

Ubicación de zonas favorables para la exploración petrolera a partir del estudio de los campos potenciales en el sector Esmeralda, Cuba

José Gemén Luis Prol-Betancourt ^(1*), María Caridad Rifá-Hernández ⁽¹⁾ y Guillermo Miró-Pagés ⁽²⁾

⁽¹⁾ *Centro de Investigaciones del Petróleo. Churrucá No 481, Cerro, La Habana, Cuba, CP 12000 Cuba. E-mail: prol@digicupet.cu, rifa@digicupet.cu*

⁽²⁾ *Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad. Ing. Civil, Dpto. Geociencias, Calle 114 No. 11901 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana, Cuba. CP 19390 Email: gmiro@civil.cujae.edu.cu*

Recibido: septiembre 2, 2015	Aceptado: diciembre 20, 2015
------------------------------	------------------------------

Resumen

Los sedimentos plegados del margen continental que se cortan en los yacimientos del norte de las provincias, La Habana, Mayabeque y Matanzas no afloran en el sector de estudio. El mínimo Norte Cubano, anomalía gravitacional donde se inscriben los yacimientos conocidos hasta hoy, se extiende hacia el área de estudio; por lo tanto, es plausible la idea de encontrar estos sedimentos bajo las rocas ígneas que afloran en el sector. La investigación tuvo como objetivo ubicar los sectores donde con mayor probabilidad se elevan los sedimentos del margen continental bajo el denominado Terreno Zaza, mediante la interpretación de los campos potenciales y su analogía con las anomalías donde se ha encontrado este tipo de estructuras, con el apoyo de la información geológica de superficie y de pozos. Se presenta el mapa de zonificación geológica de las anomalías gravitacionales, señalando los sectores sobre los cuales deben concentrarse los futuros levantamientos sísmicos.

Palabras clave: anomalía en reducción Bouguer, anomalía del campo magnético total (ΔT anómalo), levantamiento gravimétrico, levantamiento magnético, máximos y mínimos regionales, máximos y mínimos locales

Location of favourable areas for the oil exploration starting from the study of the potential fields in the sector Esmeralda, Cuba

Abstract

In the study sector there are no evidence of outcrops of the continental margin that have been cut in the oil fields of the north of the provinces Havana, Mayabeque and Matanzas. The Cuban North minimum, regional anomaly where belongs the oil fields known until the present, extends toward the study area; therefore, it is commendable the idea of finding these sediments under the igneous rocks that appear in the sector. The investigation had as objective to locate the sectors where with more probability the sediments of the continental margin rise under the denominated Zaza Terrain, by means of the interpretation of the potential fields and its analogy with the anomalies of well-known oil structures, with the support of the geological surface information of and of wells. The map of geological classification of the gravity anomalies is presented, pointing out the sectors on which should concentrate the future seismic surveys.

Keywords: Bouguer anomaly, ΔT anomaly, gravity survey, local highs and local lows, magnetic survey, regional highs and regional lows, total magnetic field

1. Introducción

Después de compilar y estudiar la información gravimétrica de las compañías extranjeras que habían operado en Cuba antes del 1959, Daniel Valencio, (Valencio *et al.*, 1960) había señalado al Mínimo Norte Cubano como un rasgo primario en el panorama general. Sus opiniones geológicas sobre las fuentes que generan esta anomalía gravitacional se referían a un “Tectógeno”, es decir, a una región caracterizada por una primera etapa durante la cual había sucedido una prolongada subsidencia, acompañada de la deposición de enormes espesores sedimentarios, seguida de una inversión de los movimientos verticales con actividad magmática, y del restablecimiento del equilibrio isostático al final de la orogenia. Las opiniones acerca del origen de esta gran anomalía han variado consecuentemente con la evolución de las ideas acerca del desarrollo geólogo-tectónico de nuestro planeta, aplicadas al Cinturón Plegado y Corrido Cubano; sin embargo, no puede negarse que, en el interior del mínimo regional, se encuentran, dentro de un corte geológico muy plegado y tectonizado, las rocas generadoras de petróleo, y los yacimientos de petróleo conocidos hasta el presente (Prol y Rifá, 2005). Es dentro de esta anomalía negativa, en localidades al norte de la provincia de Villa Clara, (Fig.1) (García *et al.*, 1998), donde se reportan los afloramientos lineales estrechos de los sedimentos del margen continental orientados en la dirección del rumbo cubano, depositados originariamente en un ambiente batial, cuyos mantos han sido cortados por la perforación en numerosas localidades de la costa norte de las provincias Habana y Matanzas.

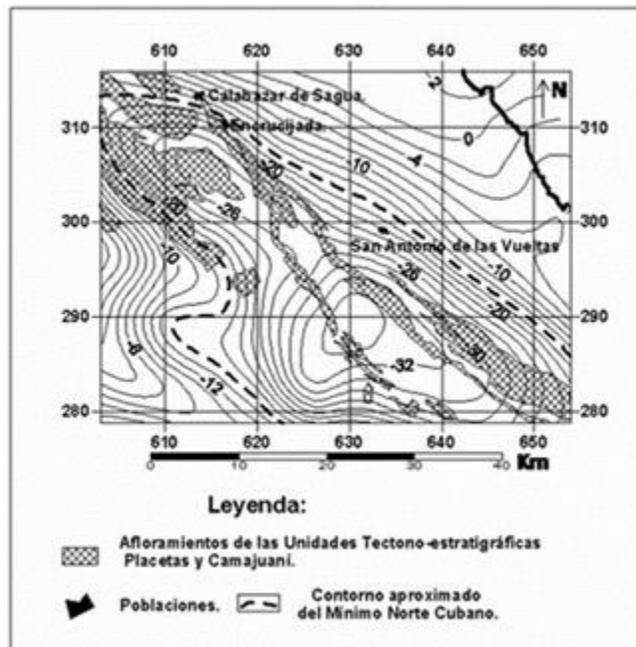


Fig.1. Mapa del campo gravitacional regional de Villa Clara con afloramientos

Así, en localidades como Cantel las secuencias de las Unidades Tectono-estratigráficas de Placetas y Camajuani, yacen bajo los sedimentos del Campaniano-Maestrichtiano y las serpentinitas (Sánchez-Arango y García, 1985). Lo que demuestra que, bajo el denominado Terreno Zaza, (en el cual se agrupan las variedades efusivas y efusivo-sedimentarias del Arco Volcánico Cretácico, así como las rocas de la corteza oceánica obducida), pueden encontrarse las rocas correspondientes a un ambiente de deposición profundo.

