



PROCESAMIENTO E INTERPRETACION DE DATOS SISMICOS PARA ANTEPROYECTO DE DISEÑO DE LA AMPLIACION DE MARINA PERIQUILLO, CAYO LAS BRUJAS, VILLA CLARA

Alfonso Santiesteban, Idoris; Godínez Barrera, Gustavo; Perdomo Castillo, Jorge Luis; Álvarez Ortiz, Moraima

GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa. Catalina, s/n, Regla, La Habana, Cuba. E-mail: idoris@emarinos.geocuba.cu

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar los resultados y potencialidades de los estudios geólogo-geofísicos marinos, en especial del método sísmico de reflexión de alta resolución, como parte de las investigaciones realizadas para dar respuesta al anteproyecto de diseño de la ampliación de Marina Periquillo, ubicado en Cayo Las Brujas, Villa Clara, ante la necesidad de mejorar las capacidades y los servicios de la marina turística.

Con la finalidad de delimitar los límites de contacto entre rocas y sedimentos tan indispensables en un proyecto de dragado, se empleó el sistema de perfilaje sísmico CODA DA 2000 de la firma APPLIED ACOUSTICS para la ejecución del método sísmico de reflexión de alta resolución. La utilización de softwares especializados para el procesamiento de los datos sísmicos permitió no solo visualizar las líneas de sondeo sino también incorporar otras informaciones geólogo-geofísicas, imágenes de satélites, información de calas de contacto, datos de penetrometría dinámica, batimetría, etc. que permitieron correlacionar la información para la interpretación y obtención de los resultados.

Como resultados se presentan los diferentes materiales gráficos obtenidos (planos de Isopacas, Isohipsas, perfiles representativos del corte geológico), además de otros que forman parte de los resultados del complejo de métodos empleado. Se obtuvo una breve caracterización de los sedimentos que componen el fondo marino tanto en la dársena como en la zona de acceso a la misma, así como posibles riesgos (afloramientos rocosos) que deben ser considerados en el proyecto de dragado. De manera concluyente se demuestra las potencialidades del método sísmico y del complejo de métodos empleado como parte de los estudios indispensables para la fase de investigación de anteproyecto de diseño de ampliación de la marina.

ABSTRACT

This paper aims to show the results and potential of marine geological and geophysical studies, especially the high resolution seismic reflection method, as part of investigations conducted in response to the preliminary design of the expansion of Marina Periquillo, located in Las Brujas cay, Villa Clara, given the need to improve the capabilities and services of the tourist marlin.

In order to delineate the limits contact between sediments and rocks indispensable to a dredging project, seismic profiling system CODA DA 2000 from APPLIED ACOUSTICS was used to carry the High Resolution seismic reflection method. Using specialized software for processing seismic data allowed not only display sounding lines but also incorporate other geologist geophysical information, satellite images, information of contact coves, dynamic penetrometer, bathymetry, etc. that allowed to correlate information for obtaining and interpretation of the results.

As result different graphic materials are presented (isopach, height contours, representative profiles of geological section), and others results which are part of the complex method employed. A brief characterization of the sea bottom sediments in the areas of access channel and turning basin as well as possible risks (rocky outcrops) that must be considered in the dredging project was obtained. Conclusively the potential of the seismic method and complex method used as part of the necessary studies for the investigation of preliminary design of the marina expansion is demonstrated.



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar los resultados y potencialidades de los estudios geólogo-geofísicos marinos, en especial del método sísmico de reflexión de alta resolución, como parte de las investigaciones realizadas para dar respuesta al anteproyecto de diseño de la ampliación de Marina Periquillo, ubicado en Cayo Las Brujas, Villa Clara, ante la necesidad de mejorar las capacidades y los servicios de la marina turística.

La zona de trabajo se encuentra ubicada en la cayería norte de Villa Clara específicamente entre cayo Francés y cayo Las Brujas. Ver figura No.1

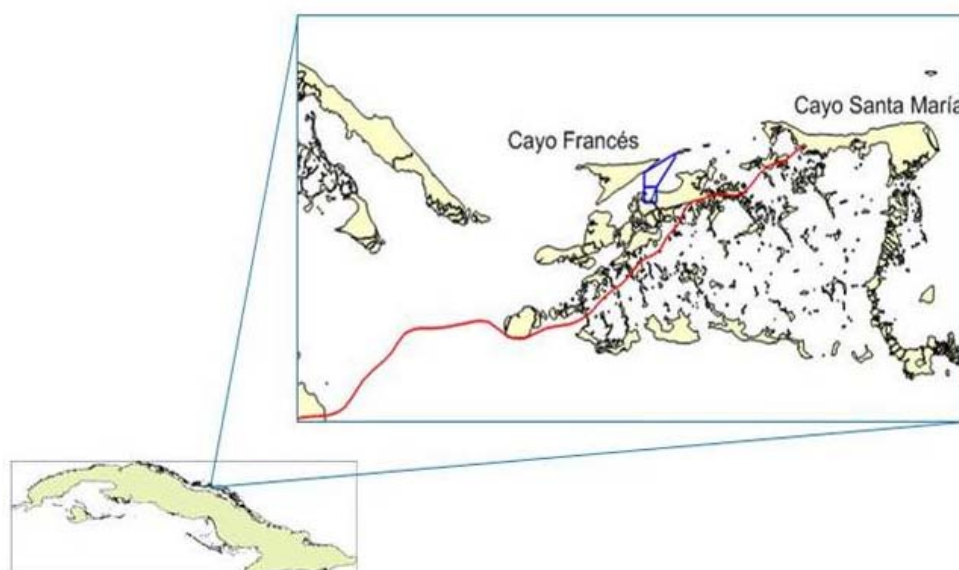


Figura 1 Ubicación de la zona de los trabajos.

