Sierra Maestra	?	123.6	?	?	?
Guantánamo Sur.	?	?	?	?	?
Pinar del Río Norte y Güines	?	1030	156	294	?
Red de Apoyo	0	0	0		0

Tabla XII. Volumen del material textual y gráfico que conforma cada uno de los reportes de vuelo del LAGE de Cuba y su coste.

SECTOR DE VUELO	CANTIDAD DE TOMOS	CANTIDAD DE HOJAS TOPOGRAFICAS 1: 50000	COSTE
Pinar del Río Norte y Guines 1980	3	16 (?) y 6 (?)	?
Santa Clara 1981	4	17	?
Camagüey 1982	3	16	?
Cienfuegos 1982	2	6	?
Holguin 1982	3	16	?
Guantánamo Norte 1983	2	7	?
Ciego de Avila - Camagüey 1984	3	21	?
Isla de Pinos 1984	2	7	?
Villa Clara Norte 1985	4	16	?
Habana 1987	2	8	199389.15
Sierra Maestra 1993	3	15	1091755.29
Escambray 1994	3	15	1438207.85
Guantánamo Sur 1991	4	18	181361.88
Nuevitas - Guáimaro 1988	???	?	755809.36
Bayamo - Cauto 1989	3	11	480927.18
Pinares de Mayarí 1990	3	?	2926000
Pinar del Río Sur y Este 1987	3	18	455281.15
Habana y Matanzas 1986	3	18	512706.19
Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional 1988	???	59	202338.91



LA AEROGAMMA ESPECTROMETRÍA UNA HERRAMIENTA EFICAZ COMO BASE DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA: GUAMÁ DEL SUR - BAYAMITA EN LA SIERRA MAESTRA, UN CASO DE ESTUDIO

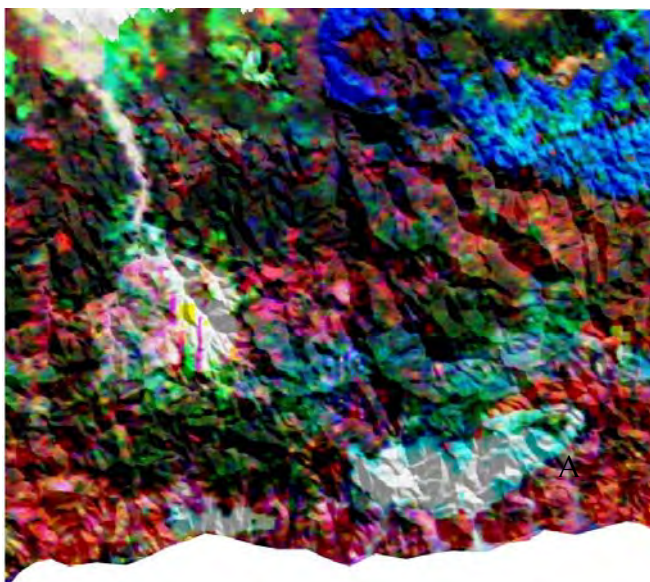
Beatriz Rodríguez Basante, Roberto Sánchez Cruz, Jesús Moreira Martínez

Instituto de Geología y Paleontología

La eficacia de los métodos gamma espectrométricos, pese a ser hartamente conocida, ha sido poco empleada en toda su potencialidad en la geología cubana. Su uso, que generalmente se ha constreñido a las escalas más regionales y a resolver tareas de igual índole, es aquí extendido a tareas más amplias dentro de la cartografía geológica: deslinde litológico, caracterización y/o subdivisión de los intrusivos, mapeo de zonas de alteración y de perspectiva minera entre otras. La Sierra Maestra, cubierta de vegetación, con amplio desarrollo de cortezas de intemperismo y un relieve desmembrado que implica una adquisición de datos en los límites superiores de la condicionalidad del levantamiento (80-100 m de altura), es un escenario difícil donde el éxito con la utilización de dichos métodos asegura su resolutivez en otros escenarios más favorables de la geología cubana. El plutón Guamá del Sur-Bayamita y sus alrededores, repletos de incógnitas geólogo-geofísicas por resolver es un buen ejemplo.

Se utilizan los métodos gamma espectrométricos y se cartografían mediante variantes de sus mapas, incluyendo los ternarios (RGB) y el análisis espectral, las diferentes variedades litológicas de las zonas afloradas de dicho intrusivo, se comprueba la correspondencia de algunas de las anomalías radioactivas con las cúpulas de ruptura de necks ciegos supuestas por la cartografía magnética. Se utiliza la relación Th/K para definir las zonas más perspectivas para la aparición de mineralización. Como apoyo en la interpretación, el trabajo se complementa con resultados del levantamiento gamma pedestre integral y el canal magnético del levantamiento aerogeofísico complejo.

La integración de datos, tanto provenientes de investigaciones anteriores, como más actuales, y el análisis estadístico de las diferentes magnitudes, permiten una evaluación eficaz del sector. La correlación con los datos del relieve, tan influyente en este caso, brindan a la interpretación un tono novedoso dentro del quehacer de la interpretación geofísica tradicional en Cuba.



Mapa Ternario del Sector, donde se identifica el intrusivo Guama del Sur – Bayamita como A.

NUEVOS SENSORES SISMOLOGICOS BASADOS EN LA NANOTECNOLOGIA

Lic. Manuel Serrano Herrera

Dpto. Habana, Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Calle 212 #2906 La Lisa, C. de La Habana, Cuba. Email: manuel@chcenais.cu Telf: 2720830.

Resumen

Se presentan brevemente las características constructivas y los principios de funcionamiento de los sensores sismológicos (geofonos, sismómetros, acelerómetros etc.) que se han estado utilizando hasta la actualidad.

Se muestran los nuevos sensores basados en la nanotecnología, sus características constructivas y principio de funcionamiento. Se señalan sus ventajas y limitaciones así como ejemplos de aplicaciones en trabajos de prospección sísmica e investigaciones sismológicas.

ABSTRACT

They are presented briefly, the constructive characteristics and the principles of operation of the seismic sensors (geophones, seismometers, accelerometers etc.) until the present time.

The new sensors, based on the nanotechnology, are shown, their constructive characteristics and operation principle. Their advantages and limitations are pointed out as well as examples of applications in works of seismic prospecting and seismological researches.

Introducción.

El objetivo fundamental de La Sismometría es la detección y registro de la señal (ondas sísmicas) proveniente de una fuente sísmica que puede ser un evento natural como los terremotos, o artificial como las explosiones. Las ondas que se producen en el foco de un evento sísmico son las ondas de cuerpo P y S. La onda P se produce por el cambio de volumen y la onda S por el cambio de la forma del medio elástico. La onda P se propaga produciendo en el material dilataciones-compresiones a lo largo de la dirección de propagación. La onda S se propaga produciendo en el material desplazamientos perpendiculares a la dirección de propagación. En la figura 1 se puede observar estas propiedades de las ondas P y S.

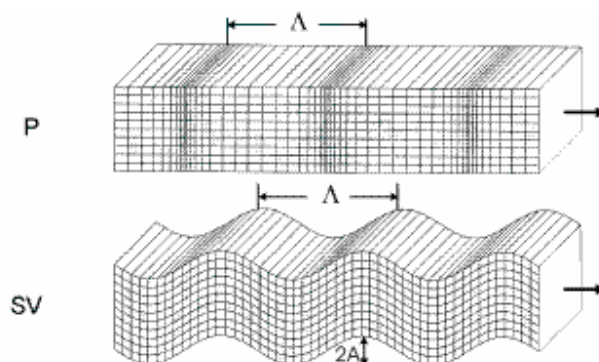


Figura 1. Propagación de las ondas P y S

Dichas ondas provocan el movimiento del terreno, el cual es detectado por los sensores sísmicos. La medición del movimiento es uno de los problemas mas viejos al que se ha dedicado La Física, sin embargo en la sismometría adquiere una característica especial pues como todos sabemos, para medir el movimiento es necesario tener un sistema de referencia fijo, lo cual es muy difícil de lograr sobre la superficie de La Tierra cuando es perturbada por la acción de las ondas sísmicas.

Tipos de sensores sismológicos.