Este modelo puede extenderse con seguridad, al menos, hasta la denominada falla La Trocha ya que en la región de Jarahueca aún afloran pliegues estrechos de la Formación Carmita comprimidos entre los afloramientos de las ultrabasitas serpentinizadas. En el área que ocupa el gran mínimo regional, en la mitad oriental de Cuba, se reportan algunos afloramientos aislados de los sedimentos del margen continental correspondientes a facies profundas; tal es el caso de la Sierra de Camaján en la provincia de Camagüey

(Iturralde-Vinent y Roche, 1982) donde afloran las rocas de la Formación Veloz; sin embargo, no se han encontrado yacimientos de petróleo en el oriente cubano, a pesar de existir numerosas manifestaciones superficiales de hidrocarburos.

Un hallazgo geológico interesante fue reportado al norte de la provincia de Holguín donde fueron encontrados afloramientos que “tanto por su litología, estructura, coloración y asociación fosilífera presentan una gran semejanza con la Formación Mata, que aflora en Cuba Central” la que se incluye dentro de la UTE Camajuaní. El afloramiento mencionado se encuentra en contacto tectónico con la Formación Gibara; esta última se clasifica dentro de la UTE Remedios. Es conveniente añadir que la ubicación del hallazgo se encuentra dentro del intenso gradiente que limita al Mínimo Norte Cubano por el norte en ese sector; es decir en una estructura disyuntiva similar a la falla Las Villas.

Los criterios geológicos formulados hasta el presente por diferentes investigadores pueden variar en cuanto a la manera en que yacen las UTEs Placetas y Camajuaní bajo las serpentinitas, pero parece existir consenso en cuanto a que, estructuras potencialmente petrolíferas, pueden ser encontradas bajo el Terreno Zaza en esa región. (Iturralde-Vinent y Roche, 1982), considera que bloques de la UTE Placetas con diferentes dimensiones yacen dentro de un melange serpentínico; mientras que la UTE Camajuaní mantiene su unidad, yaciendo en forma alóctona, bajo las serpentinitas, y en contacto con las calizas de banco de la UTE Remedios. Otros investigadores consideran que Placetas y Camajuaní, se disponen en la forma de mantos tectónicos, separados por planos de despegue (Álvarez *et al.*, 2002). De cualquier manera, ambos puntos de vista otorgan a la región un interés petrolero.

2. Materiales y métodos

Materiales

La región en la que se concentra el interés de este artículo se inscribe dentro de un cuadrilátero irregular que cubre la porción noroccidental de la provincia de Camagüey (Fig.2) Esta región fue cubierta en la década de los sesenta del pasado siglo por levantamientos gravimétricos que corresponden a escalas de 1: 100 000, cuya precisión se estima en el orden de ± 0.4 mGal. La mitad norte del sector fue cubierto en la década de los setenta por levantamientos gravimétricos cuyos parámetros técnicos permitieron la confección de mapas a escala 1:50 000; con valores de Anomalía en Reducción Bouguer de ± 0.20 mGal. Se utilizó además el mapa de Anomalías Magnéticas ΔT de la República de Cuba a escala 1: 500 000, que fue confeccionado en el año 1962 a partir de levantamientos aéreos anteriores al año 1959 (Soloviev *et al.*, 1962). A juzgar por el intervalo entre isodínamas el error de los valores del campo magnético puede ser de 25 nT. Toda esta información fue almacenada en forma digital a fin de ser procesada y visualizada en computadoras.

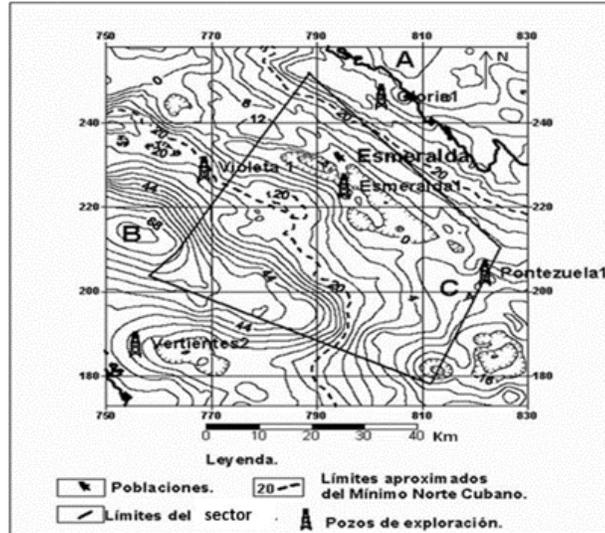


Fig.2. Mapa unificado de anomalías en reducción Bouguer del sector norte de la provincia de Camagüey

Métodos

El Mapa unificado de anomalías en reducción Bouguer del sector (Fig.2) muestra a primera vista tres zonas perfectamente identificables por el carácter cualitativo y por los valores de sus isonómalas respectivas: al norte, un máximo regional (A en Fig.2) que cubre la región de la Sierra de Cubitas, (y se extiende más al norte de la costa), donde afloran calizas densas depositadas en ambiente de aguas someras, las que se clasifican dentro de la denominada Unidad Tectono-estratigráfica de Remedios; y al sur, una agrupación de intensos máximos (B en Fig.2) dentro de cuyos contornos afloran las variedades ígneas del Arco Volcánico Cretácico. Entre ambas zonas se extiende el Mínimo Norte Cubano (C en Fig.2), cubriendo los extensos afloramientos de serpentinitas que contactan por el norte con las calizas densas de la Sierra de Cubitas, originariamente depositadas en un ambiente somero. Después de obtener la componente regional del campo gravitacional mediante la convolución con un filtro gaussiano pasa-baja, cuyo coeficiente de atenuación fue igual a 26, se puede apreciar con mayor nitidez la coincidencia expresada anteriormente (Fig.3).