El alcance de este trabajo está determinado por las características del método de sísmica de reflexión al estudiar el corte litológico, dirigido a delimitar la frontera entre los sedimentos sueltos y los consolidados, los límites de contacto entre rocas y sedimentos y de acuerdo a las condiciones acústicas de los diferentes horizontes sedimentarios y/o estructuras tectónicas, desmembrar el corte en sus diferentes elementos y fronteras reflectoras. La utilización de software especializados para el procesamiento de los datos sísmicos permitió no solo visualizar las líneas de sondeo sino también incorporar otras informaciones geólogo- geofísicas, imágenes de satélites, información de calas de contacto, datos de penetrometría dinámica, batimetría, etc. que permitieron correlacionar la información para la interpretación y obtención de los resultados.

Los resultados alcanzados permitieron caracterizar el fondo y subfondo marino en la zona de los trabajos con vistas a la proyección de los trabajos de ingeniería geológica para las futuras labores de dragado en la ampliación de Marina Periquillo.

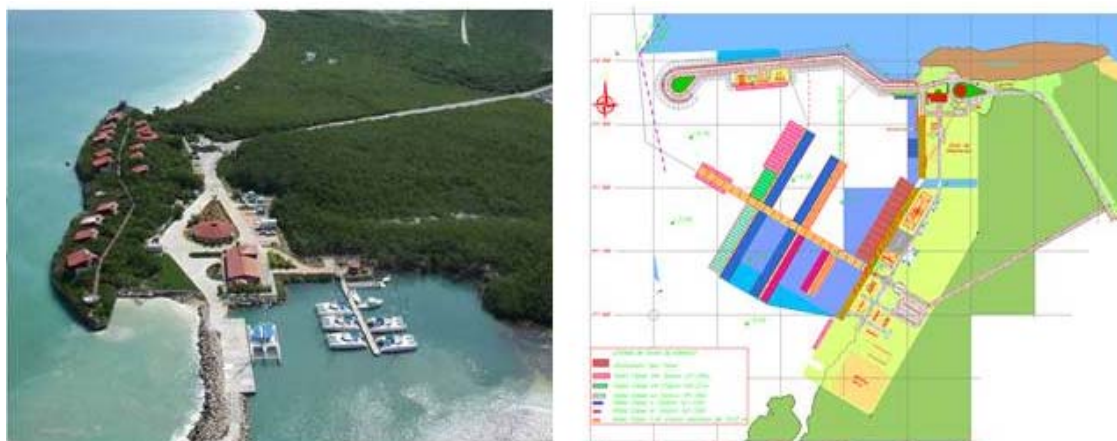


Figura 2 Vistas de Marina Periquillo. A la izquierda una vista aérea y a la derecha diseño en planta de la marina.

MATERIALES Y MÉTODOS

La ejecución de los trabajos de investigación estuvo a cargo de especialistas de las Agencias de Geología y Geofísica, Hidrografía y de Ayuda a la Navegación de GEM. Para dar solución a los problemas planteados en la tarea técnica recibida, se elaboró un programa de investigaciones integrado por: Consulta de información sobre investigaciones precedentes, Sondeo batimétrico (SB), levantamiento con sonar de barrido lateral (SBL), levantamiento con sísmica de reflexión (SR), sistema de posicionamiento por satélite, variante (GPS), Penetración dinámica (PD), Calas de contacto manual (CC) y muestreo manual superficial de sedimentos no consolidados (MM).

La distribución de las líneas de sondeo sísmico y sonar de barrido lateral y el resto de las informaciones puntuales se muestran en la figura 3.

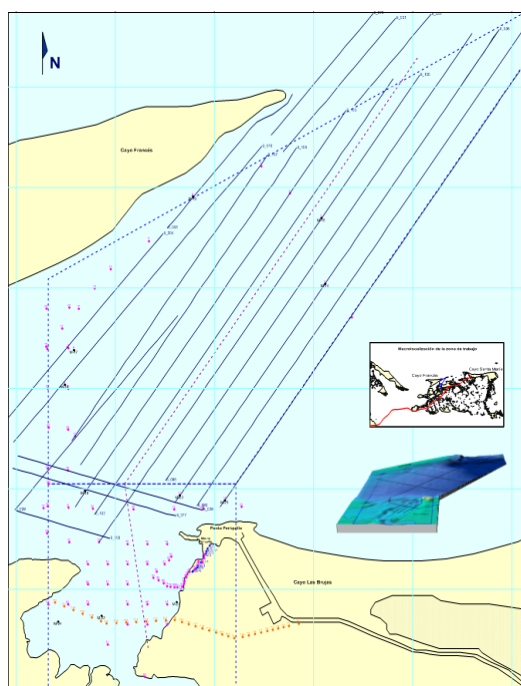




Figura 3 Ubicación de los datos reales.

El Perfilaje Sismoacústico de Reflexión de Alta Resolución, es una de las técnicas bien establecidas y frecuentemente utilizadas en las investigaciones marítimas, en ocasiones considerada imprescindible en este campo, ya que es una de las técnicas geofísicas marinas que aporta un cuadro más detallado de la estructura geológica del subsuelo marino.