Existen dos tipo de sensores sismológicos para medir el movimiento producido por las ondas sísmicas:

- Sensores extensometricos, que miden el movimiento de un punto de la superficie terrestre relativo a otro punto.
- Sensores inerciales, los cuales miden el movimiento del terreno utilizando una referencia inercial (una masa que tiene un acoplamiento débil con la superficie terrestre).

En la figura 2 se puede observar el principio de funcionamiento de los sensores extensometricos: Sobre el terreno se anclan dos pilares (A y B) a varias decenas de metros uno del otro. Mediante algún dispositivo (óptico, mecánico, etc.) se mide el movimiento relativo entre los mismos, causado por el paso de las ondas sísmicas. Debido a sus dimensiones y las condiciones especiales que requieren para su instalación, solo se emplean en muy pocos observatorios sismológicos.

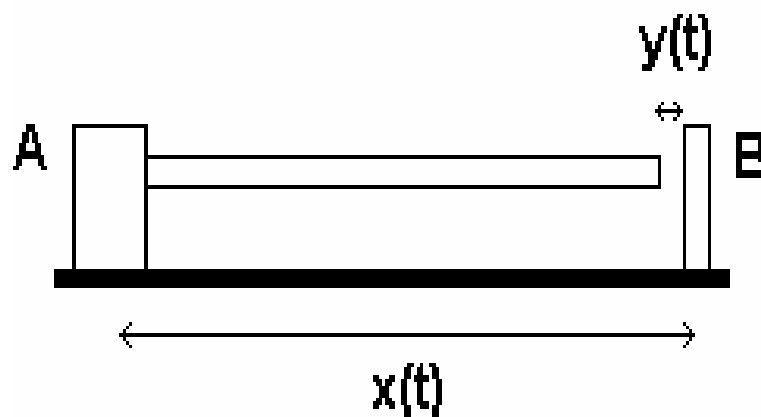


Figura 2. Modelo de sensor extensometrico

Los sensores inerciales constituyen en la actualidad los dispositivos mas utilizados para la detección de las ondas sísmicas, tanto en las investigaciones de la ciencia sismologica como en la ingeniería sísmica, geotécnica o de prospección.

El modelo mecánico de un sensor sismologico inercial se muestra en la figura 3:

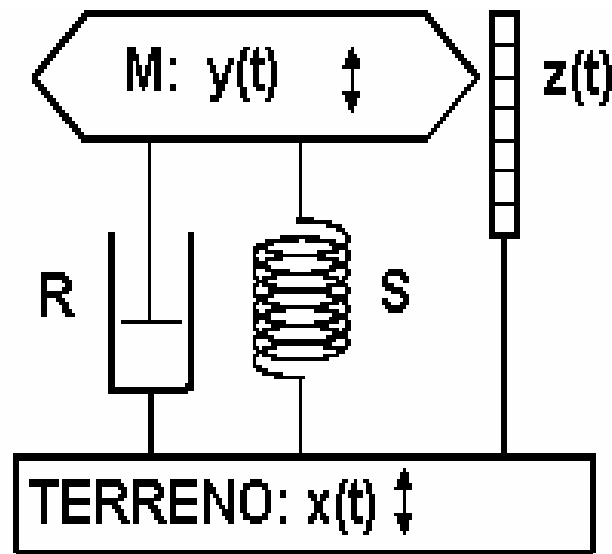


Figura 3. Modelo de un sensor inercial

Una masa inercial **M** es obligada a moverse en una sola dirección. Mediante un muelle de rigidez **S** es mantenida en suspensión. El elemento **R** suministra el amortiguamiento adecuado al sistema.

Cuando el movimiento **x(t)** del terreno actúa sobre el sistema, se produce un movimiento **y(t)** de la masa. Debido al acoplamiento débil que existe entre la masa y el terreno se produce un movimiento relativo **z(t)=y(t)-x(t)**.

Los primeros sensores inerciales registraban el movimiento directamente. Posteriormente fueron provisto de transductores que convierten el movimiento en una señal eléctrica. En la actualidad, la gran mayoría de los sismómetros de banda ancha, geofonos, acelerómetros, etc. que existen, se basan en este modelo.

Nuevos sensores sismológicos.

El rápido desarrollo de las tecnologías de fabricación de semiconductores ha hecho posible el desarrollo y la producción masiva de varios tipos de sensores usando estas tecnologías. Los dispositivos cuyo principio de operación esta basado en un diminuto elemento mecánico son denominados **sistemas micro electro-mecánicos, MEMS** por su sigla en ingles (**micro electro-mechanical systems**). En la figura 4 se muestra esquemáticamente la estructura del elemento sensor de un acelerómetro tipo MEMS.

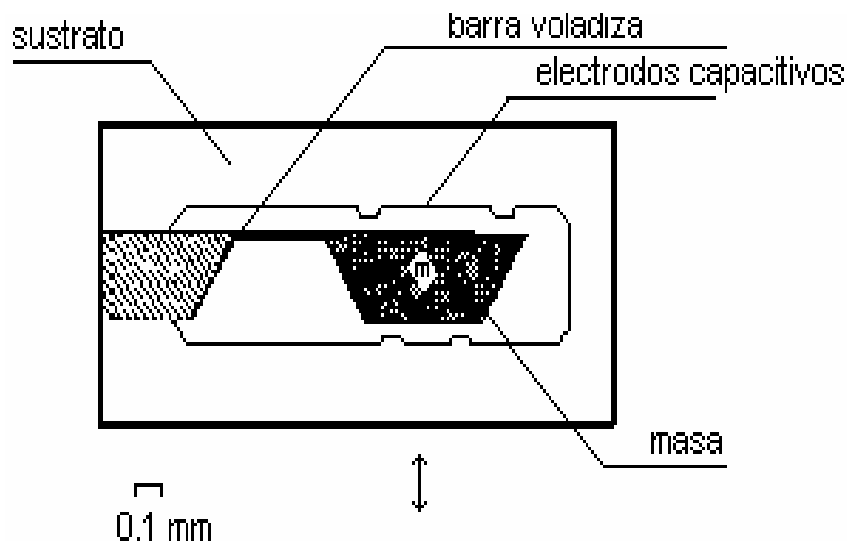


Figura 4. Esquema de un sensor MEMS

Una barra en voladizo sostiene la masa inercial entre dos electrodos capacitivos que permiten convertir el movimiento en una señal eléctrica. Este chip se acopla a un chip electrónico de funciones específicas y todo es encapsulado en un portador estándar de circuito integrado, como se muestra esquemáticamente en la figura 5, para producir un acelerómetro.

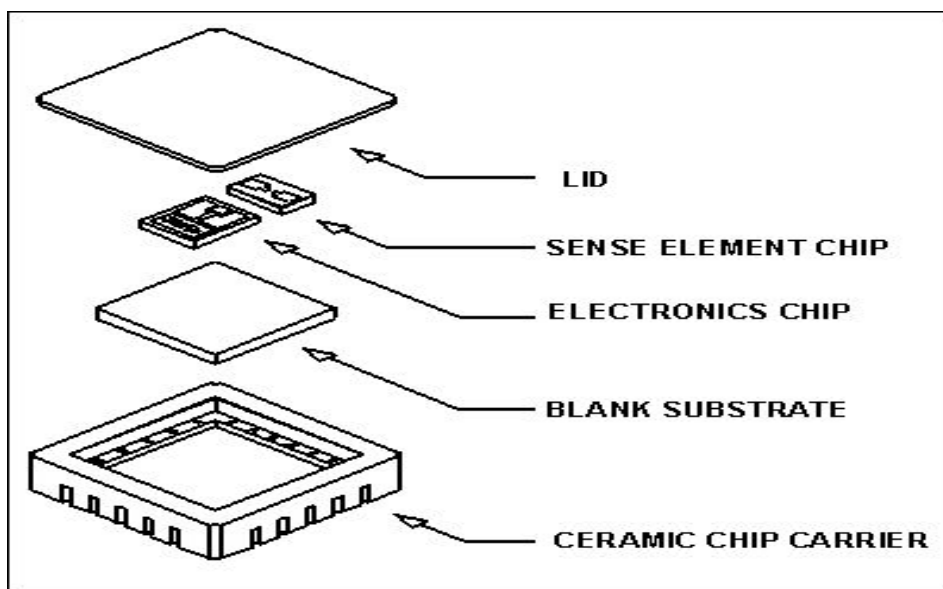


Figura 5. Esquema constructivo de un acelerómetro MEMS

La salida de un acelerómetro de este tipo puede ser analógica o digital. En este último caso es posible acoplarlo directamente a un sistema de registro y procesamiento digital (una PC por ejemplo) sin que medie un convertidor analógico digital. También se producen con una memoria incluida donde se graba su número de serie así como los parámetros que definen a cada dispositivo para evitar posibles errores en su utilización.