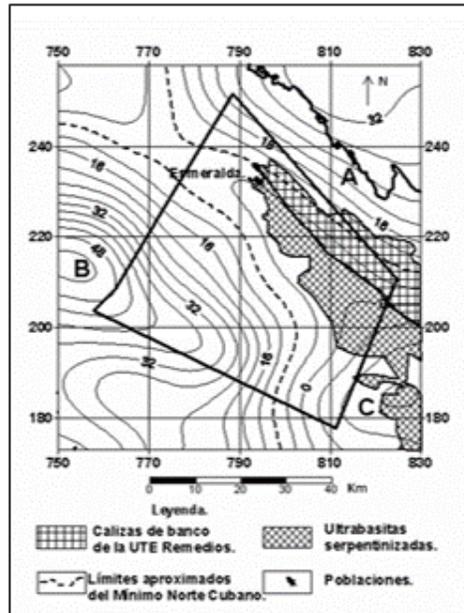


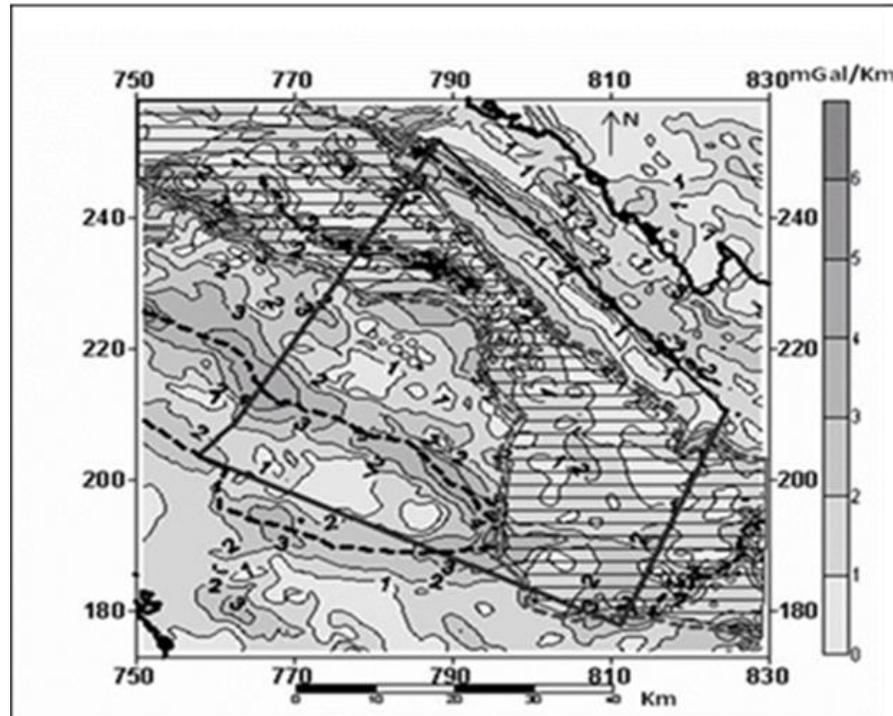
Fig.3. Mapa del campo gravitacional regional con afloramientos, del norte de la provincia de Camagüey

Los argumentos anteriores demuestran que se puede hacer una delimitación de sectores diferentes por su naturaleza geológica partiendo de la interpretación cualitativa de los datos gravimétricos. Con ese fin se confeccionó el mapa de los gradientes horizontales. Las demarcaciones entre las tres zonas cualitativamente identificadas en el mapa de anomalías en reducción Bouguer fueron seguidas a lo largo de los ejes de los máximos de gradiente horizontal (Fig.4).

En esas condiciones quedaba planteado el problema de definir dentro de la zona C, qué tipo de anomalías locales serían interesantes para la exploración. De esa manera los autores de este artículo se dieron a la tarea de estudiar un sector ubicado dentro del Mínimo Norte Cubano, donde se conociera por datos de perforación la elevación de las calizas de la UTE Placetas bajo las serpentinitas; y que contara con datos suficientes capaces de ofrecer un cuadro detallado sobre el comportamiento de los campos potenciales que originan este tipo de estructuras.

Aproximadamente a 8 km al sur de Varadero, provincia de Matanzas, se encuentra el yacimiento Cantel, descubierto en la década de los años 70, y prácticamente agotado en la actualidad. Numerosos pozos de producción en el yacimiento confirmaron la presencia de sedimentos del margen continental bajo

las serpentinitas y los sedimentos maestrichtianos. En el pozo Cantel 1, se cortaron los sedimentos del Albiano-Cenomaniano a la profundidad de 1670 m (Linares *et al*, 2011); en tanto que, en superficie, se reportan sedimentos neogénicos. En el año 1988 fue concluido un levantamiento gravimétrico de alta precisión ($\pm 0.08\text{mGal}$) sobre el área del yacimiento y sus alrededores (Prol *et al*, 1990) cuyos requerimientos permitieron la confección de un mapa de anomalías en reducción Bouguer a escala 1:25000.



- Leyenda
- Límites del Mínimo Norte Cubano
 - Ejes de máximo gradiente
 - Límites del sector

Fig.4. Mapa de los gradientes horizontales del campo gravitacional, del norte de la provincia de Camagüey

En el mencionado documento se demostró la coincidencia de un máximo local débil (Fig.5) con la elevación de las calizas, que habían sido cortadas en los pozos de producción del yacimiento Cantel. La anomalía local positiva queda inscrita dentro de un mínimo de mayor envergadura cuya extensión abarca la Bahía de Cárdenas y los sectores terrestres aledaños. Tanto la anomalía local como la regional están dentro de la zona de influencia del Gran Mínimo Norte Cubano.

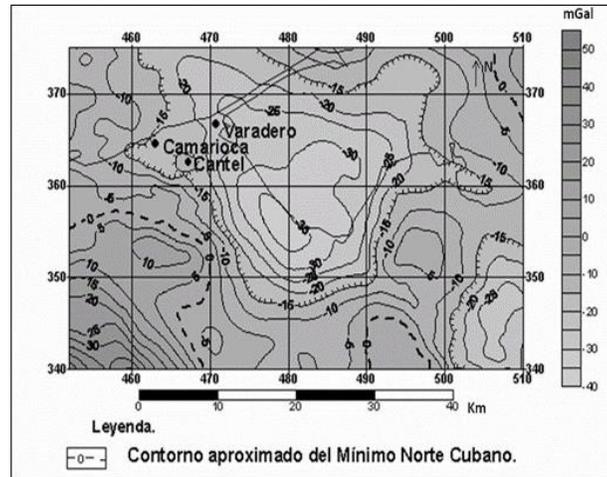


Fig.5. Mapa de las anomalías en reducción Bouguer simplificado del sector Varadero-Majaguillar

El mapa del campo magnético total anómalo a escala 1:50 000 (Mondelo *et al.*, 2011), mostraba una zona de transición (T en Fig.6) entre un campo ruidoso al sur (R en Fig.6), y un campo de gradientes horizontales poco intensos hacia la región de Varadero (S en Fig.6). La ubicación del yacimiento Cantel dentro del Mínimo Gravitacional Norte Cubano, en un campo magnético poco perturbado, y coincidente con un máximo gravitacional local débil, constituye un elemento de juicio para la selección de anomalías de interés en otros lugares cuyo entorno geológico y geofísico fuere similar.