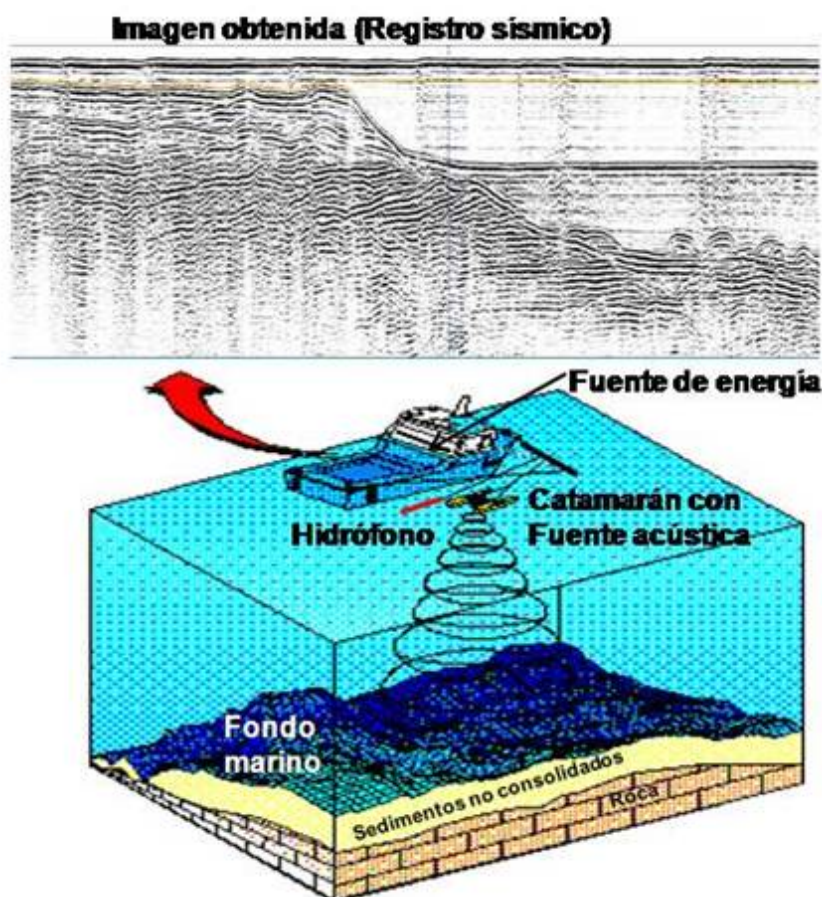


Figura 4 Esquema teórico y resultados típicos de la sismica de reflexión en un perfil de sedimentos.

El equipo empleado es el Sistema CODA DA 2000 de la firma APPLIED ACOUSTICS constituido por 4 módulos fundamentales, trabaja con un rango de frecuencias desde 400 Hz a 2400 kHz, Potencia de 300 joules y sistema de adquisición y procesamiento digital.

Para el procesamiento de los datos sísmicos fue empleado el sistema **Survey Engine Seismic+**, el cual es el último sistema de interpretación geofísica desarrollado por CodaOctopus Products que permite visualizar, procesar, interpretar y reportar los datos sísmicos de forma eficiente, además visualiza las líneas de cruces y al usar el link similar a un SIG permite visualizar otros tipos de información como son: imágenes de satélites, información de calas de contacto, datos de penetrometría dinámica, batimetría, etc. que permitieron correlacionar la información geólogo geofísica para una interpretación y obtención de los resultados más eficiente.

En la figura 5 se muestra una vista de la ventana principal del sistema **Survey Engine Seismic+**.

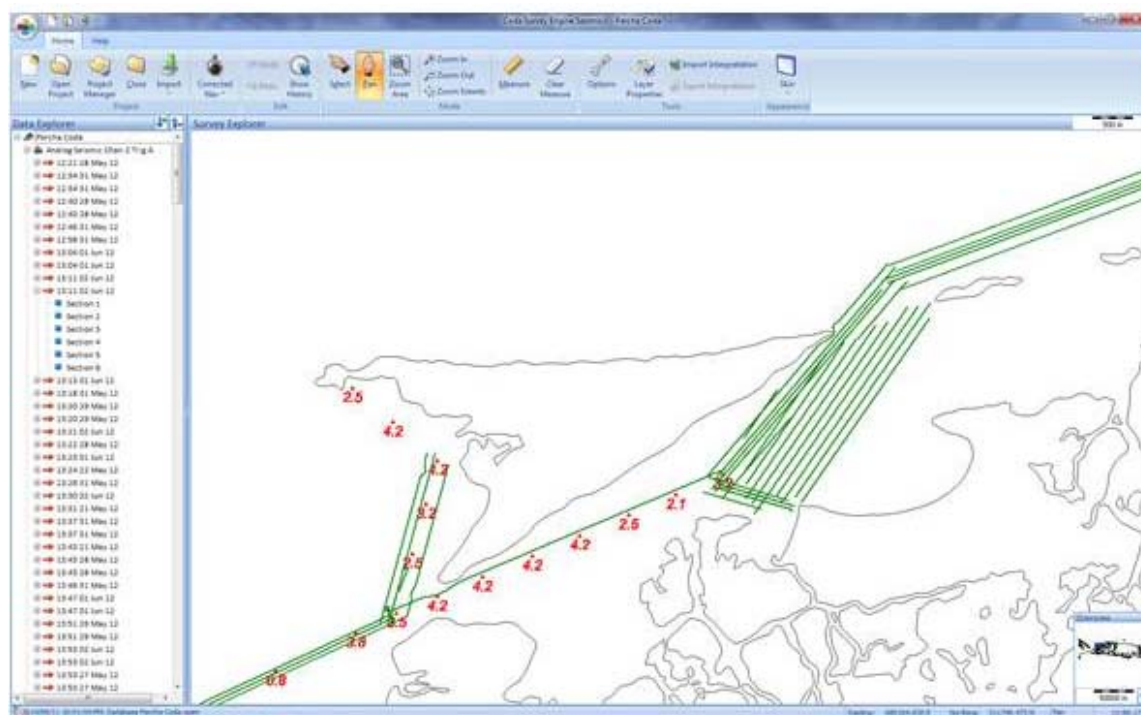


Figura 5 Vista de la ventana principal del sistema **Survey Engine Seismic+**.