En la figura 6 se muestra un acelerómetro triaxial con la cubierta quitada. El producto final solo tiene 25 mm de lado.

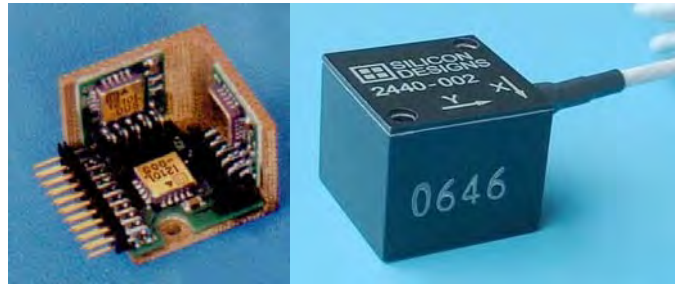


Figura 6. Acelerómetro triaxial MEMS

Aplicaciones

Al principio este tipo de sensor se produjo para ser utilizado en la industria automotriz y aeroespacial fundamentalmente, por la gran demanda que existía de sensores para medir vibraciones en los equipos que dichas industrias producen. Tres características de estos sensores hicieron muy atractivo su empleo:

1. Bajo costo dada la posibilidad de su fabricación masiva.
2. Pequeñas dimensiones .
3. Robustes y hermeticidad

Cuando comenzaron a producirse dichos sensores, sus parámetros técnicos estaban lejos de los requerimientos que los instrumentos sismológicos necesitan, pero con el desarrollo que los mismos han tenido, esa brecha se ha ido eliminando y han comenzado a invadir el campo de la sismología, la ingeniería sísmica, geotécnica y de prospección .

Existen tres aplicaciones en la esfera de la sismología donde se espera un aumento considerable de su utilización:

- En la formación de redes con una alta densidad de equipos, para detectar en tiempo real, el movimiento fuerte de los sismos con fines de mitigar sus efectos, e implementar programas de respuesta rápida.
- Monitoreo de la integridad estructural de edificios y otras estructuras.
- Sistema de seguridad que actúan automáticamente en caso de sismos fuertes.

En los estudios de ingeniería sísmica se están utilizando sensores como el que se muestra en la figura 7 que transmiten de modo inalámbrico la señal a una base central. Dada sus dimensiones y portatibilidad facilitan enormemente las mediciones y las hacen mucho mas baratas.

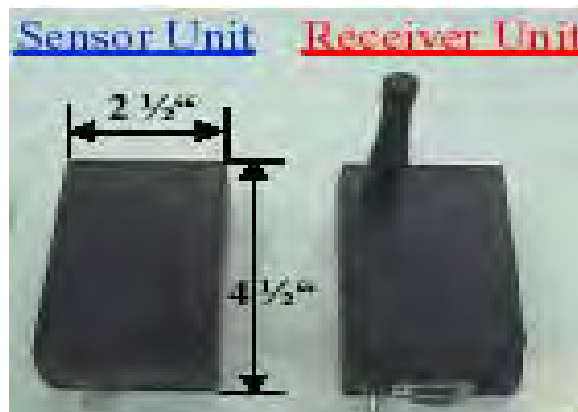


Figura 7 Sensor sísmico inalámbrico

En la exploración geofísica se han realizado pruebas con dispositivos MEMS obteniéndose resultados satisfactorios. El costo de perforación de un pozo para utilizar sensores MEMS es 8 veces inferior al costo de perforación de un pozo para utilizar sensores convencionales.

CONCLUSIONES.

Los sensores inerciales con transductor electromagnético constituyen los instrumentos fundamentales con los que se realizan las mediciones sísmicas en la actualidad. El rápido desarrollo de las tecnologías de producción de semiconductores han hecho posible el surgimiento, en la ultima década, de nuevos sensores sísmicos. La integración de un chip microelectro-mecanico con un chip electrónico ha permitido la construcción de un sensor cuyas dimensiones son milimetricas, su peso de unos pocos gramos y un precio varias veces inferior al de los sensores clásicos. Rápidamente se ha ido reduciendo la diferencia que existe entre los parámetros técnicos (sensibilidad, rango dinámico, nivel de ruido, etc.) de dichos sensores y los sensores convencionales. Ya existen dispositivos, utilizando estos nuevos sensores, que se están empleando en las investigaciones sismológicas (en la reunión anual del 2002 de la Sociedad Sismologica de EE.UU. se presento un acelerografo realizado con estas nuevas tecnologías) por lo que se espera un rápido crecimiento, en los próximos años, de su uso en las mediciones sismometricas.

Bibliografia.

Holland, A. 2003. Earthquake data recorded by MEMS accelerometer. *Seismological Research Letters* Vol.74 Number 1 pp 20-26.

- Stein, G. J. 2001. Some recent development in acceleration sensors. *Measurement Science Review*. Vol 1 Number 1.
- Borman P. 2002 New Manual of Seismological Observatory Practice. GeoForschungsZentrum. Germany 2 Vol.
- Brandt, M. Janisch, J. Furbock, Ch. Kempe, V. 2001. A modular MEMS accelerometer concept. <http://www.austriamicrosystems.com>

UN PROCEDIMIENTO PARA TAREA INVERSA DE MODELOS DE CUERPOS SIMPLES Y COMPLEJOS EN GRAVIMETRÍA UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

Ing. Pedro Gil Junco Bernazar

*Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría". Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba. C.P.
19390. Teléfono: 260 1073, Fax: 272964, e-mail: pgilj@civil.cujae.edu.cu*

En este trabajo describe un método para la obtención de la tarea inversa, en la interpretación de la componente vertical del campo gravitatorio, esto es por medio de la utilización de un algoritmo de optimización global. Este método de cálculo consiste en la sustitución del cuerpo por un sistema de prismas horizontales de longitud finita y adecuada sección transversal (polígonos regulares). Este método constituye una herramienta importante para resolver la tarea inversa de la determinación de los parámetros físicos y geométricos de los cuerpos buscados. Este trabajo presenta una automatización de la resolución de la tarea inversa mediante el uso de un algoritmo genético.



APLICACIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE TRABAJO DE REGISTROS GEOFÍSICOS (USI)

Norma Mitchel López⁽¹⁾ , Nancy Córdova Oliveros⁽²⁾

(1) Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro, Finca "La Cachurra", Guásimas, Matanzas. E-mail: ncordova@epepvar.minbas.cu

(2) Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro, Finca "La Cachurra", Guásimas, Matanzas. E-mail: nmitchel@epepvar.minbas.cu

RESUMEN

El USI Imager Ultrasónico es una de las herramientas de Imagen acústica de nueva-generación. La sonda gira 360-grado dándonos una imagen acimutal. El análisis de la onda ultrasónica reflejada nos proporciona la información sobre la impedancia del material que se encuentra inmediatamente detrás del casing. Como resultado obtenemos un mapa, indicador visual de la calidad del cemento. Lo mismo obtenemos con el registro de corrosión, donde se ven las deformaciones y/o roturas de la camisa.

Es necesario conocer exactamente los parámetros del líquido que se encuentra dentro del pozo como son densidad, velocidad de las ondas acústicas e impedancia acústica, para que el registro para obtener calidad y confiabilidad en la interpretación.

El objetivo de este trabajo es el conocimiento de la aplicación de la herramienta USI en el completamiento de pozos nuevos y verificación del estado técnico de pozos viejos.

La herramienta USI, además de verificar la calidad de la cementación de forma mas efectiva que el CBL – VDL, también se puede observar si el cemento esta fraguado, no fraguado y si hay líquido y/o gas, detrás de la camisa.