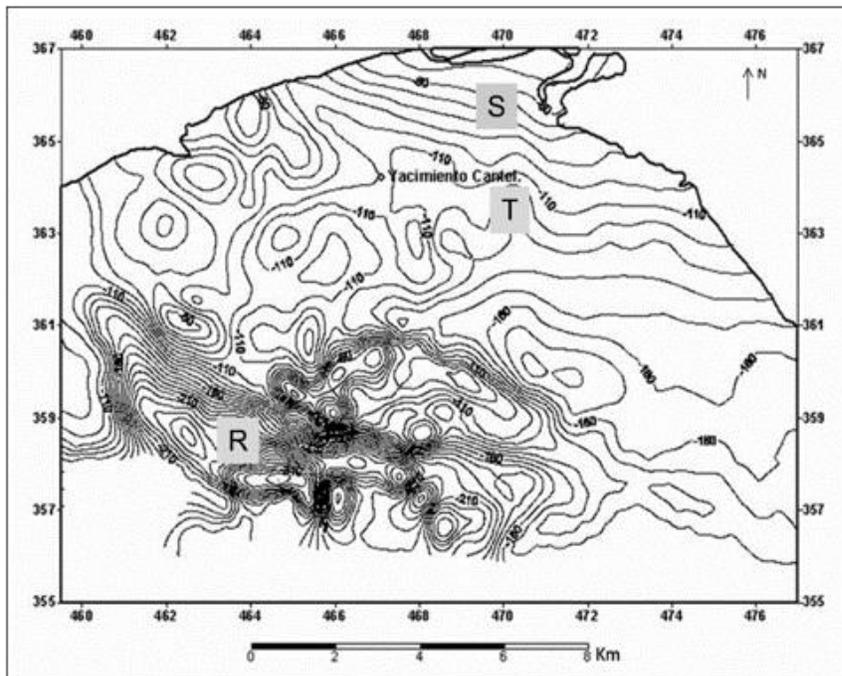


Fig.6. Mapa del campo magnético total anómalo del sector Varadero-Cantel-Camarioca (isolíneas en nT)

La denominada estructura América, próxima a la población de Güines en la provincia Mayabeque, se localizó después de orientar las líneas sísmicas de manera que cruzaran a un sistema de anomalías gravitatorias locales débiles en el sector dentro de un mínimo regional (Prol y Rifa, 2005) (Fig.7).

Siguiendo esa línea de razonamiento, los datos gravimétricos, fueron procesados para delimitar las anomalías locales de baja intensidad dentro del Mínimo Norte Cubano.

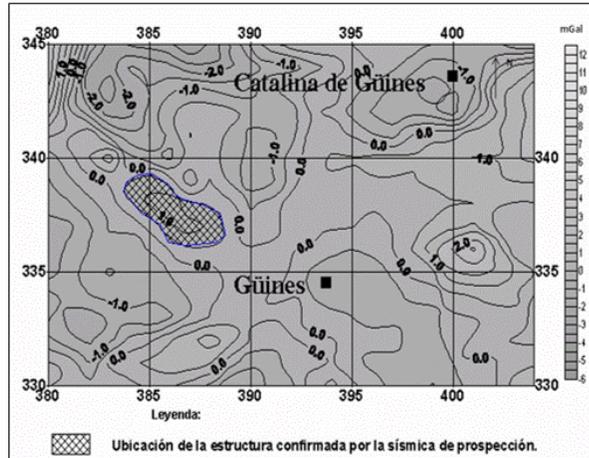


Fig.7. Mapa de las anomalías locales del sector Güines-Catalina (provincia Mayabeque)

Basados en la experiencia del sector Güines- Catalina fueron aplicados al mapa de anomalía de Bouguer los filtros Gaussianos con coeficientes de atenuación k_8 y k_{16} respectivamente. Se efectuó la resta de las dos matrices lo que equivale a un filtrado pasabanda. En el mapa residual (Fig.8) se observan anomalías locales débiles dentro del mínimo norte cubano que pudiera estar asociadas a elevaciones de la UTEs Placetas y Camajuaní bajo el Terreno Zaza.

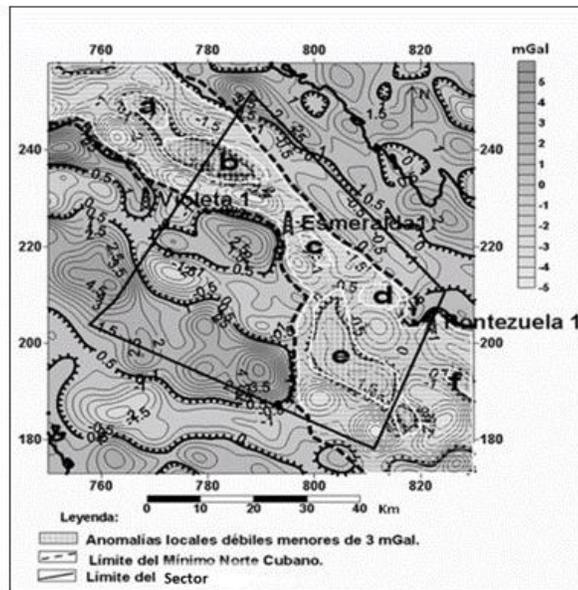


Fig.8. Mapa de las anomalías locales (obtenido con la resta de dos filtros gaussianos $k=8$ y $k=16$ respectivamente)

3. Discusión de los resultados

En el mapa del campo magnético ΔT anómalo se destaca un máximo intenso al sur del área (B en Fig.9), extendido con dirección este-oeste, e inmediatamente al norte, un mínimo paralelo a este último (B' en Fig.9). Si se asume un valor de la magnetización remanente mucho más pequeño que el correspondiente a la magnetización del campo inductor actual, o si ambas coinciden en dirección, se puede comparar ese patrón anómalo, con aquél que genera un cuerpo magnético ubicado en un campo cuya inclinación es 54° . Es ésta aproximadamente la inclinación del campo normal en el territorio estudiado (Kolesova y Álvarez, 1989). Con el fin de obtener un modelo teórico cuyo efecto magnético se ajustará al campo magnético observado, se utilizó la fórmula de un prisma rectangular de base cuadrada magnetizado en el campo terrestre (Telford *et al*, 1976) a lo largo del perfil I-I' (Fig.9).