Otro de los métodos fundamentales empleados fue el SBL con la finalidad de caracterizar el fondo marino y determinar de forma rápida y precisa la posición de los objetos de constitución sólida, ubicados sobre el lecho marino o parcialmente enterrados en los sedimentos friables. El ecosonda utilizado fue SI-TEX que cuenta con un registro grafico. Estos equipos se muestran en la figura 6 y 7.



Figura 6 Equipamiento completo de sonar de barrido lateral C-Max.



Figura 7 Ecosonda SI-TEX con un registro gráfico.

En las zonas bajas el sondeo batimétrico fue realizado con una regla graduada.

Las imágenes de satélites tomadas del Google Earth en el año 2012 fueron empleadas para las áreas donde no se pudo aplicar el SBL, las cuales ayudaron en la confección del mapa geomorfológico.

Para georeferenciar los datos de la investigación con la calidad requerida se empleó el sistema de posicionamiento global por satélites en la variante autónoma (GPS). Los errores promedios obtenidos en la determinación de las coordenadas de las estaciones y líneas de investigación fueron inferiores a $\pm 2,0$ m, lo que evidencia buena precisión del posicionamiento realizado.

El método de penetrometría se utilizó para conocer la resistencia de los suelos cohesivos y no cohesivos ante la penetración con el cono, el equipo utilizado fue el penetrómetro WILDCAT. Las calas de contacto se llevaron a cabo en las zonas de escasa profundidad donde no fue posible el empleo de los métodos sísmicos para la delimitación del corte geológico y de forma aleatoria en el área de trabajo para apoyar la interpretación sísmica.

Por la homogeneidad litológica y variabilidad de los espesores de sedimentos marinos superficiales, fueron tomadas las muestras de manera aleatoria en la zona de trabajo. Se tomaron un total 11 muestras mediante un muestreador manual de valvas con un diámetro de 80,0 mm y 0,30 m de longitud, con un alcance total de 3,10 m de perforación. Los ensayos físicos realizados fueron: Humedad, Peso Específico, Límites de consistencia de Atterberg, Hidrómetro y Granulometría.

RESULTADOS

Como resultados se presentan los diferentes materiales gráficos obtenidos (planos de Isopacas, Isohipsas, perfiles representativos del corte geológico), además de otros que forman parte de los resultados del complejo de métodos empleado. Se obtuvo una breve caracterización de los sedimentos que componen el fondo marino tanto en la dársena como en la zona de acceso a la misma, así como posibles riesgos (afloramientos rocosos) que deben ser considerados en el proyecto de dragado.

Con los resultados de la sísmica de reflexión fue posible delimitar la frontera entre los sedimentos sueltos y los consolidados y por tanto determinar los espesores de los sedimentos no consolidados y



la profundidad del techo de los sedimentos consolidados. En las zonas bajas estos resultados fueron complementados con la información de las calas de contactos.

- **Resultados de las investigaciones en el Canal de acceso a la dársena**

El fondo marino del canal de acceso a la dársena está conformado por sedimentos no consolidados en gran parte de la zona, con espesores variables y cubiertos con abundante vegetación, pero existen zonas rocosas, que de acuerdo a los registros sonográficos tienen patrones coincidentes con cabezos coralinos (área que une los cayos Borracho y Francés y que continúa bordeando la costa sur de este último). En la imagen satelital que se muestra en la figura 8 también se puede observar estas zonas rocosas entre los cayos.



Figura 8 Imagen de satélite que muestra la zona de los trabajos.

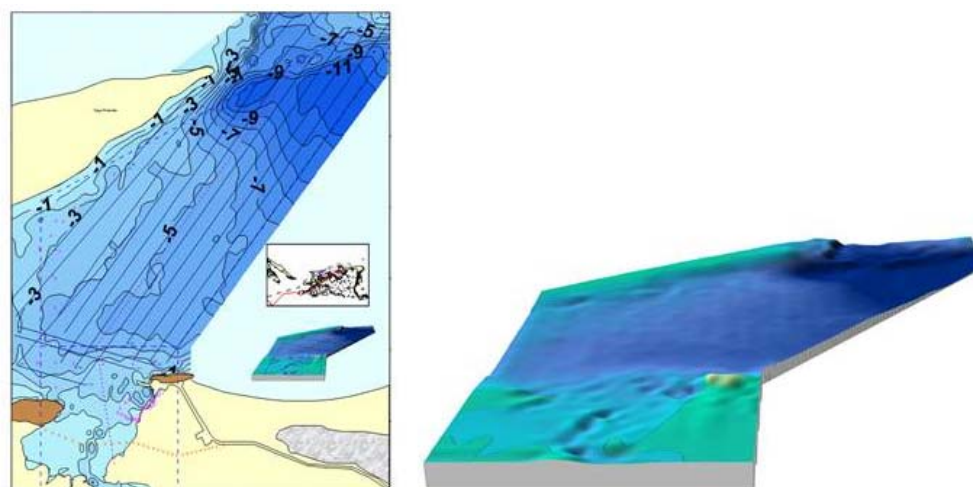


Figura 9 Mapa batimétrico del área de estudio.



