

EMPLEO DE LA SISMOACÚSTICA PARA LA DEFINICIÓN DE LA VARIANTE DE TENDIDO SUBMARINO DEL OLEODUCTO EN LA BAHÍA DE CIENFUEGOS

Idoris Alfonso Santiesteban¹, Gustavo Godínez Barrera, José R. Gabilondo Márquez, Yamel Hernández Durañona

1. GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 112000, Ciudad de La Habana, Cuba. Telef: 797-8255, Ext. 110 y 107, Fax: 797 0019. E-mail: idoris@emarininos.geocuba.cu

RESUMEN

Se recogen en este trabajo, los resultados de las investigaciones geofísicas realizadas para la fase de ingeniería conceptual en la segunda etapa de expansión de la refinería Camilo Cienfuegos, en la parte final del canal de entrada de la Bahía de Cienfuegos, al Norte de Torno Pasacaballo, entre Punta de la Milpa y Caletón Don Bruno, para el Cruce Submarino del Oleoducto entre el Muelle de Recepción de Crudo a ubicar en los Colorados y las instalaciones de la Refinería.

El trabajo realizado fue un levantamiento sismoacústico con un sistema de sismica de alta resolución, de reciente adquisición, considerado de alta tecnología en el mercado mundial procedente de la firma APPLIED ACOUSTICS; el cual posee un rango de frecuencias desde 400 a 2400 Hz. y una potencia de 300 Joules, que permite obtener una relación resolución/penetración adecuada en las diferentes capas o estratos que subyacen el fondo marino.

El aporte fundamental de los resultados es de brindar un conocimiento general de la geología del área de estudio para el tendido submarino del oleoducto. La aplicación de conceptos y criterios sismo-estratigráficos en la interpretación de los sismogramas, conjuntamente con información precedente de otras investigaciones realizadas, permitieron determinar los espesores de los sedimentos no consolidados y características preliminares de los suelos que componen el fondo marino. Como resultado también se proponen variantes de ubicación del oleoducto y los cortes en profundidad de cada variante en la que se aprecia la morfología del fondo y el comportamiento de los horizontes geológicos.

ABSTRACT

In this work are gathered, the results of geophysical investigations carried out for the conceptual engineering phase in the second period of expansion of the Camilo Cienfuegos refinery, located at the end of the channel of Cienfuegos Bay, north of torn Pasacaballo, between Punta de la Milpa and Caletón Don Bruno, for Submarine Pipeline Crossing between Crude receiving dock locate in the Colorados and refinery facilities. The work was a seismic survey by a high resolution seismic system from APPLIED ACOUSTICS firm, *newly* acquired, considered high technology in the world market, which has a frequency range from 400 to 2400 Hz. and 300 Joules of power, giving an adequate ratio resolution/penetration in the different layers below the seabed.

The main contribution of the results is to provide a general understanding of the geology in the study area for laying submarine pipeline. The application of seismic stratigraphic criteria and concepts in the seismogram interpretation, in conjunction with previous data from other investigations, allowed determining the thickness of unconsolidated sediments and preliminary characteristics of soils of the seabed. As a result variants are also proposed for pipeline location and the profiles in depth for each variant in which you can see the bottom morphology and behavior of geological horizons.

INTRODUCCIÓN

El Estudio de la Ingeniería Conceptual de la expansión de la Refinería Cienfuegos para alcanzar los 150.000 barriles por día, requiere de estudios batimétricos y geofísicos en las áreas marinas que

ocuparán las nuevas Instalaciones, en este caso el cruce submarino del Oleoducto que será ubicado desde el Muelle de recepción de crudos en Los Colorados hasta las instalaciones de la refinería.

El área de los trabajos geofísicos se ubica dentro de la Bahía de Cienfuegos, en la parte final del canal de entrada, al interior de la Bahía de Cienfuegos, al Norte de Torno Pasacaballo, entre Punta de la Milpa y Caletón Don Bruno (Ver Figura 1). Las profundidades naturales de agua en el sitio están en el rango de -2,00 m a -35,00 m (Área del Cruce Submarino del Oleoducto).