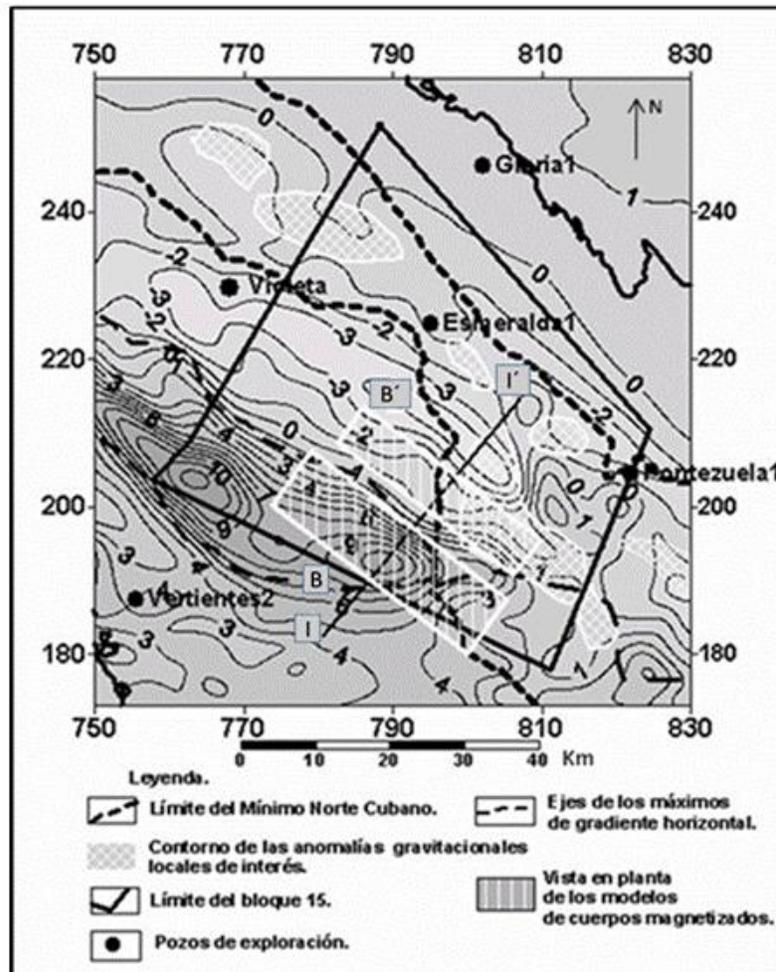


Fig.9. Mapa del campo magnético regional del norte de Camagüey (isolíneas en nT)

Como puede apreciarse, los parámetros escogidos (Tabla I) son los de un cuerpo capaz de generar un campo anómalo similar al observado (Fig.10); en consecuencia, antes de proceder a la interpretación geológica de estos resultados, se puede asegurar que en este lugar existe un gran espesor de rocas magnéticas. Sin embargo, la curva no puede ser ajustada en su sector del norte, debido a la existencia de un máximo magnético de menor intensidad que perturba el mínimo en ese lugar (ver B' en Fig.10). Aquí también existe un espesor significativo de rocas magnéticas, que fue estimado, después de estudiar en más

detalle el sector norte del perfil (ver I'-I en Fig.9), esta es la razón de que fuera necesaria la interpretación de una curva diferencia entre el campo calculado del primer modelo con la curva observada de manera de establecer un ajuste definitivo con dos prismas.

Tabla I. Parámetros del modelo cuyo campo magnético se aproxima al par anómalo observado B-B'

Parámetros	Valores
Semilongitud por el rumbo (km)	15.000
Espesor horizontal (km)	12.880
Susceptibilidad magnética(SI)	544.63×10^{-6}
Inclinación del campo inductor (°)	53.25
Azimut topográfico (°)	30.00
Espesor vertical (km)	8.24
Campo normal inductor(nT)	44750
Profundidad del tope del cuerpo magnético (km)	1.6004

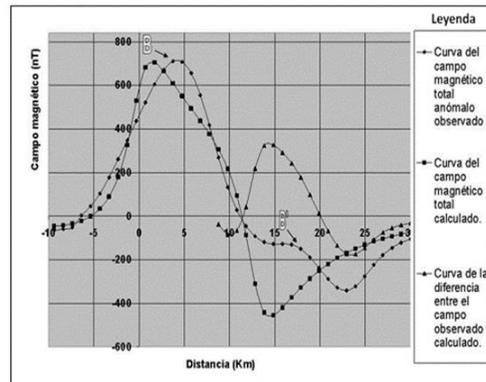


Fig.10. Ajuste de la curva del campo magnético teórico al campo observado para un prisma magnetizado

Al norte de la zona mencionada, en el sector B', existen fuentes magnéticas que perturban la forma de las isodínamas en el mapa (Figs.11 y 12). Con el fin de lograr el ajuste definitivo de la curva se determinó en su sector norte, donde existía la mayor discrepancia, la diferencia entre la curva observada y la curva calculada según el modelo anterior. La curva diferencia fue ajustada a un modelo formado por un prisma rectangular cuyos parámetros se expresan en la tabla II. Los valores determinados para el modelo (Tabla

II), después de la interpretación cuantitativa del campo magnético (Fig.11), permiten considerar la existencia de cuerpos cuyas bases se ubican a profundidades de 8304 m. En cuanto a la susceptibilidad magnética, se puede señalar que las serpentinitas varían en el rango de $19,89 \cdot 10^{-6}$ SI a $111,41 \cdot 10^{-6}$ SI; por su parte, para las serpentinitas de Camagüey se determinó un rango más amplio entre $2,39 \cdot 10^{-6}$ SI y $469,50 \cdot 10^{-6}$ SI (Chaposnikova, 1969).

Tabla II. Parámetros del modelo cuyo campo magnético se aproxima a la diferencia entre el campo observado y el campo calculado para el modelo de la tabla I

Parámetros	Valores
Semilongitud por el rumbo (km)	15.000
Espesor horizontal (km)	6.800
Susceptibilidad magnética(SI)	$259,74 \times 10^{-6}$
Inclinación del campo inductor (°)	53.25
Azimut topográfico (°)	30.00
Espesor vertical (km)	6.840
Campo normal inductor(nT)	44750
Profundidad del tope del cuerpo magnético (km)	1.464

Nótese que dicho valor se inscribe dentro del rango de las serpentinitas. Todos los razonamientos anteriores conducen a considerar que en la zona B' (Fig.12) existen enormes cuerpos del Terreno Zaza en posición casi vertical. Los resultados del pozo Violeta, apoyan esta última idea. Ubicado en un máximo gravitacional local intenso (Figs.8 y 12), penetró, después de atravesar sedimentos sinorogénicos, en basaltos del Arco Volcánico del Cretácico, y se mantuvo cortando rocas ígneas sin salir de ellas hasta el fondo del pozo a los 2500 m.

