



## EXPERIENCIAS DURANTE LA ADQUISICION DE ESTUDIOS DE SITIO EN LAS AGUAS PROFUNDAS DE LA ZEE DE CUBA

**Alfonso Santiesteban, Idoris; José R. Gabilondo Márquez**

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

### RESUMEN

Los Estudios de Sitio, conocidos también como Estudios Geofísicos de Alta Resolución, se realizan con el objetivo de caracterizar los suelos que componen el fondo y subfondo marinos así como para detectar cualquier tipo de riesgo natural y/o antrópico existente en un sitio donde se pretende ubicar o construir una estructura determinada (plataformas petroleras, tendido de tuberías y cables u otra actividad ingeniera sobre el fondo marino). Estos estudios se realizan siempre antes de la actividad ingeniera que se vaya a realizar y son realmente complejos, no solo por las tecnologías que se emplean, el número de profesionales de diferentes especialidades altamente calificados en sus respectivas disciplinas, sino también por la cantidad de requerimientos que son necesarios durante las operaciones.

Estos estudios son tan variados como variadas son las obras ingenieras. También dependen del alcance y las técnicas a emplear y de la profundidad de agua en que se desarrollan. En aguas someras y medias (menores de 500 m) la tecnología geofísica e hidrográfica para la adquisición de los datos se realiza mediante el remolque directo de los sensores. Sin embargo en aguas profundas la tecnología es diferente y el remolque se realiza sobre vehículos sumergibles como son los ROV (*Remote Operated Vehicule*), que en este caso constituye una plataforma de remolque para los diferentes sensores empleados: Sonar de barrido lateral, perfilador de subfondo, ecosonda multihaz, sensores de movimientos, etc. así como otros periféricos necesarios.

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar cómo se realizan estos estudios en aguas profundas a partir de las experiencias adquiridas durante los trabajos de adquisición en la Zona Económica Exclusiva de Cuba, las tecnologías necesarias, los tipos de posicionamiento acústicos que se emplean para la determinación precisa del ROV y de los sensores de medición, los tipos de embarcaciones, etc.

### ABSTRACT

Studies Site, also known as Geophysical Studies of High Resolution, are performed in order to characterize soils that make up the fund and subsea well as for any type of natural hazard and / or man existing in a place where it is intended locate or build a certain structure (oil rigs, pipe laying and cable engineer or other activity on the seabed). These studies are always performed before the engineering activity to be performed and are indeed complex, not only by the technologies used, the number of highly qualified professionals from different disciplines respectively in their specialties but also by the amount of requests which are necessary for operations.

These studies are as varied as are the various engineering works. Also depend on the scope and the techniques employed and the depth of water in which are developed. In shallow and medium (below 500 m) waters geophysical and hydrographic technology for data acquisition is done through towed sensors. However deep water technology is different and the tow is done on submersible vehicles such as ROVs (*Remote Operated Vehicle*), which in this case is the platform for different sensors used: side scan sonar, subbottom profiler, multibeam echosounder, motion sensors, etc. and other required peripherals.

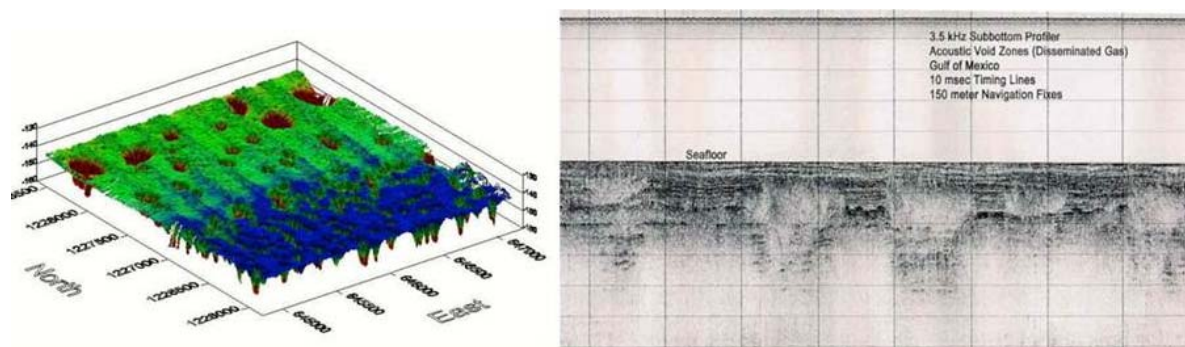
This paper aims to show how these studies are done in deep water from the experience gained during the work of acquisition in the Exclusive Economic Zone of Cuba, the necessary technologies; types of acoustic positioning are used for the precise determination of the ROV and measuring sensors, types of vessels, etc.