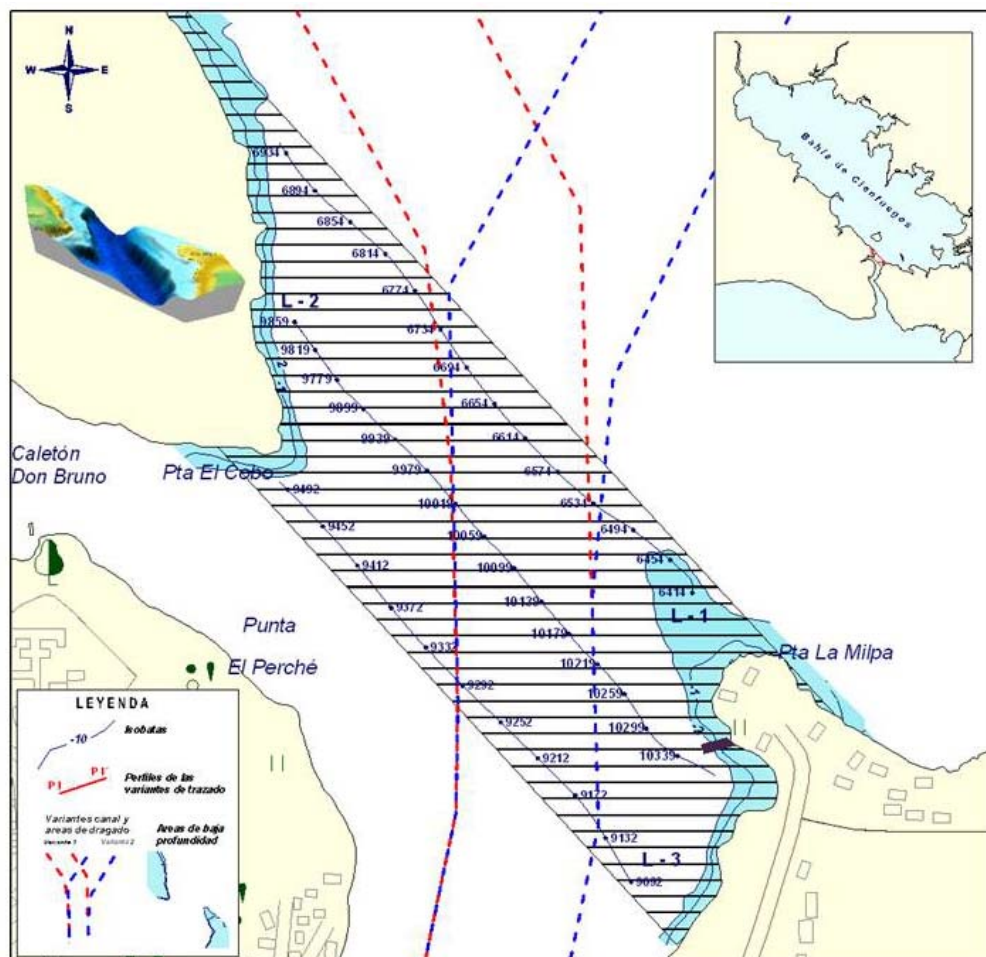


Figura 1 Ubicación del área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El alcance de este trabajo está determinado por las características del método de sismica 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. 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. Se basa en el principio físico de la reflexión de la señal acústica cuya principal

ventaja estriba en que brinda una imagen continua de las estructuras del subfondo (siempre que entre estas exista un marcado contraste de densidades).

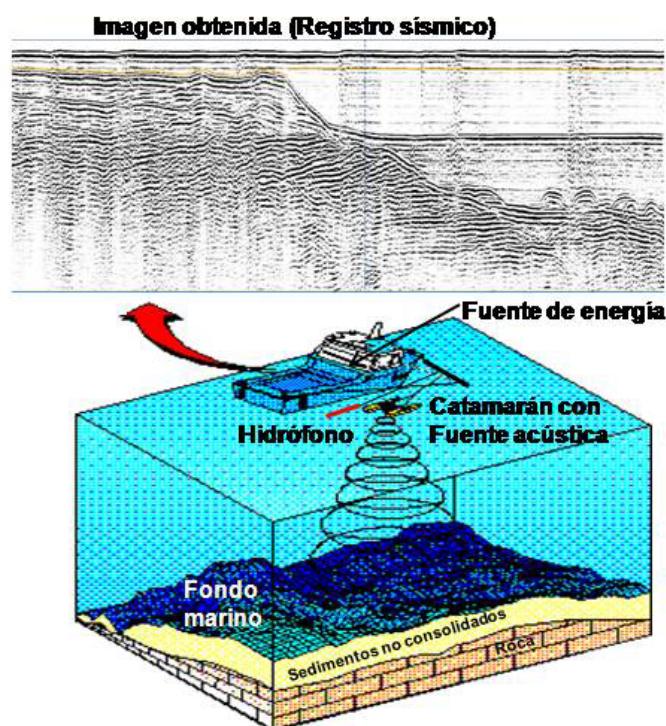


Figura 2 Esquema teórico y resultados típicos de la sísmica reflexión en un perfil de sedimentos.