Las consideraciones anteriores, y el hecho de existir anomalías magnéticas coincidentes con afloramientos de serpentinitas, inclinan a pensar que existen dos componentes en la susceptibilidad de ese tipo de cuerpo geológico, la primera referida a un valor medio representativo del cuerpo en su conjunto; y la segunda con un marcado carácter aleatorio. La altura de vuelo del levantamiento magnetométrico contribuye en cierta medida a atenuar las amplitudes correspondientes a las altas frecuencias; y el filtrado digital de los datos las reduce al mínimo; así, al haber sido tomados los datos del mapa regional (Fig.9), la susceptibilidad determinada para el modelo en B' constituye un valor medio (Tabla II) (Fig.11).

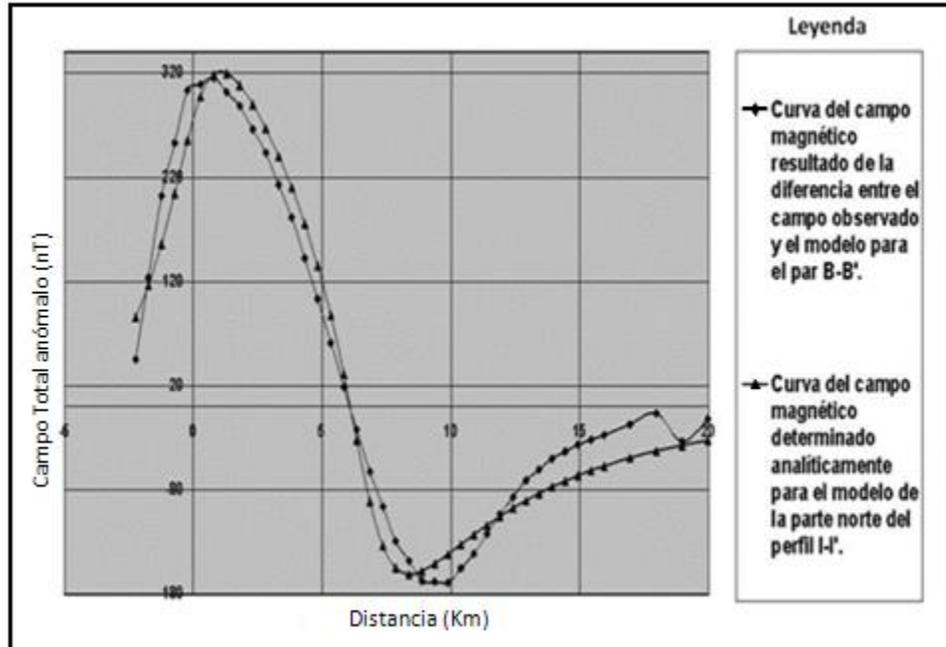


Fig.11. Comparación de la curva del campo magnético total determinada para el modelo, con la curva resultante de restar el campo calculado para el modelo B-B' y su correspondiente anomalía observada

Así, en la región norte, donde el campo magnético asume un comportamiento monótono, caracterizado por bajas frecuencias (Fig.9), y existe además un máximo gravitacional regional (A en Fig.3), el corte geológico se caracteriza por un espesor considerable de sedimentos muy densos originariamente depositados en un ambiente somero. Una muestra de anhidrita, extraída del pozo Cayo Coco 2, perforado en el islote homónimo, al norte de la provincia de Ciego de Ávila, arrojó una densidad de 2900 kg/m^3 ; y en general, a partir de 1220 m hasta el fondo del pozo (4159 m), todas las determinaciones de densidad en calizas y dolomitas, superaron los 2700 kg/m^3 (Chaposnikova, 1969). En el pozo Gloria 1, ubicado en este sector (Fig.12) se cortaron calizas densas del Cretácico Inferior a la profundidad de 983 m. (Arriaza, 1998), según datos del método de Correlación de las Ondas Refractadas, determinó para las rocas de la plataforma carbonatada en Cuba velocidades de frontera que oscilan entre 5.8 y 7.1 km/s, lo que atestigua la elevada densidad del corte geológico, téngase en cuenta que según la regla empírica de Gardner (Logachev, y. Zajarov, 1978) a una velocidad de 5.890 km/s le corresponde una densidad de 2700 kg/m^3 . El hecho de coincidir el eje de gradientes horizontales máximos del campo gravitacional (Fig.4) con la denominada falla Cubitas, entre las calizas de agua somera y las serpentinitas (Fig.3), expresa la presencia de un contacto extremadamente abrupto en ese lugar.

Como ha sido expresado anteriormente los grandes máximos del campo total anómalo (Fig.9) están generados por espesores de rocas ígneas que poseen una alta susceptibilidad magnética, y cuya base se encuentra a una profundidad mayor de 9840 m (Tabla I). De acuerdo con esta interpretación el corte geológico en el sector B (Fig.12), pudiera estar conformado por basaltos, diabasas, andesitas y otras rocas ígneas efusivas, para las cuales tanto la susceptibilidad magnética como la densidad adoptan valores elevados. Se han reportado valores medios de susceptibilidad en los basaltos de $477.46 \cdot 10^{-6} \text{ SI}$ (Telford *et al*, 1976). Si todo lo expresado es correcto, la susceptibilidad magnética estimada, según la modelación (Tabla I), para el cuerpo causante de la anomalía B, (Fig.10) es consistente con los datos de propiedades físicas. Este complejo, también generador de intensos máximos gravitacionales regionales, se caracteriza por una alta densidad media. Se ha determinado para rocas efusivas correspondientes al yacimiento Cristales (Sancti Spíritus-Ciego de Ávila), una densidad igual a 2700 Kg/m^3 (Sorá *et al*, 2003).

La zona C (Fig.12), comprende la anomalía gravitacional conocida como Mínimo Norte Cubano cuyas fuentes principales están en los colosales apilamientos de pliegues, que se clasifican dentro de facies de talud de un margen continental; y que yacen bajo las serpentinitas colocadas sobre aquellas en virtud de intensos movimientos tectónicos.