### INTRODUCCIÓN

Los Estudios de Sitio, conocidos también como Estudios Geofísicos de Alta Resolución, se realizan con el objetivo de caracterizar los suelos que componen el fondo y subfondo marinos así como para detectar cualquier tipo de riesgo natural y/o antrópico existente en un sitio donde se pretende ubicar o construir una estructura determinada (plataformas petroleras, tendido de tuberías y cables u otra



actividad ingeniera sobre el fondo marino). Estos estudios se realizan siempre antes de la actividad ingeniera que se vaya a realizar y son realmente complejos, no solo por las tecnologías que se emplean, el número de profesionales de diferentes especialidades altamente calificados en sus respectivas disciplinas que participan, sino también por la cantidad de requerimientos que son necesarios durante las operaciones.

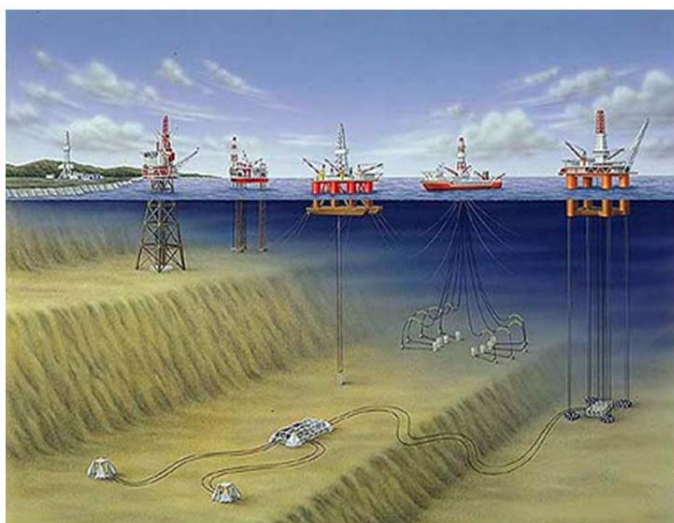


**Figura 1 A la derecha: un levantamiento con multibeam que muestra los Pockmarks. A la izquierda: un registro sísmico que muestra evidencias de gas somero sobre el fondo marino (Tomado de Handbook of offshore surveying / by Huibert-JanLekkerkerk, R. van der Velden, T. Haycocke.a.).**



**Figura 2 Ejemplos de desastres costa afuera en la exploración petrolera.**

Los estudios de sitio están enfocados en un área pequeña del fondo marino. El tamaño y la densidad del levantamiento varían de acuerdo a las especificaciones del cliente. Estos estudios son tan variados como variadas son las obras ingenieras. El tipo de plataforma petrolera tiene una incidencia directa en el alcance de la investigación de sitio (Figura 5). Para las plataformas petroleras fijas tipo *jackup* el impacto sobre el fondo marino es fundamentalmente en un área pequeña alrededor de los cilindros por lo que el estudio de sitio debe estar enfocado en estas áreas. Si se trata de plataformas petroleras ancladas, impactan una mayor área y por tanto el estudio de sitio debe abarcar una mayor área del fondo marino para determinar las condiciones de anclaje. Otros tipos de plataformas como las DP (*Dynamically positioned*) impactan sobre pequeñas áreas pero su uso es predominantemente de aguas profundas a ultra profundas.



**Figura 3 Visualización del tipo de infraestructura costa afuera para explotación de hidrocarburos. (Tomado de *Experiencias en Exploración Geotécnica Costa Afuera en Venezuela*).**

Estos estudios también dependen del alcance y las técnicas a emplear y de la profundidad de agua en que se desarrollan. En aguas someras y medias (menores de 500 m) la tecnología geofísica e hidrográfica para la adquisición de los datos se realiza mediante el remolque directo de los sensores. Sin embargo en aguas profundas la tecnología es diferente y el remolque se realiza sobre vehículos sumergibles como son los ROV (*Remote Operated Vehicle*), que en este caso constituye una plataforma de remolque para los diferentes sensores empleados: Sonar de barrido lateral, perfilador de subfondo, ecosonda multihaz, sensores de movimientos, etc. así como otros periféricos necesarios.