Se utilizó en este trabajo el sistema de perfilaje sísmico **CODA DA 2000** de la firma **APPLIED ACOUSTICS**, el cual está constituido por 4 módulos fundamentales (Figura 3), el cual trabaja con un rango de frecuencias desde 400 Hz a 2400 kHz y una potencia de 300 joules, para la obtención de una relación resolución/penetración adecuada en las capas del subsuelo, en un área con profundidades de medias a bajas. Los datos obtenidos en este son almacenados en un sistema integrado geofísico de adquisición y procesamiento digital.



Figura 3 Sistema CODA DA 2000 de la firma APPLIED ACOUSTICS.

Este sistema fue instalado a bordo de una embarcación de 2.5 m de calado y se trabajó a una velocidad de 3 nudos. La alimentación fue tomada desde un generador portátil de 5 Kv. El boomer fue

utilizado como fuente de emisión de pulsos cortos y de alta energía que garantiza una adecuada relación entre resolución y penetración. Durante la adquisición se utilizaron energías desde 300 hasta 1000 Joules para las zonas bajas tratando de disminuir las reflexiones múltiples. El intervalo entre disparos se aplicó entre 500 y 250 milisegundos y la extensión del barrido estuvo entre 40 y 64 milisegundos. Se registró con una banda de filtrado entre 800 Hz y 2400 Hz y posteriormente durante el procesamiento se aplicaron diferentes bandas de filtros, variación de ganancia en el tiempo y otras técnicas para mejorar la calidad del registro.

Este sistema de perfilaje recibió directamente la señal de GPS, y los pings de adquisición de datos a lo largo de todo el registro están correspondientemente georeferenciados.

Los trabajos de mar comenzaron con la ejecución de los trabajos experimentales, los cuales tienen como objetivo determinar la geometría y los parámetros óptimos de medición con el perfilador sismoacústico en la zona de estudio.

Para el posicionamiento se utilizó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), en su variante diferencial, empleándose el Datum Geodésico NAD-27. Sistema Cuba Norte. Se utilizó DGPS Newton Surveyor, la estación referencial fue colocada en un punto de coordenadas fuertes y la móvil o receptora se colocó en la embarcación, garantizando el sistema una exactitud del posicionamiento inferior a 1.5 m de error en la determinación de la posición.

Los trabajos de procesamiento consistieron en los siguientes: Mejoramiento de los sismogramas utilizando diferentes filtrados, ganancias y tratamiento de las imágenes, corrección de los horizontes al Nivel Medio del Mar (NMM), elaboración del plano de datos reales con la posición de cada ping obtenido, elaboración del plano de coincidencias en los puntos de cortes de los perfiles, transformación de todas las profundidades obtenidas del sismograma de milisegundos a metros utilizando una velocidad media similar a la del sonido en el agua de 1540 m/mseg, al no contar con información de sondeos geológicos, interpretación de cada registro sismoacústico, obtención de los reportes automatizados en formatos txt y dxf, y finalmente la obtención de los planos de Isopacas y de Isohipsas así como el plano de perfiles geofísicos.

RESULTADOS

Este estudio recoge los resultados de las investigaciones geofísicas preliminares para la etapa de anteproyecto en la zona del canal de entrada donde se producirá el cruce del tendido del oleoducto, que conducirá el crudo desde el muelle de descarga hasta los tanques de almacenaje de la refinería. Los principales resultados obtenidos se resumen en los planos de Isopacas e Isohipsas y en los perfiles geofísicos a lo largo del trazado. Se incluye un plano con propuestas de posibles variantes de trazado y la morfología del fondo.

El área de los trabajos está constituida por un fondo irregular en su mayor parte, con un accidente geomorfológico relevante en el cañón del canal de acceso a la bahía. En la batimetría del área (Figura 4) se observa la morfología abrupta del canal de acceso a la bahía ya en su parte interior, apreciándose los taludes y las terrazas costeras con acumulaciones de sedimentos no consolidados que conforman las zonas elevadas laterales.