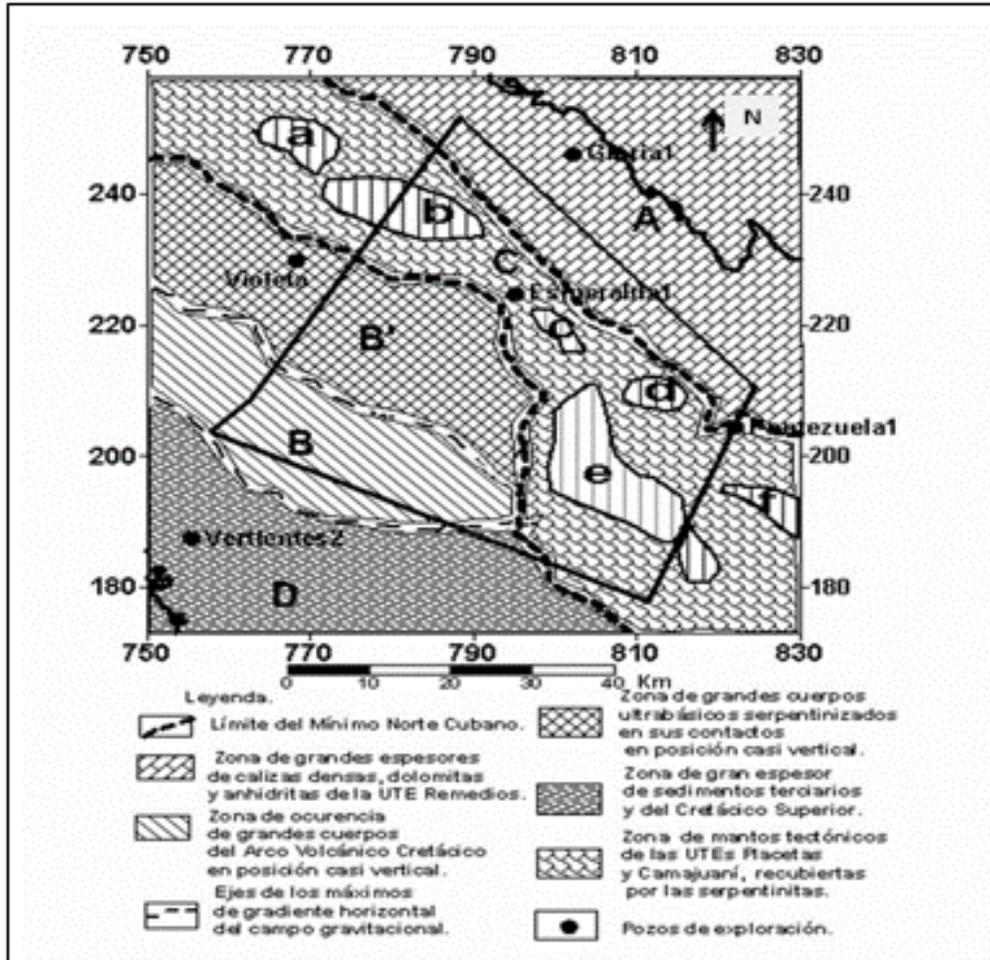


Fig.12. Mapa de regionalización de los campos potenciales del norte de Camagüey

Sin embargo, en esta zona, entre una escama y otra, pueden existir sedimentos (depositados durante la orogenia campaniano- eocénica), ricos en fragmentos de rocas ígneas diversas que, en conjunto, contribuyen a aumentar la susceptibilidad magnética del corte geológico en una localidad. Comoquiera que la intensa compresión debe haber provocado la “verticalización” de los pliegues, los sedimentos depositados durante la orogenia al quedar atrapados entre las escamas tectónicas, conforman hoy cuerpos que pueden ser interpretados como prismas rectangulares en posición vertical. El campo magnético en este sector presenta anomalías locales que apoyan esta idea (Fig.9). Precisamente el pozo Esmeralda dentro de un mínimo local gravitacional, y dentro de un máximo magnético débil (Fig.8), reportó un corte eminentemente serpentinitico muy fracturado hasta la profundidad de 2516 m. Es lógico suponer que las UTE Placetas y Camajuaní, cuya densidad media se encuentra alrededor de 2650 kg/m^3 (Sorá *et al*, 2003) generen máximos gravitacionales locales débiles cuando conforman elevaciones bajo las serpentinitas, éstas últimas con una densidad media igual a 2450 kg/m^3 (Chaposnikova, 1969), tal como sucede en la zona del yacimiento Cantel al norte de la provincia de Matanzas.

Los elementos anteriores conducen a considerar los máximos gravitacionales a, b, c, d, e y f como muy interesantes para la exploración (Figs. 8 y 12). El reprocesamiento y la reinterpretación de la información sísmica correspondiente a levantamientos sísmicos ejecutados entre los años 1994 y 2003, corroboró la existencia de estructuras en los mencionados máximos locales, que, de acuerdo con la interpretación mostrada son, con mucha probabilidad, elevaciones de los sedimentos de margen continental, que yacen bajo las serpentinitas y de los sedimentos depositados durante la orogenia (Domínguez *et al*, 2006); en tal caso constituyen objetivos extremadamente interesantes para la programación de investigaciones sísmicas de detalle; a fin de que pasen a la categoría de prospectos para la perforación.

Por último, el corte geológico de la zona D (Fig.12) se caracteriza por sedimentos del Terciario y del Cretácico Superior que descansan sobre el Arco Volcánico. El pozo Vertientes perforado dentro de un mínimo gravitacional regional (Fig. 2), cortó sedimentos del Terciario y del Campaniano hasta la profundidad de 786 m, sin encontrar el Arco Volcánico que aflora unos 25 Km al norte y el oeste. Un levantamiento sísmico posterior demostró la existencia de un relleno sedimentario que supera los 4000 m (Álvarez *et al*, 2001), que presumiblemente yace sobre el Arco Volcánico.

Conclusiones

El estudio de la información geofísica y geológica disponible, y la aplicación de un procedimiento encaminado a destacar las zonas más perspectivas en el sector de estudio, para la exploración futura, ofrecen elementos de juicio favorables sobre la existencia de sedimentos posiblemente petrolíferos bajo las serpentinitas y las rocas efusivas y efusivo-sedimentarias del Arco Volcánico.

La secuencia utilizada para la interpretación cualitativa y cuantitativa de las anomalías gravitacionales y magnéticas, siguiendo las analogías con el campo gravitacional y magnético sobre estructuras donde se han explotado las reservas, fue eficiente en la localización de zonas favorables para la programación de levantamientos sísmicos detallados, los que completarían el estudio, a fin de pasar a la perforación exploratoria.