La Herramienta USI nos permitió hacer la valoración del estado técnico de las camisas en los pozos seleccionados y se obtuvo un mapa de la distribución del cemento detrás de la de la camisa, con el cual es posible establecer los punzados en las zonas mas favorables del corte de los pozos.

En la actualidad se ha corrido la herramienta USI en cinco pozos del yacimiento Varadero detectándose deformaciones y roturas en las camisas, pudiéndose determinar además el estado de la cementación en el pozo.

ABSTRACT

The USI Ultrasonic Imager is one of the tools of acoustic Image of new-generation.

The probe rotates 360-grade giving us an azimuthal image. The analysis of the reflected ultrasonic wave provides us the information about the impedance of the material that is immediately behind the casing. As a result we obtain a map, visual indicator of the quality of the cement. The same thing obtains with the registration of corrosion, where the deformations and/or breaks of the shirt are come.

It is necessary to know the parameters exactly of the liquid that it is inside the well like they are density, speed of the acoustic waves and acoustic impedance, so that the registration to obtain quality and dependability in the interpretation.

The objective of this work is the knowledge of the application of the tool USI in the completamiento of new wells and verification of the technical state of old wells.

The tool USI, besides verifying the quality of the form cementation but effective that the CBL - VDL, one can also observe if the cement this forged, not forged and if there is liquid and/or gas, behind the shirt.

The Tool USI allowed us to make the valuation of the technical state of the shirts in the selected wells and a map of the distribution of the cement was obtained behind that of the shirt, with which is possible to establish those punctured in the areas but favorable of the cut of the wells.

At the present time one has run the tool USI in five wells of the location Shipyard being detected deformations and breaks in the casings, being able to also determine the state of the cementation in the well.



INTRODUCCIÓN

El deterioro de las camisas de producción de los pozos mas viejos de nuestro yacimiento, provocó escapes de gas en superficie, lo que constituía una amenaza al medio ambiente.

Era necesario determinar con brevedad, cual de estos pozos era el causante de esta avería y al departamento de yacimiento de nuestra Empresa se le dio la tarea de investigar y seleccionar una herramienta que permitiera registrar el estado técnico de las camisas, así como la cementación de las mismas.

El objetivo de este trabajo es el conocimiento de la aplicación de la herramienta USI en el completamiento de pozos nuevos y verificación del estado técnico de pozos viejos.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este trabajo se desarrolló una investigación bibliográfica de las herramientas de registro geofísico utilizadas por SCHLUMBERGER (Compañía Operadora que brinda, entre otros, servicios de registros geofísicos) para determinar la idónea a utilizar en nuestro caso.

Se seleccionó la herramienta USI como la idónea y probó en pozos que no figuraban en el área de la avería.

Los resultados fueron satisfactorios, por lo que se procedió a aplicar esta herramienta en la zona objeto de estudio.

RESULTADOS

La aplicación de esta herramienta permite:

- 1.- Hacer la valoración del estado técnico las camisas y obtener la información necesaria para proceder a su reparación.
- 2.- Obtenemos un mapa de la distribución del cemento detrás de la de la camisa, con el cual es posible ubicar los punzados en las zonas mas favorables, evitando futuras averías

DISCUSIÓN

El USI Imager Ultrasónico es una de las herramientas de Imagen acústica de nueva generación.

La interpretación de los datos grabados depende de la aplicación. Podemos correr

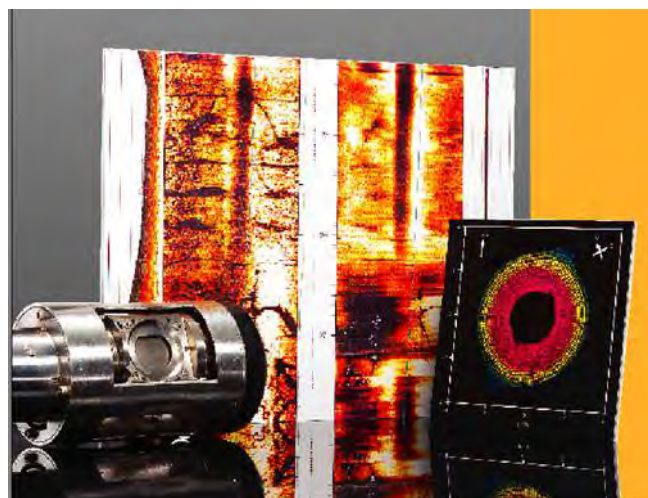
USIT CORROSION

USIT CEMENTACION

La sonda gira 360-grado dándonos una imagen acimutal .

El análisis de la onda ultrasónica reflejada nos proporciona la información sobre la impedancia del material que se encuentra inmediatamente detrás del casing.

Como resultado obtenemos un mapa, indicador visual



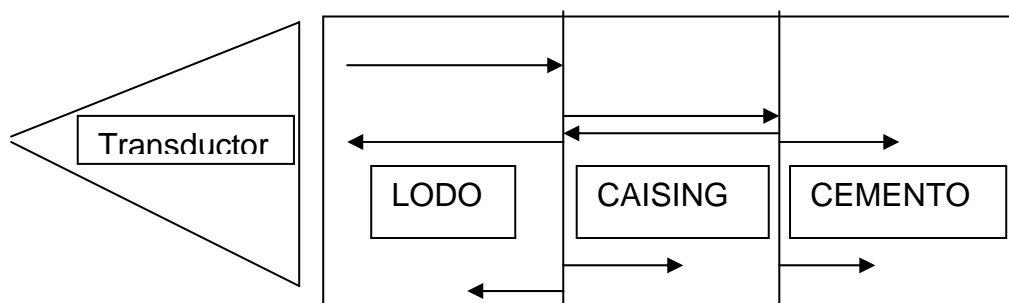


de la calidad del cemento.

Lo mismo obtenemos con el registro de corrosión, donde se ven las deformaciones y/o roturas de la camisa .

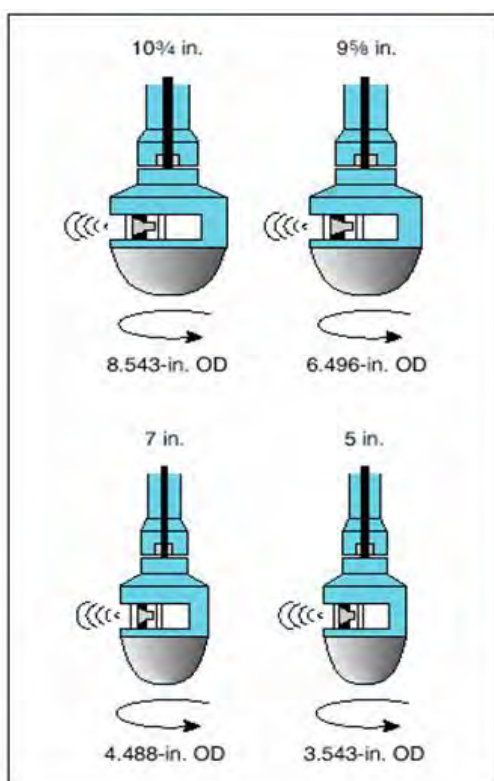
Es necesario conocer exactamente los parámetros del líquido que se encuentra dentro del pozo como son densidad, velocidad de las ondas acústicas e impedancia acústica durante el registro para obtener calidad y confiabilidad en la interpretación.

Principio de Funcionamiento



El transductor emite pulsos ultrasónicos. Existen tres medios: Transductor – lodo, lodo – camisa y camisa - cemento

La energía viaja desde el transductor a través del lodo, parte de esta energía se refleja, otra parte se refracta, hacia la camisa, en el medio lodo – camisa, ocurriendo lo mismo en el medio camisa – cemento; esto es en dependencia de la impedancia acústica de cada medio.