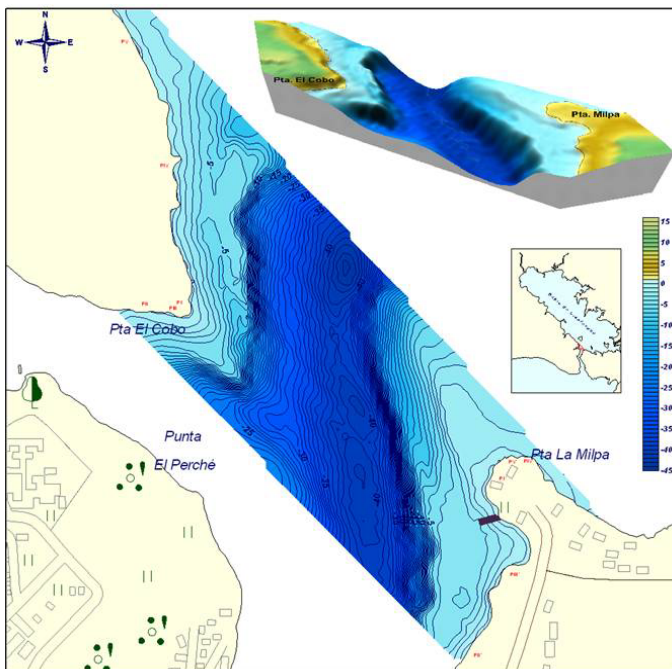


Figura 4 Batimetría realizada en la zona del “cruce submarino del oleoducto” que muestra la morfología del fondo marino en el área de estudio.

El método sismoacústico permitió determinar los espesores de sedimentos no consolidados y precisar la ubicación del estrato competente más superficial. De acuerdo a la información geológica general del área y con carácter orientativo, es posible suponer que la litología de los sedimentos no consolidados del fondo del canal se correspondan con sedimentos finos arcillosos, plásticos, de tonalidades grises y de consistencia fluida a blanda, que transicionan hacia materiales más consistentes, desde limosos a arenosos al acercarnos a la línea costera a partir del límite del talud. O sea, en las zonas de mayores profundidades, estos espesores deben corresponder con materiales más finos; la arcilla gris fluida a muy blanda (cieno). Pero hacia las zonas bajas al disminuir estos espesores, los materiales deben ser una mezcla más arenosa pudiendo ser esta última predominante y algo más gruesa hasta gravosa por tramos. Por debajo de estos aparecen materiales competentes constituidos por arcillas arenosas, que van desde firmes a muy duras de forma gradual en profundidad; se pueden encontrar intercalaciones desde arenas densas hasta areniscas y roca caliza en diferentes niveles.

En esta zona de estudio es característica la presencia de depresiones en el material competente que conforma los taludes, las cuales están rellenas de sedimentos más recientes y que muestran patrones de estratificación paralelos, indicando tal vez su carácter arenoso. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de registro sismoacústico donde se observa claramente estas depresiones y en la Figura 6, se muestra el mismo sector más ampliado y con diferentes parámetros de procesamiento. En las zonas de mayor profundidad al centro del canal, la acumulación de sedimentos no consolidados muestran patrones de estratificación paralela simple con tendencias en ejes divergentes, lo que indica que estos se han acumulado con ritmos diferentes en una zona de corrientes variables, de energía relativamente alta, que ha determinado la inclinación variable de las superficies de sedimentación y el carácter de la granulometría que puede ir desde sedimentos finos hasta algo gruesos.