La aplicación combinada de los métodos geofísicos, para el estudio de la constitución geológica del sector dentro de los límites del área estudiada, determinó anomalías débiles dentro del Mínimo Norte Cubano que son similares por su intensidad, y por el entorno regional donde ocurren a aquella que genera la estructura de Cantel, donde la perforación ha comprobado la elevación de las calizas de la UTE Placetas bajo serpentinitas y sedimentos del Cretácico Superior. Esta investigación ha contribuido a incrementar las perspectivas petroleras en el área; en la misma medida en que permite una programación de la prospección sísmica de detalle más racional sobre sectores mejor acotados donde el interés de la búsqueda se incrementa considerablemente.

Referencias bibliográficas

- Álvarez J., R. Otero, J. O. López, M. Rodríguez, R. Domínguez, J. Prol, R. Socorro, S. López, 2001. Evaluación de objetivos y prospectos de los Bloques 20, 22, 23 (sur), V, VA, VI, VIA, VI y VII A. CEINPET. Cuba (Informe interno) 274p.
- , R. Otero, J. O. López, M. Rodríguez, R. Domínguez, J. G. Prol, R. Socorro, et al, 2002. Evaluación de objetivos y prospectos de los bloques 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 21. CEINPET, Cuba (Informe interno) 160p.
- Arriaza, G. 1998. *Nuevos enfoques en la interpretación y procesamiento de las ondas refractadas para el estudio del Basamento en Cuba*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Tesis doctoral), 99p.
- Chapostnikova, C., 1969. *Propiedades Físicas de las rocas de Cuba*. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Publicación especial: N^o 7. 57-80p.
- Domínguez A, N. García, C. Veiga, J. Prol, M. Rifá, B. González, 2006. Proyecto 2810. Interpretación de datos geólogo- geofísicos del bloque 15 (Sísmica terrestre 2D).CEINPET, Cuba (Informe interno) 22p.

- García, D., C. Pérez, R. Delgado, C. Díaz, G. Millán, G. Furrázola, L. Díaz, I. García, K. Sukar, I. Delgado, L. Bernal, M. Pardo, Y. Rojas, V. Suarez, E. Duani, 1998. *Mapa Geológico de Cuba Central* a escala 1: 100 000 (provincias Villa Clara y Sancti Spíritus. Instituto de Geología y Paleontología, La Habana, Cuba.
- Iturralde- Vinent, M., F. D. Roque, 1982. La falla Cubitas su edad y desplazamientos, *Ciencias de la Tierra y el Espacio No.4*, Cuba: 57-69p.
- Kolesova, V. I., R. Álvarez, 1989. *Nuevo Atlas Nacional de Cuba. II* Características geofísicas, Mapa No. 14. Campo Normal I. 1: 4 000 000. Instituto de Geografía. Ed. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba.
- Linares, E., D. García, O. Delgado, et al, 2011. *Yacimientos y manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba*. Editorial Palcogra. La Habana. ISBN 978 959 7117 33 9, 480 p.
- Logachev, A. A., V. P. Zajarov, 1978. *Exploración Magnética*. Editorial Reverté S.A. Barcelona, 346 p.
- Mondelo F., R. Sánchez, et al. 2011. Informe: Mapas Geofísicos regionales de gravimetría, magnetometría, intensidad y espectrometría gamma de la República de Cuba, 1: 2 000 000 hasta 1: 50000. Instituto de geología y paleontología. La Habana. 290p
- Prol J., M. Rodríguez, E. Ardavin, J. Herrera. 1990. Sobre los trabajos Gravimétricos y Magnetométricos de alta precisión en escala 1:25 000 en la región Camarioca – Cantel-Varadero del proyecto 1053. Empresa Nacional de Geofísica, La Habana (Informe interno) 123 p
- &Rifa, M. 2005. Papel de los métodos gravimétrico y magnetométrico en el contexto de la exploración geofísica para petróleo dentro del Cinturón Plegado Cubano. Cuba. En: *I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra* [Memorias], La Habana, 5-8 abril, 12pp, GEF2-P14. ISBN 959-7117-03-7.
- Sánchez-Arango, J., R. García, 1985. Generalización estratigráfica de Cuba occidental. CIDP. La Habana (Informe interno) 123p.
- Soloviev. O. N., I. K. Skidan, A.P Pankratov, 1962. *Mapa Magnetométrico de la República de Cuba a escala 1: 500 000*. Instituto Cubano de Recursos Minerales. La Habana, Cuba.
- Sorá A., G. Miró, R. Ojeda, P. Aballí, J. Prol, M. Rifá, 2003. Proyecto 2511. Incremento de efectividad del método sísmico en el Cinturón Plegado Cubano. I Etapa. Archivo del CEINPET (Informe interno) 73 p.
- Telford, W. M., L. P. Geldart, R. E. Sheriff, D.A. Keys, 1976. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press. London. 860p.
- Valencio, D.A., H. Gatti, R. Mera, H. Bustos, 1960. “Sobre el Esquema estructural de la Isla de Cuba”. Archivo del CEINPET. Cuba (Informe interno) 215p.

Acerca de los autores:

José Gemen Luis Prol-Betancourt: Ingeniero Geofísico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar (ISPJAE), Profesor Principal (CPP), investiga acerca de la calidad de los levantamientos gravimétricos y magnetométricos en bloques de la Zona Económica Exclusiva de Cuba en el Golfo de México (ZEE), analiza el procesamiento matemático de los datos procedentes de los levantamientos e introduce nuevas transformaciones en bloques terrestres, de aguas someras, o de la ZEE. Asesora la interpretación geológica de la información de los campos potenciales. Realiza la interpretación combinada de los datos geofísicos y geológicos. Investigador auxiliar, Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana, Cuba.

María Caridad Rifá-Hernández: Ingeniera Geofísica, Máster en geofísica aplicada (Mención petróleo y gas), Instructora, trabaja en el Control de la calidad de levantamientos gravimétricos y magnetométricos en bloques de la Zona Económica Exclusiva de Cuba en el Golfo de México (ZEE), realiza el procesamiento matemático de los datos procedentes de los levantamientos tanto en los bloques terrestres, de aguas someras, como de la ZEE y participa en la interpretación geológica de la información antes mencionada ; así como su integración con otros métodos geofísicos. Especialista I en Investigación, Innovación y Desarrollo Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana, Cuba.

Guillermo Miró-Pagés: Ingeniero Geofísico, Doctor en Ciencias Geológicas, Profesor Titular, Consultante, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae. Miembro de la Sociedad de Geociencias de la UNAIACC, de la Sociedad Cubana de Geología y de la Sociedad de Geofísicos del Brasil. Premio Nacional de Ingeniería de la UNAIACC 2002. Medalla Carlos J Finlay