En la zona del canal de acceso a la dársena, el comportamiento de las isopacas (Figura 10) es bastante irregular desde zonas de afloramiento rocoso hasta notables espesores de sedimentos, que llegan a formar acumulaciones arenosas de 9,0 m en la depresión ubicada al sur de cayo Francés, en la porción centro-norte.

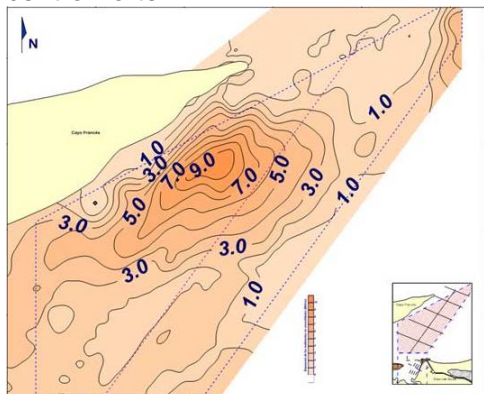


Figura 10 Mapa de Isopacas de la zona del canal de acceso a la dársena.

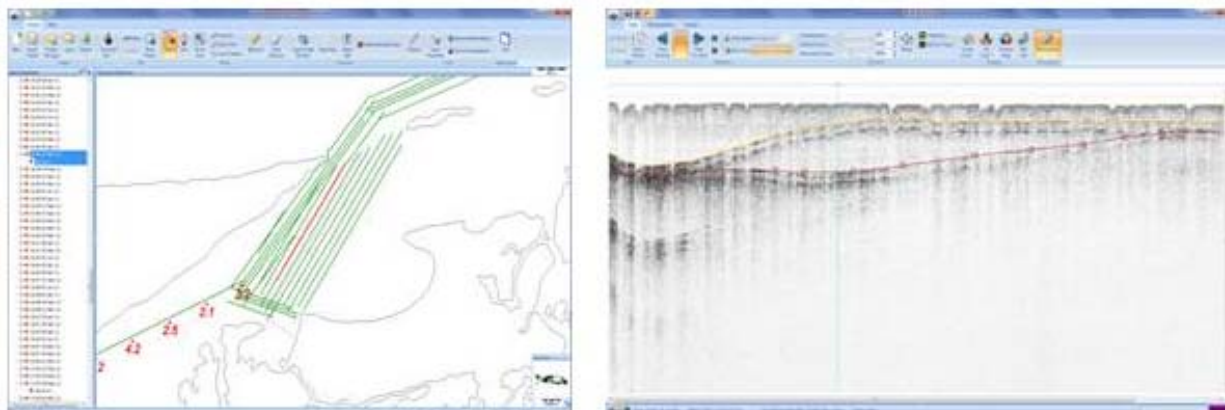


Figura 11 Línea de sondeo y su registro sísmico que muestra acumulaciones de sedimentos no consolidados de hasta 9 m de espesor.

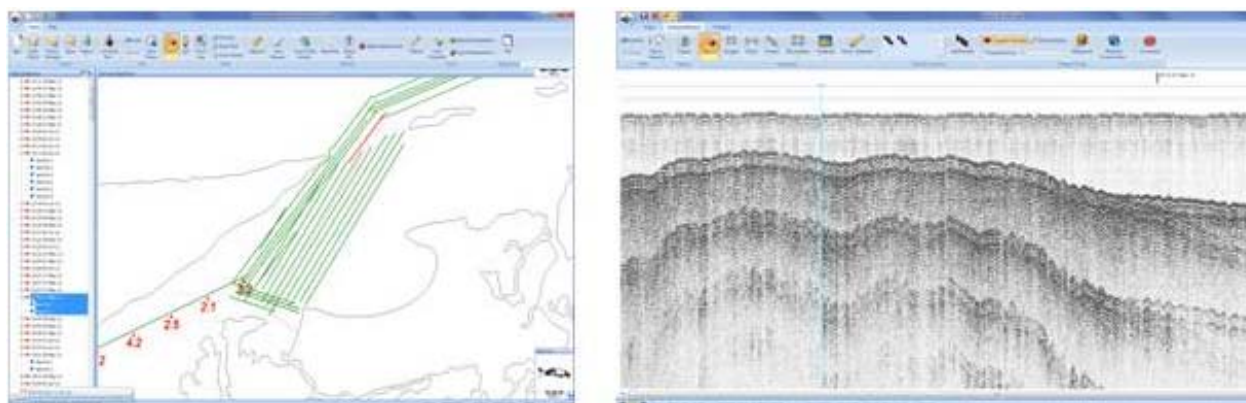


Figura 12 Línea de sondeo y su registro sísmico que muestra zonas pocas acumulaciones de sedimentos no consolidados.



En la zona de estudio se destaca la presencia de un afloramiento rocoso de forma circular. En la foto de la figura 13 se muestra como la roca sobresale de la superficie del agua. En los registros sísmicos (Figura 14) se determinó las características del fondo y subfondo marino relacionado con la elevación de la isohipsa en los alrededores del bajo rocoso.