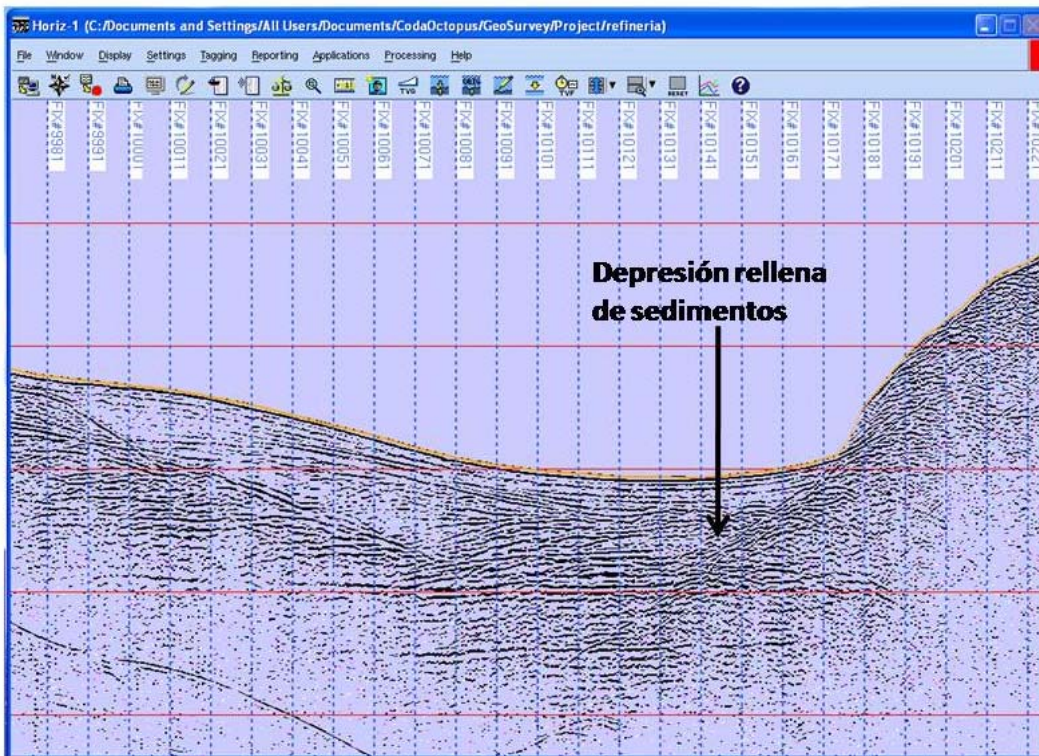


Figura 5 Registro sismoacústico que muestra la presencia de depresiones en el material competente que conforma los taludes, rellenas de sedimentos más recientes.

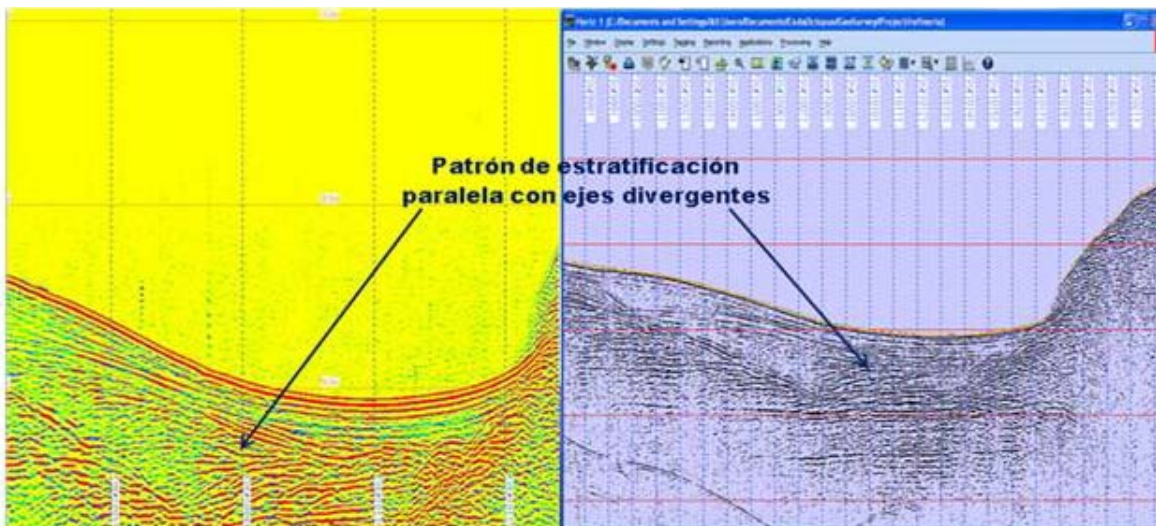


Figura 6 Registros sismoacústicos que muestran en detalle los patrones de reflexión en los sedimentos que rellenan las depresiones del material competente. Se muestran dos registros a diferentes escalas y parámetros de procesamiento.

Los planos de isopacas e isohipsas para el área de estudio se presentan en las Figuras 7 y 8. El plano de isohipsas se refiere a las profundidades del techo de los sedimentos consolidados o estrato competente y las isopacas son los espesores de sedimentos más sueltos o no consolidados que yacen

sobre dicho estrato. Es evidente que estos espesores de materiales no coinciden litológicamente en todo el trazado diferenciándose desde la costa hacia el centro del canal.