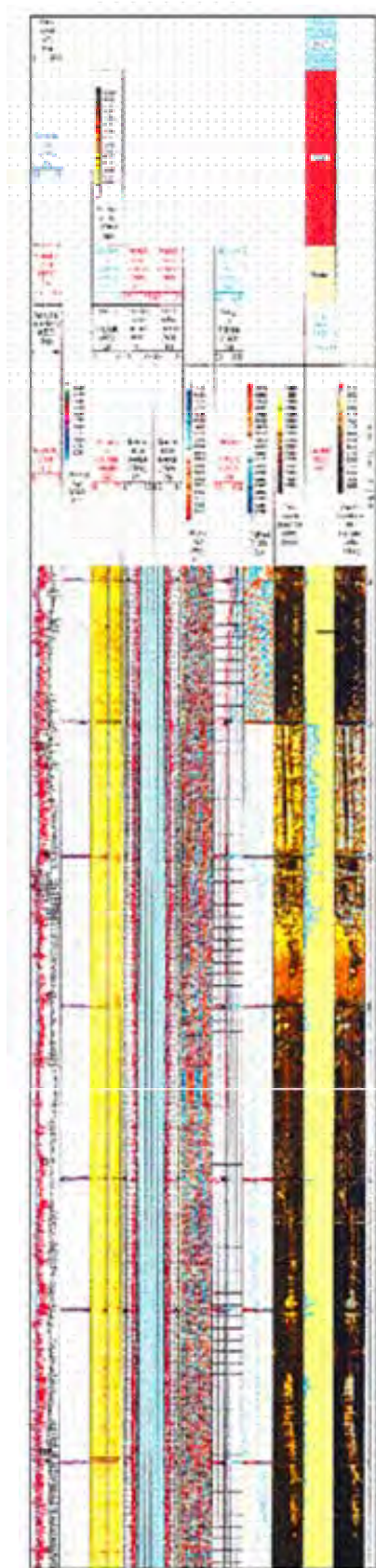
Herramienta USI



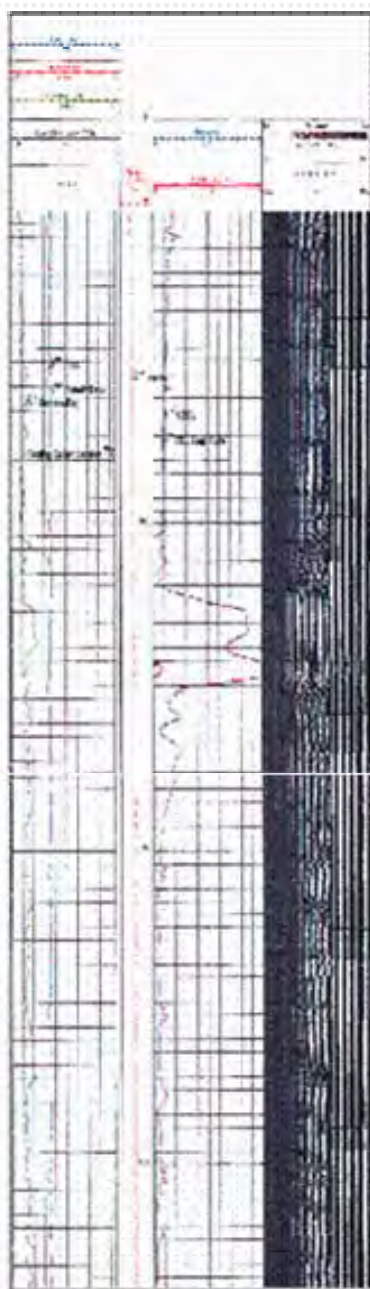


Comparación de la herramienta USI y CBL – VDL

USI



**CBL -
VDL**



La herramienta USI, además de verificarse la calidad de la cementación de forma mas efectiva que el CBL – VDL se puede observar si el cemento esta fraguado, no fraguado y si hay liquido y/o gas, detrás de la camisa.

Hasta el momento se ha corrido la herramienta USI en cinco pozos, detectándose deformaciones y roturas en camisas así como una correcta evaluación de la calidad de la cementación.



COCLUSIONES

El registro geofísico USI se debe utilizar en los pozos donde exista la posibilidad de roturas de camisas, así como cuando se proponga punzar un pozo para ubicarlo en la zona mas favorable.

BIBLIOGRAFIA

1. Documentos de Archivo y Documentos clasificados



NUEVO DISPOSITIVO MULTIELECTRODICO DE OPERACION MANUAL PARA LEVANTAMIENTOS (2D) Y (3D) DE RESISTIVIDAD

Roberto Viltres Morales⁽¹⁾, Tomás Ayata Rodríguez⁽¹⁾

(1)Grupo de Geofísica, Empresa Geominera Camagüey, Carretera Central Este Km 51/2, Ciudad Camagüey, Provincia Camagüey, Cuba. Teléfonos: 271013, 271328, 271990. E-mail: robertovm@geomineracmg.co.cu

RESUMEN

Como parte de un programa, dirigido a proveer a nuestros geofísicos de campo de una herramienta útil y de bajo costo para la adquisición de datos, que promueva el empleo de nuevas técnicas y procedimientos de trabajo más eficientes que a su vez resulten en una considerable reducción de las limitaciones encontradas en los tradicionales métodos (1D), principalmente durante la ejecución de las observaciones geofísicas, hemos diseñado un nuevo dispositivo multielectrodos (DSM-24E-1 y DSM-24E-2) de operación manual que facilita el proceso de adquisición de datos e implementar la técnica de tomografía de resistividad (2D) y (3D) en futuros proyectos e investigaciones geoelectricas. El dispositivo esta equipado con capacidad para conectar mediante un cable especial 24 electrodos, a equipos de resistividad convencionales y seleccionar entre ellos los apropiados para cada medición de forma rápida y sencilla, además permite la elección previa del dispositivo de medición a emplear entre los de uso común en los levantamientos geoelectricos tales como (Wenner, Wenner-Schlumberger, Polo-Polo, Polo-Dipolo Normal-Combinado, Dipolo-Dipolo y Gradientes Medios). El poder contar con este equipo multielectródos facilita a los geofísicos de campo la ejecución de estudios que requieran un mayor detalle, ampliar la capacidad resolutive del método de resistividad ante las diferentes situaciones geológicas y la adquisición de un volumen mayor de datos con un considerable aumento de la calidad, disminución del tiempo y esfuerzo físico requerido durante los trabajos de campo. Los datos pueden ser procesados mediante el empleo de nuevos y rápidos softwares de inversión.

ABSTRACT

As part of a program aimed to provide our field geophysicists with a new low cost and useful tool for data acquisition, and to promote the application of new DC techniques in order to reduce the limitations encountered in traditional surveys (1D), we have build up a new manually operated multi-electrode switching unit for implementing (2D) and (3D) resistivity imaging surveys in future investigations. This work intends to show the capabilities of the units (DSM-24E-1 and DSM-24E-2). Both are equipped with full capacities for selecting the appropriate set of electrodes making possible to fallow the data acquisition procedure in a systematic and easy manner. The system supports a maximum of 24 electrodes to be connected to a conventional single channel resistivity meter by means of a multi core cable. Among other characteristics, the switching unit also supports most of the commonly used for 2D resistivity imaging surveys electrode arrangements such like (Wenner, Wenner-Schlumberger, Pole-Pole, Pole-Dipole forward and reverse, Dipole-Dipole and Mid-Gradient). The availability of this unit allows field geophysicists to count with a new tool for carrying detailed geoelectrical studies in a more efficient way by reducing the surveying time as well as the man power needed in field execution. Besides this, it is possible to increase the amount and quality of data sets to be collected, leading in more detailed pictures of the subsurface resistivity distribution and interpreted models. The data collected with this multi-electrode switching unit could be processed and interpreted using modern and rapid inversion software.



INTRODUCCION

La gran experiencia acumulada durante más de dos décadas en el empleo de los métodos geofísicos, particularmente el método de prospección eléctrica con técnicas unidimensionales (1D) de Resistividad y PI, ha permitido en gran medida, su aplicación con éxito en diferentes campos de las geociencias tales como la exploración de minerales metálicos y no metálicos, estudios y localización de acuíferos, ingeniería geológica, medio ambiente y otros.