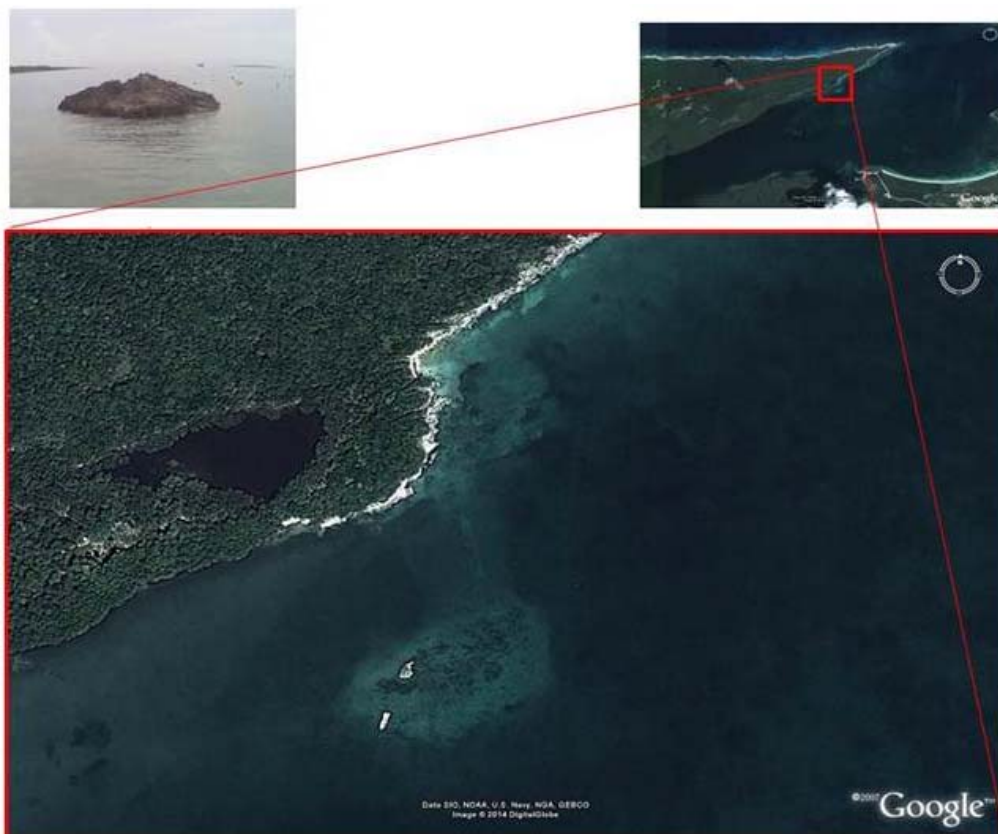


Figura 13 Imagen satélite que muestra el bajo rocoso.

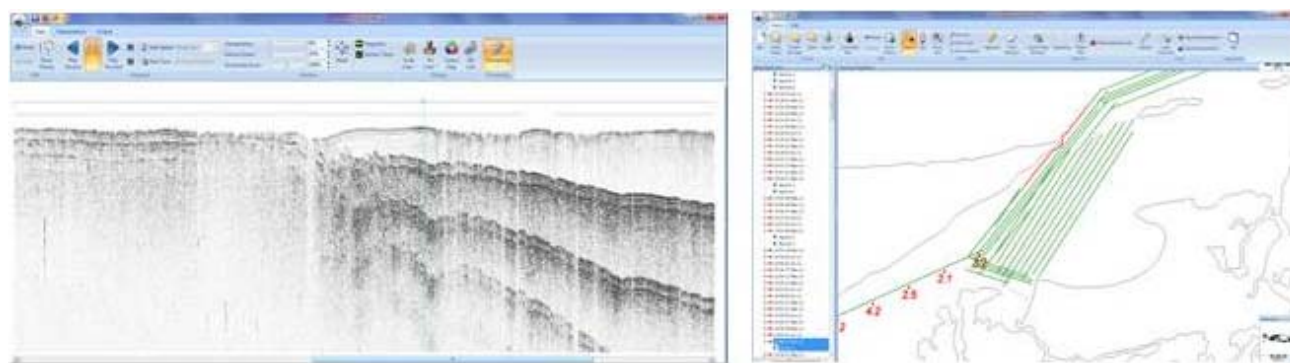


Figura 14 Registro sísmico de la línea que pasa cercano al bajo rocoso.

La profundidad del techo de los sedimentos consolidados (Figura 15) en casi toda el área de interés se encuentra por debajo de los -5,0 m de profundidad, lo cual es favorable para las labores de dragado, excepto en dos pequeños sectores, el primero ubicado al noreste y el segundo al oeste de la zona de trabajo, cercano a la costa sur de cayo Francés.



En el área que comprende el acceso marítimo, fueron detectadas 23 anomalías asociadas a cambios de intensidad de la señal de los registros sonográficos. Los objetos naturales señalados están asociados a formas del fondo marino que pueden estar relacionadas tanto a diversidad en la conformación de la vegetación submarina como a cabezos coralinos. Estos últimos deben ser considerados en el proyecto de dragado ya que pudiesen constituir riesgos.

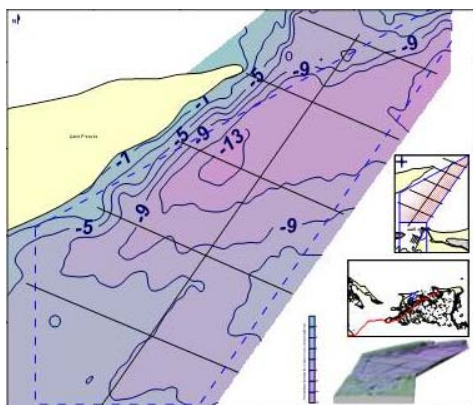


Figura 15 Mapa de Isohipsas de la zona del canal de acceso a la dársena.