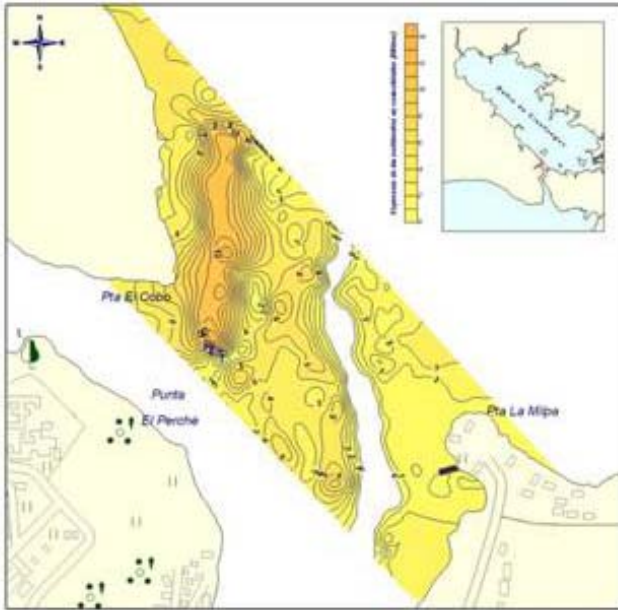


Figura 7 Plano de espesores de los sedimentos no consolidados

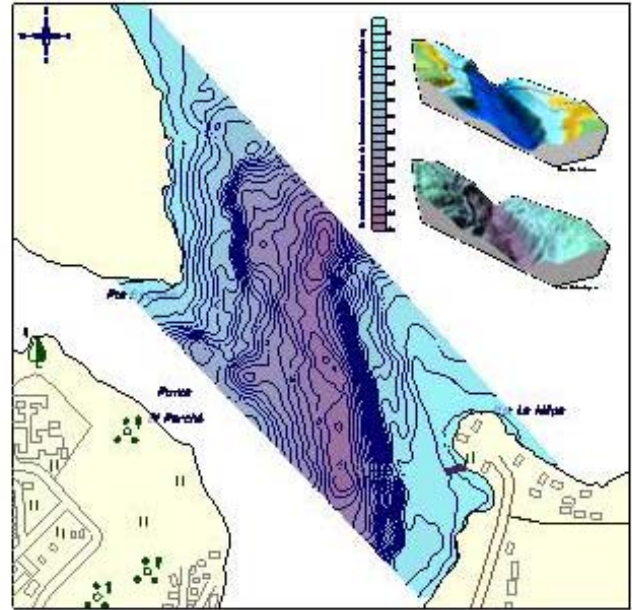


Figura 8 Plano de profundidades del techo de los sedimentos consolidados

En la Figura 9 se muestra un registro de sonar de barrido lateral en el que se evidencia la presencia de sedimentos no consolidados: arcillosos en las zonas más profundas del canal y arenosos en las zonas de pendientes. Por las características ya señaladas de los registros geofísicos, asumimos que estos horizontes deben estar constituidos por materiales finos y poco consolidados, pero esto debe ser validado con alguna perforación y así poder establecer una caracterización precisa de la composición y consistencia de estos horizontes. En el momento de la elaboración de los resultados de esta investigación no contábamos con una información precisa cerca de la variante más probable para el tendido submarino del oleoducto por lo que se debe llamar la atención sobre la influencia de la geometría del cajón previsto en el dragado del canal de entrada en esta área.

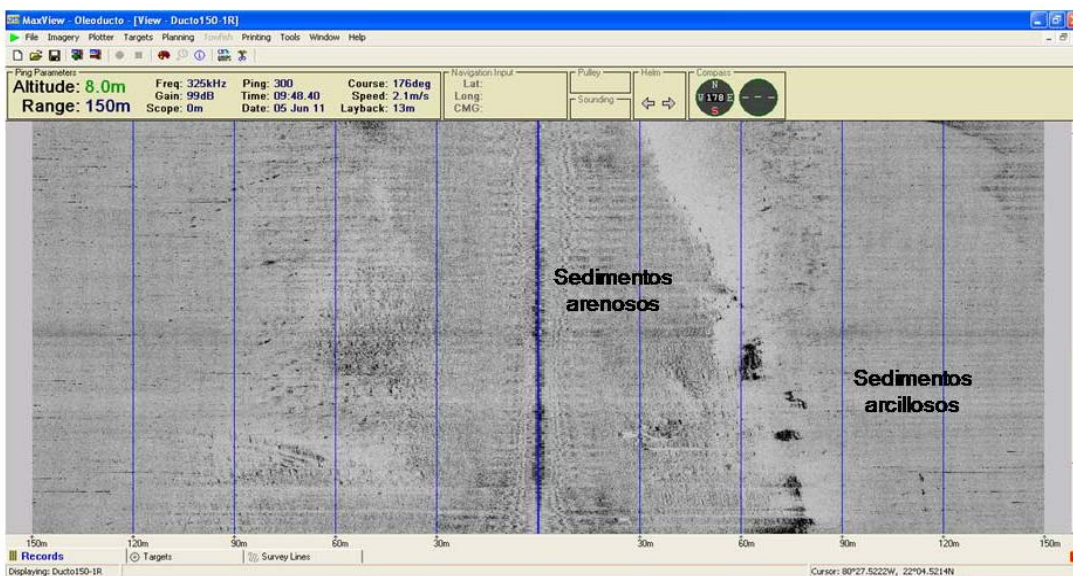


Figura 9 Registro de Sonar de Barrido Lateral que muestra la presencia de diferentes tipos de sedimentos en el área de estudio.