Durante los últimos años en gran variedad de aplicaciones el método de geoelectricidad se ha visto limitado a la ejecución de trabajos mediante la técnica 1D (Sondeos y Perfilajes). Entre las principales causas resaltan la no disponibilidad de instrumentación apropiada así como también de herramientas (Softwares) que faciliten el manejo y procesamiento de los datos a coleccionar durante la ejecución de trabajos más complejos y voluminosos, de igual manera la interpretación de los resultados se vio reducida a simples modelos unidimensionales (Interpretación de capas horizontales). Sin embargo, a nivel mundial esta práctica se mantuvo hasta principios de los años 90, fecha a partir de la cual se reporta un crecimiento sustancial con los grandes avances alcanzados en el diseño del equipamiento portátil de campo, software de interpretación y modernas microcomputadoras, la combinación de estos factores ha propiciado el desarrollo de nuevas técnicas de investigación que se han convertido actualmente en una práctica común. Entre las mencionadas técnicas podemos citar los levantamientos (2D) de resistividad y PI (Griffiths and Barker 1993) de amplio uso en diferentes aplicaciones que incluyen el mapeo en áreas de moderada complejidad geológica y los levantamientos (3D) (Ellis and Oldenburg 1994, Loke and Barker 1996) para el estudio en áreas de mayor complejidad geológica. Estas nuevas técnicas, han demostrado ser capaces de ofrecer una mayor exactitud en los resultados, aunque a un costo superior al de los tradicionales estudios uni-dimensionales (1D), esto se debe, entre otras causas, a los elevados precios del equipamiento de campo que se ofertan por numerosas compañías y que se encuentran en el orden de más de 15 000 dólares.

Como parte de un programa que tiene como objetivo el proveer a nuestros geofísicos de campo de una herramienta útil y de bajo costo para la adquisición de datos, hemos diseñado un dispositivo portátil multielectrodos de operación manual con capacidad para 24 electrodos, el cual facilita el proceso de adquisición de datos y permite implementar las modernas técnicas de Tomografía de resistividad y PI (2D) y (3D) en futuros trabajos e investigaciones geoelectricas. Esto va acompañado con el empleo de procedimientos más eficientes en la ejecución de los trabajos con los cuales es posible lograr una reducción considerable de las limitaciones que frecuentemente encontramos durante el empleo de las técnicas tradicionales (1D).

MATERIALES Y METODOS

La implementación de las técnicas mediante las cuales se realizan estudios con el método de resistividad en las variantes (2D) y (3D) requiere la adquisición de un gran volumen de datos comparado con los tradicionales sondeos y perfilajes (1D). Este factor tiende a aumentar la duración de los trabajos si no se dispone de un equipamiento adecuado para la ejecución de los mismos. Sin embargo, es posible reducir considerablemente el tiempo mediante el empleo del nuevo dispositivo multielectrodos DSM-24E-1 (para dispositivos dipolares) y DSM-24E-2 (para dispositivos Wenner y Wenner-schlumberger), ambos con



capacidad para conectar mediante el empleo de un cable del tipo " Barquer" un total de 24 electrodos a equipos de resistividad convencionales ver figura: 1.



Figura: 1 Dispositivos DSM-24E-1 y DSM-24E-2, con capacidad para 24 electrodos.

Entre los principales requerimientos para la obtención de modelos bidimensionales se encuentra el que las observaciones de campo se realicen de igual manera en (2D), lo que es posible de lograr siguiendo una secuencia de interconexión mediante la cual, una vez seleccionado el dispositivo de medición los electrodos son conectados en diferentes combinaciones al equipo de resistividad. Este proceso es muy similar al que ejecutan de forma automática los modernos equipos de resistividad, sin embargo, aún cuando se realiza manualmente nos permite ejecutar las mediciones de forma continua trayendo como resultado un aumento considerable en la velocidad de adquisición de los datos. Una línea de medición compuesta por 24 electrodos, con la secuencia para obtener la pseudosección de resistividad se muestra en la figura 2.

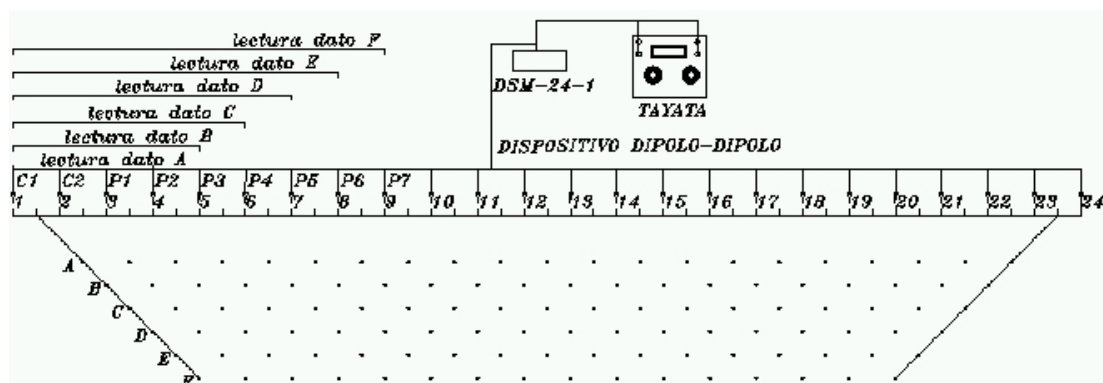


Figura: 2 Esquema de una línea de medición 2D, con un dispositivo de 24 electrodos, L= 115m.

La conexión entre los electrodos a través del dispositivo y el equipo de medición se asegura mediante el empleo de dos secciones de cables, contruidos especialmente para esta finalidad, cada una de las cuales permite conectar 12 electrodos con separación máxima de 5m, la longitud máxima inicial alcanza 115m, con posibilidad de extender la línea de medición aplicando para esto la conocida técnica de "roll along" (Dahlin, T and Bernstone, C 1997) .

Durante el diseño y construcción de los dispositivos DSM-24-1 Y 2 se emplearon accesorios y componentes tales como fichas, conectores y cables de conexión provenientes de equipos geofísicos obsoletos y fuera de servicio, las mayores inversiones estuvieron relacionadas con algunos materiales para soldar así como el tiempo requerido para el ensamblaje final de los componentes según el esquema eléctrico principal.



RESULTADOS

El Dispositivo Multielectrodos una vez acoplado al equipo de resistividad, facilita desde un punto fijo la obtención de lecturas continuas de los parámetros corriente (I) en la línea de alimentación, así como también la diferencia de potencial (ΔV) entre los electrodos de potencial. El estudio a diferentes niveles de profundidad se logra aumentando la longitud de la configuración de electrodos (dispositivo de medición), o sea, la separación entre los electrodos de corriente y los de potencial mediante los selectores especiales que controlan la función de los mismos. De esta manera la adquisición de datos se realiza sin necesidad de esfuerzos físicos adicionales reduciéndose estos a la ubicación inicial de los electrodos y el cable de conexión.

El Dispositivo Multielectrodos está equipado con capacidad para elegir entre las configuraciones de medición de mayor uso en los levantamientos geoeléctricos la más apropiada y capaz de brindar una respuesta rápida y eficiente ante las variadas tareas geológicas e investigativas. Dentro de éstas se encuentran las configuraciones de tipo (Wenner, Wenner-Schlumberger, Polo-Polo, Polo-Dipolo Normal-Combinado, Dipolo-Dipolo y Gradientes Medios), cada una ellas posee características propias, que se encuentran estrechamente vinculadas a la geometría entre los electrodos. Debido a esto se observan diferencias en cuanto a la respuesta (sensibilidad) ante los cambios horizontales y verticales en la resistividad del subsuelo, cobertura horizontal de datos, profundidad media de estudio e intensidad de señal para cada dispositivo en particular, por lo que la evaluación a priori de estos parámetros es de gran importancia a la hora de seleccionar el dispositivo de medición para llevar a cabo las observaciones geofísicas.

La figura 3 muestra un perfil de prueba realizado con el objetivo de comprobar el funcionamiento del nuevo dispositivo de medición, con este fin se aplicó la técnica de tomografía eléctrica (Imaging-2D) y se obtuvieron las pseudo secciones de resistividad aparente observadas (parte superior) para cada dispositivo. Las observaciones de campo, luego de ser editadas, fueron procesadas mediante un software especializado para la inversión de los datos. La visualización posterior mediante un montaje de los resultados nos permitió comparar no sólo los modelos obtenidos (parte inferior) entre los diferentes dispositivos sino también las pseudosecciones de resistividad aparentes calculadas (parte central) con las observadas en cada caso.