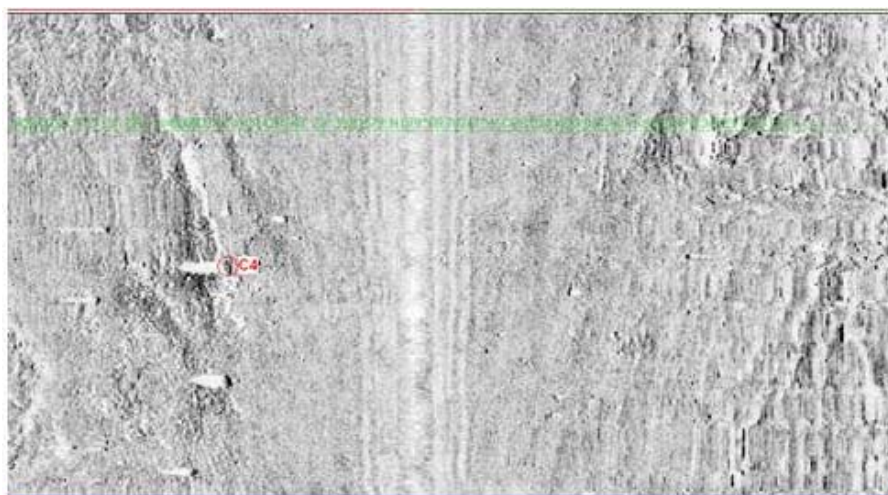


Figura 16 Registro sonográfico donde se aprecia el patrón correspondiente a la zona de fondo rocoso con cabezos coralinos.

- **Resultados de las investigaciones en la dársena de maniobra**

El área interior de la dársena se caracteriza como una llanura acumulativa de bajos litorales, con profundidades menores de -2,0 m, sedimentos arenosos y areno-limosos y presencia de vegetación. El fondo marino se puede es irregular, marcado por la presencia de un canal de marea (continuación del canal del Negrón) que penetra a la misma con profundidades que alcanzan los -3,0 m y dividiendo el bajo que ocupa la zona sur de esta ensenada, generando escarpes con pendientes de 3°. Hacia el noreste la acción de los dragados realizados en el área para el emplazamiento de la marina y el canal de acceso a la misma se refleja en la desigualdad de las isobatas y en los registros de sonar donde son evidentes las huellas del dragado.



Los espesores de sedimentos en esta zona oscilan entre 4,30 m y 2,0 m y la profundidad del techo de los sedimentos consolidados disminuye en dirección sur, desde los -6,0 hasta -2,0 m, por lo que se debe tener en cuenta la posibilidad de dragado en la roca, en algunos sectores. La zona costera que bordea el área de la dársena es acumulativa, lacuno-palustre, plana, con carso cubierto y parcialmente cubierto, periódicamente inundada y con abundante mangles.

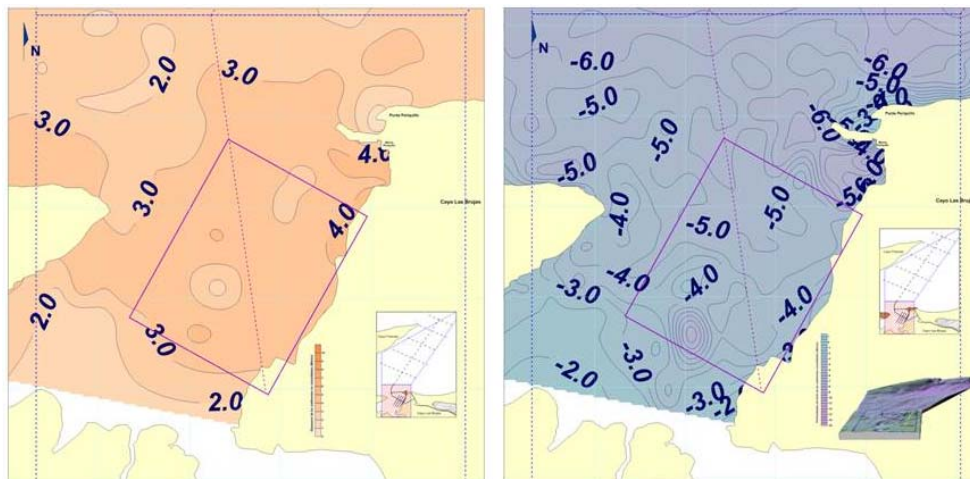


Figura 17 Mapas de Isopacas (izquierda) e isohipsas (derecha) de la zona de la dársena.

De acuerdo a la distribución de los tipos de fondos en el área de estudio, estos se definen como sedimentos arenosos y areno-limosos cubiertos de abundante vegetación, con algunas zonas de escasa vegetación.