A partir del análisis anterior y siguiendo la geometría de las fronteras y materiales identificados se confeccionaron una serie de perfiles transversales que caracterizan los suelos para esta zona de estudio (ver Figura 10), en los cuales se aprecian los taludes prácticamente sin sedimentos al este, mientras que las mayores acumulaciones de sedimentos no consolidados se localizan del centro al oeste del canal. De forma preliminar también se puede prever con vistas al trazado de esta tubería, que en la parte central del canal deben predominar sobre el fondo, materiales blandos, de alta compresibilidad y baja capacidad soportante; estos se ponen en contacto con materiales más consistentes cuando comienzan los taludes que marcan la existencia del canal de entrada a la bahía.

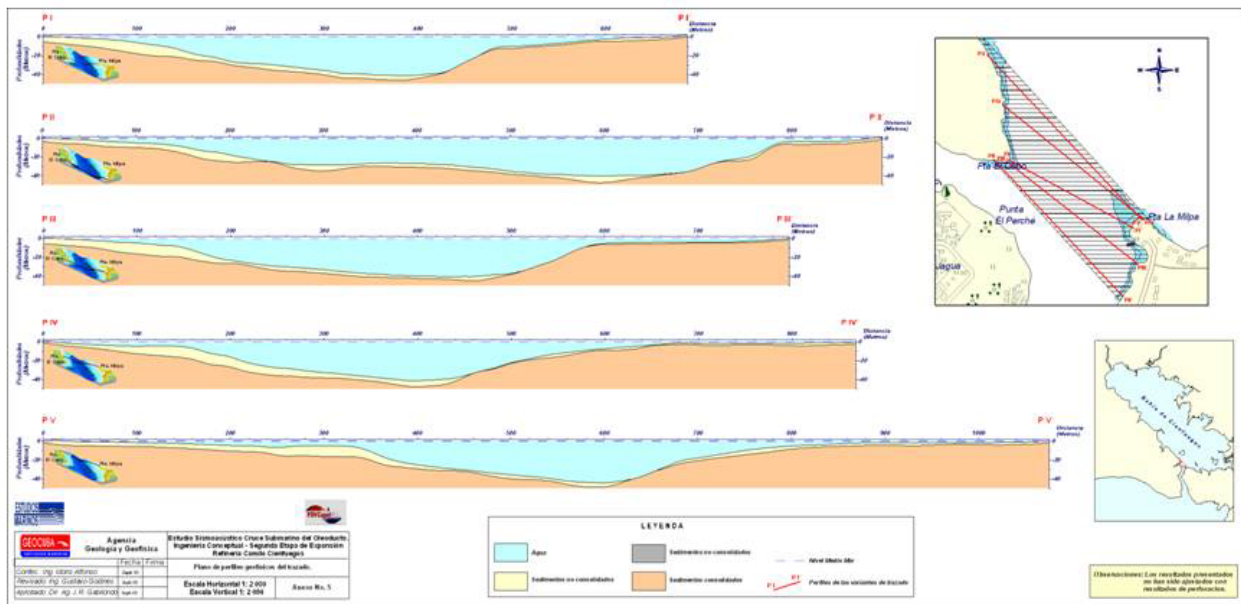


Figura 10. Esquema de perfiles transversales que muestran los taludes prácticamente sin sedimentos al este, y las mayores acumulaciones de sedimentos del centro al oeste del canal.