En esta investigación se utilizaron cuatro de los dispositivos de uso común en trabajos geoeléctricos, Dipolo-dipolo, Polo-Dipolo, Wenner y Wenner-schlumberger, las mediciones se realizaron empleando todas las posibles combinaciones entre electrodos y se obtuvieron ficheros de datos a lo largo de una línea con longitud máxima de 11.5 m, la separación mínima entre electrodos fue de 0.5 m, las aberturas máximas variaron en dependencia del dispositivo empleado y la capacidad permisible del dispositivo multielectrónico lo que resultó en diferentes profundidades medias de estudio. Como puede apreciarse las pseudosecciones de resistividades aparentes observadas difieren entre sí lo que se debe a que fueron obtenidas con diferentes dispositivos de medición, sin embargo, el proceso de inversión realizado a cada uno de los ficheros independientes muestra resultados muy similares lo que era de esperar ya que estos corresponden a la misma línea de medición.

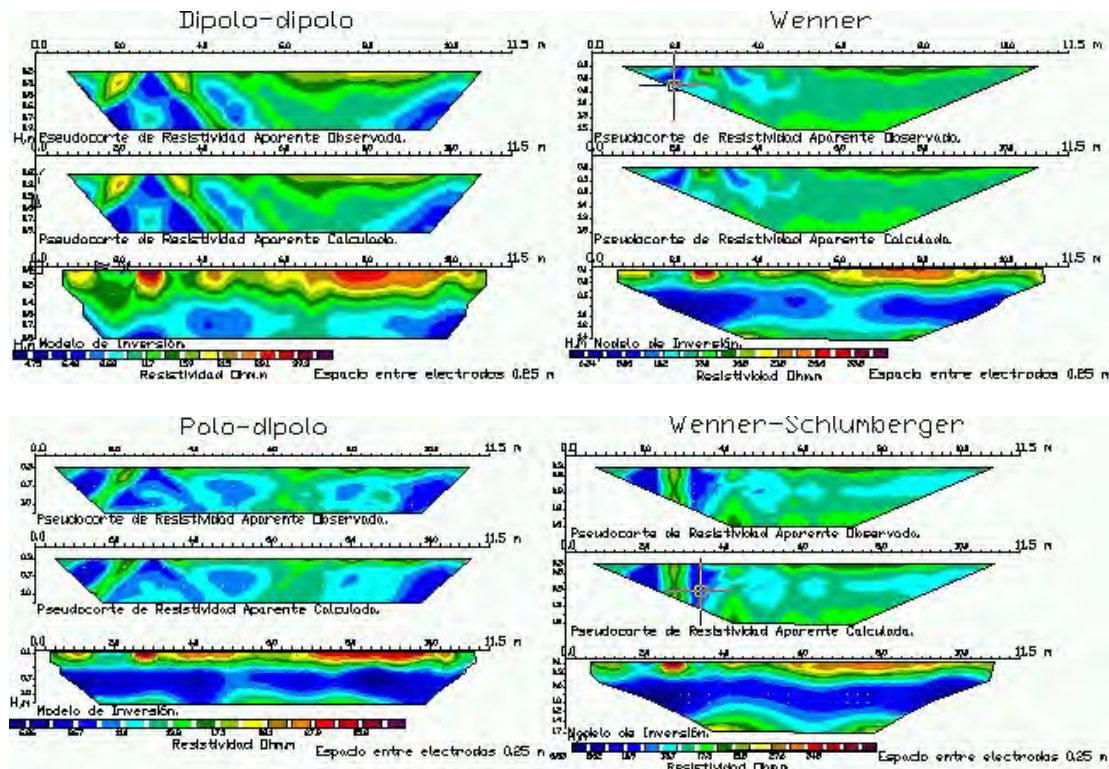


Figura: 3 Línea de medición 2D, donde se empleó el dispositivo DSM-24E-1 y DSM-24E-2.

Como parte del proceso de pruebas se realizó un segundo estudio en (3D) dentro de los límites de una pequeña área donde afloran restos de un ejemplar de árbol fósil (Área La Clotilde, Municipio Najasa, Provincia Camagüey), la zona de investigación ocupa un área de 28 m², las mediciones se ejecutaron siguiendo una red de perfiles paralelos de rumbo norte-sur y este-oeste, la separación entre líneas fue de 0.5 m y la separación entre estaciones fue de 0.5 m, para realizar las observaciones geofísicas se empleo el dispositivo Polo-Polo el cual requirió la ubicación de dos electrodos a una distancia mayor de 80m del área de investigación. Los datos obtenidos fueron editados y posteriormente procesados mediante el empleo de un software especializado para la inversión de datos tridimensionales.

En la figura: 4 se muestra el plano de resistividad obtenido a partir de la inversión tridimensional de los datos, mediante el empleo de esta técnica fue posible determinar la extensión vertical y horizontal de los diferentes objetos anómalos dentro de los límites del área de estudio. Como puede apreciarse se detectaron anomalías de resistividad que responden a la presencia dentro de los sedimentos cuaternarios de objetos muy resistivos (Restos de árbol Silicificado) anomalía (A), además se detectaron otras anomalías asociadas a posibles cuerpos enterrados a poca profundidad, como es el caso de la anomalía tipo (B).

Una vez comprobado con éxito el funcionamiento del Dispositivo Multielectrodos se procedió a su aplicación práctica durante la ejecución de los trabajos geofísicos relacionados a un proyecto geológico, el objetivo de este consistía en realizar el estudio y evaluación de las rocas carbonatadas que conforman el yacimiento de calizas "Cerro Pelado" para su posterior uso como materiales de construcción entre otros. El yacimiento se encuentra ubicado en el municipio de Senado, provincia Camagüey.



El estudio geofísico proyectado comprendía la ejecución de un volumen considerable de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), cuyos datos aportarían la información necesaria en cuanto a espesores de estratos, que a su vez permitirían seleccionar las aberturas óptimas para la posterior ejecución de un volumen mayor de Perfilaje Simétrico con doble abertura.

La práctica demostró la existencia de grandes limitaciones que dificultaban o impedían la ejecución con éxito de estos trabajos y lograr los objetivos propuestos. Entre estas limitaciones podemos citar la existencia de un área cubierta con abundante vegetación (marabú), y la existencia de canteras con desniveles >5m que no permitían aumentar la separación entre los electrodos de alimentación para alcanzar la profundidad media de estudio deseada, principalmente con la técnica de SEV.

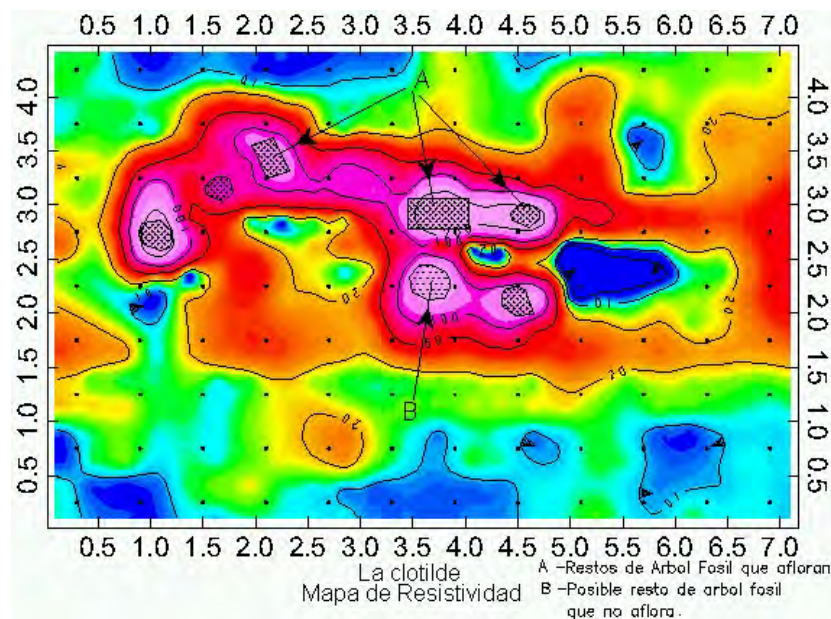


Figura: 4 Plano de resistividad obtenido a partir de la inversión tridimensional.