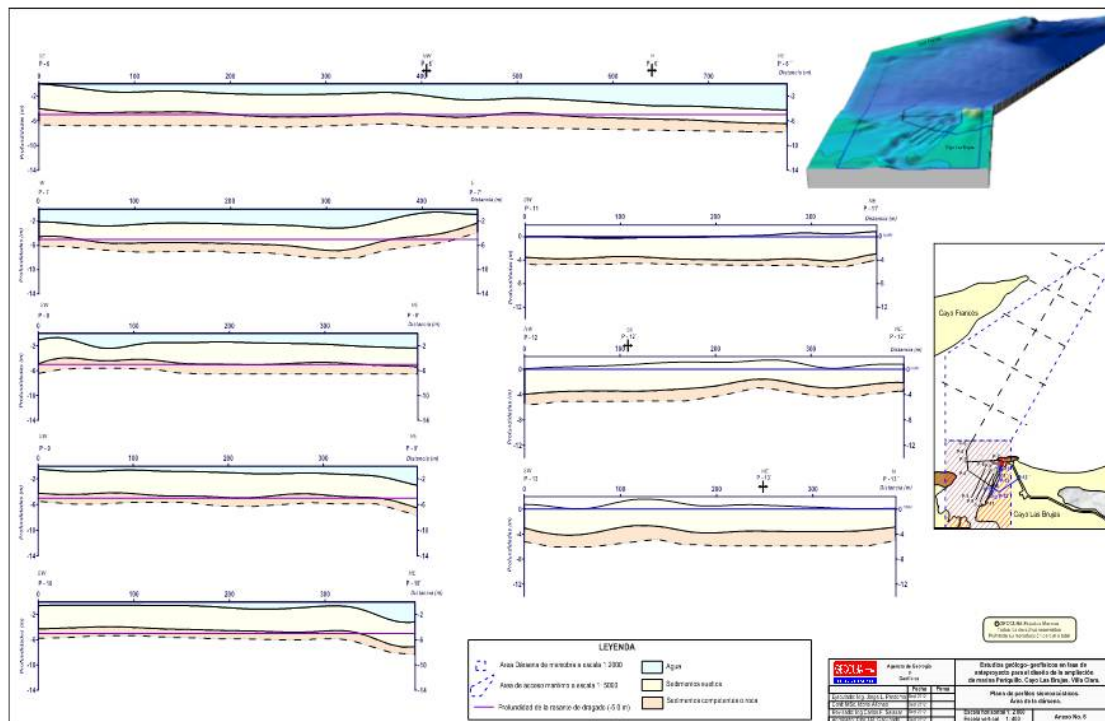


Figura 18 Perfiles representativos de la zona de estudio en la zona del canal de acceso y dársena de maniobra.



En el área de estudio, para esta etapa de investigación se han sido determinados dos elementos ingeniero - geológicos, identificados como arena mal graduada y arena limosa.

CONCLUSIONES

De manera concluyente se demuestra las potencialidades del método sísmico y del complejo de métodos empleado como parte de los estudios indispensables para el anteproyecto de diseño de ampliación de la marina. Especial énfasis en la sismoacústica como método imprescindible para la determinación de los espesores y las profundidades a que se encuentra el techo de los sedimentos consolidados así como para la caracterización cualitativa de los sedimentos.

- En la **zona de acceso a la dársena** el comportamiento se hace más irregular desde zonas de afloramientos rocosos hasta notables espesores de sedimentos que llegan a formar acumulaciones de 9,0 m. La profundidad del techo de los sedimentos consolidados se encuentra por debajo de los -5,0 m de profundidad lo cual es favorable para las labores de dragado. Se debe tener en cuenta los elementos naturales señalados por el SBL, 24 anomalías sonográficas que pudieran constituir riesgos importantes para el dragado.
- En la **zona de la dársena** los espesores oscilan entre 4,30 m y 2,0 m. La profundidad del techo de los sedimentos consolidados disminuye en dirección sur, desde los -6,0 hasta -2,0 m, por lo que se debe tener en cuenta la posibilidad de dragado en la roca, en algunos sectores. Se caracteriza como una llanura acumulativa de bajos litorales, con profundidades menores de 2,0 m, sedimentos arenosos y areno-limosos, presencia de vegetación. Es necesario tener en cuenta que existe la posibilidad de dragado en roca y que con este trabajo no se determina la resistencia de la misma. De la misma manera se realiza una caracterización preliminar de los suelos con vista al dragado que deberá ser corroborada y determinada en detalle en etapas de investigación para proyecto ejecutivo.
- Durante los trabajos del anteproyecto para el diseño de la ampliación de marina Periquillo se debe tomar como referencia la información contenida en los planos geólogo- geofísicos presentados.
- Los objetos anómalos detectados por el sonar deben ser considerados en el proyecto de dragado ya que pudiesen constituir riesgos durante las labores de dragado.
- Es necesario tener en cuenta que existe la posibilidad de dragado en la roca y que con este trabajo no se determina la resistencia de la misma.

BIBLIOGRAFIA

- Cabrera, M. 2006. Mapa geomorfológico del territorio marino del ecosistema Sabana –Camagüey a escala 1: 250 000. CNDIG. IGP. 2006.
- López Rodríguez A., et al., 2000. Ingeniería Básica para proyecto de dragado. Punta Periquillo, cayos Las Brujas. 2000.
- Metodología para la realización de los levantamientos con Sonar de Barrido Lateral. MET 30 -29: 2005. GEOCUBA Estudios Marinos. Ciudad de la Habana. 2004.
- Ortega Pérez F., et al. Estudio ingeniero geológico ejecutivo. Viaducto a cayo Francés. 1999.
- Ortega Pérez F., et al. Estudio ingeniero geológico pedraplén cayo Las Brujas- cayo Francés. 2000.
- Sardañas, C., 2011. Investigaciones geólogo-geofísicas para el anteproyecto de tendido del cable de fibra óptica submarino entre el cayo Santa María y Caibarién. Villa Clara. 2011.