En general las características del fondo marino superficial con la existencia de suelos muy blandos, determinaría la posibilidad de que al depositar la tubería lastrada, esta se entierre a una profundidad excesiva debido a la baja capacidad de soporte de los suelos. Es importante tener en cuenta los posibles asentamientos diferenciales excesivos que puedan ocasionar el contacto entre tipos distintos de suelos como lo son las arcillas, arenas en las depresiones rellenas y los materiales más competentes en los taludes. En los materiales arcillosos, y condicionado además por la profundidad considerable en gran parte de la zona, son poco probables los fenómenos de socavación, sin embargo en las zonas con poca profundidad de las zonas bajas en los extremos, donde inclusive es predominante el contenido de material arenoso; algunas condiciones meteorológicas-oceanográficas extremas asociadas a tormentas o corrientes, pueden provocar cierta socavación y es recomendable el anclaje de la tubería como factor de estabilidad. En las zonas de taludes pronunciados del canal, el sistema de instalación de la tubería debe tener en cuenta el posible deslizamiento de volumen de sedimentos (fundamentalmente al oeste) en algún evento extremo que genere la transmisión de esfuerzos a la tubería por la conformación de un nuevo talud que pueda afectar su funcionamiento.

CONCLUSIONES

1. El aporte fundamental de los resultados de este trabajo estuvo en lograr un conocimiento general del comportamiento de los horizontes geológicos en el área.
2. El correcto funcionamiento de las tuberías colocadas sobre el fondo depende de factores como la estabilidad del suelo que las sustenta y de las fuerzas que este le transmite; estos factores a su vez dependen de las características del fondo marino superficial y además del sistema de instalación de las tuberías.
3. El área de interacción fundamental suelo –tubería pudiera considerarse limitada a un espesor máximo de 5 metros en suelos y para ella consideramos importante la determinación en los mismos de sus características físicas; tales como humedad, densidad, peso específico y granulometría así como: resistencia, ángulo de fricción interna y cohesión, entre otros parámetros.
4. De forma preliminar podemos prever que para el tendido de esta tubería en la parte central del canal predominan materiales arcillosos cohesivos muy blandos, de alta compresibilidad y baja capacidad soportante; de ahí que recomendamos considerar para el diseño de la tubería en esta arcilla como estrato soportante una condición de muy blanda, esta se pone en contacto con materiales más consistentes cuando comienzan los taludes que marcan la existencia del canal de entrada a la bahía.
5. En lo que se refiere a las características del fondo marino superficial la existencia de suelos cohesivos muy blandos de alta compresibilidad determina la posibilidad de que al depositar la tubería lastrada, esta se entierre a una profundidad excesiva debido a la baja capacidad de soporte de los suelos. Esto entre otras alternativas puede solucionarse haciendo una trinchera previa a la colocación de la misma y colocando algún soporte para que sea colocada la tubería, anclando esta solamente para evitar su flotabilidad.
6. Es importante tener en cuenta los posibles asentamientos diferenciales excesivos que puedan ocasionar el contacto entre dos tipos distintos de suelos como lo son las arcillas muy blandas y los materiales más competentes en los taludes.
7. En estos materiales arcillosos y condicionado además por la profundidad considerable en gran parte del área son poco probables los fenómenos de socavación, sin embargo en las zonas con poca profundidad de agua de las zonas más bajas donde inclusive es predominante el contenido de material arenoso; algunas condiciones meteorológicas y oceanográficas extremas asociadas a tormentas u corrientes pueden provocar cierta socavación y es recomendable el anclaje de la tubería en estos casos como factor de estabilidad.
8. En las zonas de taludes pronunciados del canal el sistema de instalación de la tubería debe tener en cuenta el posible deslizamiento de volumen de sedimentos en algún evento extremo que genere la transmisión de esfuerzos a la tubería por la conformación de un nuevo talud que puedan afectar su funcionamiento.

RECOMENDACIONES

1. Recomendamos que la realización de los futuros sondeos geotécnicos para la referencia de profundidad precisa de los horizontes y para la descripción y clasificación de los elementos ingeniero –geológicos a interactuar con la tubería, sean ubicados a partir de la información de esta investigación, después de seleccionar un trazado geométricamente favorable; y a estos efectos proponemos un mínimo de 6 calas ubicando 3 desde cada borde costero del trazado hasta los -20 m de profundidad y realizar una inspección con buceo, mediante muestreo e hincas en el fondo en las áreas del trazado con profundidades mayores .
2. Recomendamos reajustar los mapas con resultados de los sondeos geotécnicos, así como con los resultados de la batimetría ingeniera de precisión.
3. Recomendamos tener en cuenta la influencia de la geometría del cajón previsto en el dragado del canal de entrada en esta área.

BIBLIOGRAFIA

Metodología para la realización del levantamiento sismoacústico. MET 30 -12 - 2005. GEOCUBA
Estudios Marinos. Ciudad de la Habana, 2005.
Bases para estudios batimétricos y geofísicos en fase conceptual. NOUEL Consult SA.