Para dar solución a la tarea planteada se aplicó la técnica de Tomografía de Resistividad (2D) con el empleo del sistema multielectrodos y la selección de un dispositivo de medición Polo-Dipolo, esto nos permitió alcanzar una profundidad media de estudio de aproximadamente 20m y un grado de detalle suficiente para garantizar el mapeo y delimitación de las zonas más favorables dentro del macizo de rocas carbonatadas a diferentes niveles, no sólo dentro de los límites de la actual cantera sino también en los flancos de ésta. Estas zonas se delimitaron a partir de los valores superiores a 300 Ohm.m. En la figura 5 se muestra el modelo de resistividad obtenido como resultado de la inversión de los datos y su posible interpretación geológica, los mismos corresponden a la parte central de la línea 100 E ejecutada dentro de los límites del área de la cantera.

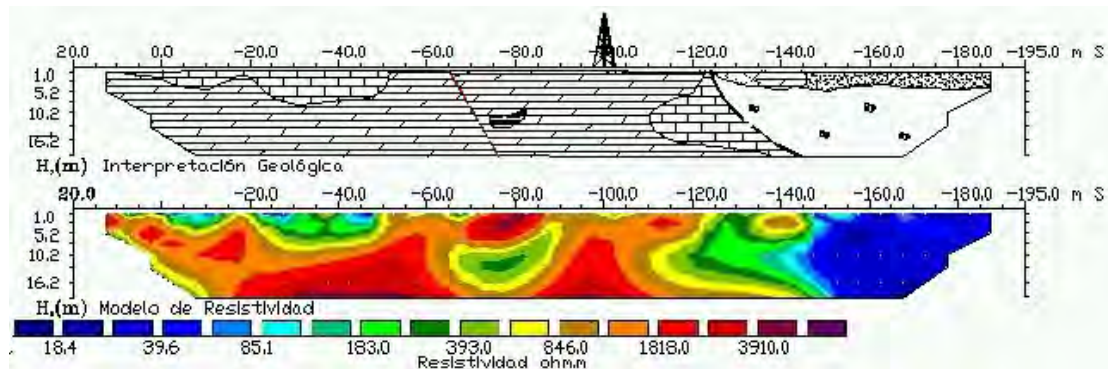


Figura: 5 Modelo de resistividad y su interpretación geológica.

Con el objetivo de obtener una imagen sobre la posible distribución entre perfiles de las zonas de interés detectadas, se confeccionó un mapa en planta de resistividad que abarca toda el área de estudio. Para el logro de este objetivo se utilizó la información aportada por los modelos de resistividad obtenidos previamente a partir de la inversión de los datos colectados con ayuda del dispositivo DSM-24E-1 y mediante la aplicación de la técnica 2D. La figura: 6 muestra el mapa de resistividad confeccionado para dos niveles de profundidad 10m y 5m, correspondientes a las zonas fuera y dentro de los límites de la cantera respectivamente.

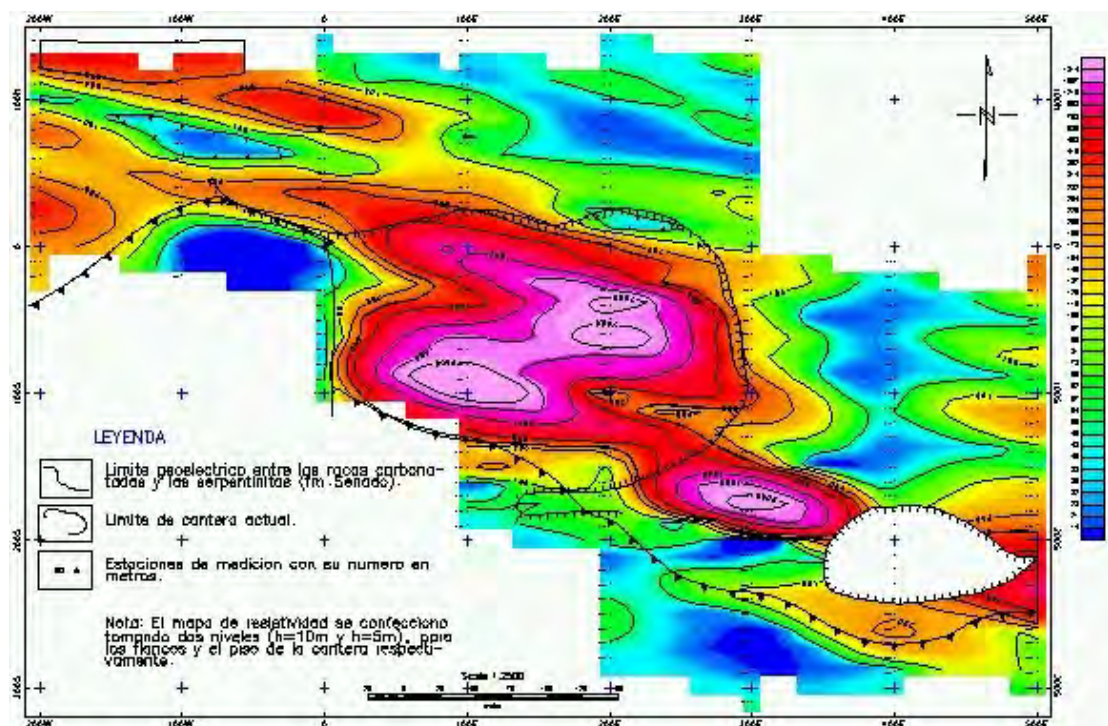


Figura: 6 Mapa de resistividad para los niveles 10m y 5m.

Como puede apreciarse el empleo del dispositivo, con la implementación de las modernas técnicas facilitó en gran medida la caracterización espacial del área de estudio, esto nos permitió en un corto plazo de tiempo delimitar zonas perspectivas, establecer los lugares más representativos para la ubicación de pozos de comprobación con una reducción



considerable del riesgo asociado a la perforación de localidades desconocidas así como también se logró reducir en general los tiempos y costos del proyecto.

CONCLUSIONES

Como puede apreciarse, el análisis de los resultados obtenidos con cuatro configuraciones de medición diferentes durante el proceso de pruebas del nuevo dispositivo demuestra, la efectividad del empleo de esta nueva herramienta para acometer trabajos geoelectricos en los diferentes campos de aplicación, además nos permite dar respuesta a nuevas interrogantes con una mayor exactitud, ya que podemos contar con un elevado grado de información particularmente sobre la distribución de la resistividad del subsuelo, y a su vez, generar modelos más exactos como resultado de la inversión de los datos que pueden ser usados en interpretaciones geológicas.

Una de las principales características del nuevo dispositivo es la capacidad de interconectar un número determinado de electrodos en correspondencia al tipo de configuración (dispositivo de medición) que se emplee durante las investigaciones, esto trae como resultado una disminución considerable del esfuerzo físico que con anterioridad se requería para la ejecución de los volúmenes de campo, además se obtienen mediciones con un notable incremento de la calidad, y de igual modo es posible reducir el tiempo de duración de los trabajos, aún cuando se observa un incremento del volumen de datos a procesar.

RECOMENDACIONES

Tomando en consideración lo anteriormente expuesto y luego de haberse empleado exitosamente el dispositivo multielectrodos durante los trabajos geofísicos de campo recomendamos su utilización para de esta manera facilitar la implementación de las ya comunes técnicas 2D Y 3D de resistividad y PI en futuros trabajos e investigaciones geoelectricas. Para alcanzar este fin se recomienda la proyección de los trabajos sobre la base de las metodologías existentes para la ejecución de trabajos geoelectricos con las técnicas modernas.

BIBLIOGRAFIA

- Dahlin, T., C, Bernstone, 1997. A roll-along technique for 3D resistivity data acquisition with multi-electrode arrays. Procs. SAGEEP '97 (Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems), Reno, Nevada, March 23-26 1997, vol 2, 927-935.
- Ellis, R, G., D, W, Oldenburg, 1994. The Pole-Pole 3-D DC-resistivity inverse problem: a conjugate gradient approach. Geophys. J. Int., 119, 187-194.
- Griffiths, D, H., R, D, Barker, 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. Journal of Applied Geophysics, 29, 211-226.
- Loke, M, H., R, D, Barker, 1996a. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting, 44, 131-152.
- Loke, M, H., R, D, Barker, 1996b. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. Geophysical Prospecting, 44, 499-523.