Por lo general estos estudios se realizan en el mundo en las zonas de gran interés gaso petrolíferos por lo costoso que resultan. En Cuba por lo general son realizados por compañías extranjeras, y en algunos casos en alianza con empresas extranjeras. El presente trabajo tiene como finalidad mostrar cómo se realizan estos estudios en aguas profundas a partir de las experiencias adquiridas durante los trabajos de adquisición en la ZEE de Cuba, las tecnologías necesarias para llevar a cabo estos estudios, los tipos de posicionamiento acústicos que se emplean para la determinación precisa del ROV y de los sensores de medición, los tipos de embarcaciones, etc.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los materiales y métodos principales para este trabajo son los siguientes:

- Materiales, documentos técnicos y procedimientos empleados durante los trabajos de adquisición del Proyecto Sísmico Marino 2D de Alta Resolución.
- Procedimiento general para los estudios de sitio en la exploración de petróleo offshore.
- Resultados de la búsqueda de información de acuerdo a los estándares internacionales.
- **Materiales, documentos técnicos y procedimientos empleados durante los trabajos de adquisición del Proyecto Sísmico Marino 2D de Alta Resolución.**

Para este trabajo se emplearon los diferentes documentos y procedimientos empleados en las etapas de investigación de acuerdo a las condiciones batimétricas, especificaciones técnicas y capacidades operacionales. Dentro de estos materiales se encuentran:

- Los procedimientos empleados durante las operaciones a bordo.
- Los manuales de operación de las tecnologías empleadas.
- Los procedimientos de calibración de los sistemas de posicionamiento.



Los trabajos de adquisición del Proyecto Sísmico 2D de Alta Resolución se refieren a la adquisición, procesamiento e interpretación de los Km lineales ejecutados de geofísica superficial, sísmica 2D y Piston Corer en las aguas profundas de la ZEE con la finalidad de determinar riesgos potenciales para las actividades de perforación en las ubicaciones propuestas. Los trabajos fueron adquiridos de acuerdo a las condiciones batimétricas, las especificaciones técnicas y capacidades operacionales de los equipos, en 4 fases de investigación: Una primera que comprendió el estudio de del área de manera regional. Se adquirieron datos con ecosonda multihaz y el sonar de barrido lateral. Una segunda con un estudio más detallado de las zonas de interés, la adquisición con multihaz, el sonar de barrido lateral y el perfilador de fondo, con líneas separadas unas de otras 50 m y líneas de control cada 100 m. Una tercera con el objetivo de estudiar los riesgos geológicos de las zonas de interés alrededor de las localizaciones propuestas. Se adquirieron datos de sísmica 2D multicanal de altas resoluciones separadas unas de otras 100m con líneas de control cada 400m y una cuarta fase de estudio que comprendió la etapa de toma de muestras del fondo marino con Piston Corer.

- **Procedimiento general para los estudios de sitio en la exploración de petróleo offshore**

El procedimiento general para los estudios de sitio en la exploración de petróleo offshore de Cuba es un documento confeccionado por GeoEM en el que se destacan los objetivos de las investigaciones de sitio, el alcance, área, líneas del levantamiento, secuencia del programa de investigación, complejo de métodos y tipos de datos requeridos en las investigaciones de sitio (investigaciones geofísicas e hidrográficas, oceanográficas y geotécnicas, entre otros requerimientos necesarios en este tipo de investigación en la ZEE de Cuba, así como los reportes análisis de los riesgos.

- **Resultados de la búsqueda de información de acuerdo a los estándares internacionales.**

En la búsqueda de información de acuerdo a los estándares internacionales, entre los más importantes se encuentran los documentos guías de asociaciones internacionales como la asociación internacional de productores de gas y petróleo (cuyas siglas son IOGP) y la sociedad internacional de ingeniería geotécnica y mecánica de suelos.

## **RESULTADOS**

Existe una amplia variedad de técnicas y equipamientos estándar para los estudios de sitio, estas técnicas varían de acuerdo al alcance y tipo de estudio, profundidad de agua, etc. De forma general se deben emplear y garantizar los siguientes:

- Investigaciones geofísicas e hidrográficas
  - Posicionamiento
  - Batimetría.
  - Sonar de Barrido Lateral.
  - Perfiladores de subfondo.
  - Magnetómetros y gradiómetros.
  - Sísmica de alta resolución multicanal 2D.
- Investigaciones geotécnicas

En un estudio de sitio las investigaciones geofísicas y geotécnicas se deberán planificar como partes integradas de la misma investigación.

El posicionamiento de la embarcación se basará en los sistemas de navegación satelital global (GNSS). El equipamiento deberá contar con un sistema primario y otro secundario con la finalidad de garantizar la continuidad de las operaciones costa afuera. Para la determinación de la posición de los sensores, se utilizan los sistemas de posicionamiento acústico, por ejemplo: USBL, SBL, etc. Estos sistemas adecuadamente calibrados deberán alcanzar una precisión en la posición relativa mayor que





el 1% del rango inclinado desde el transductor del barco hasta el transponder en el sensor de arrastre. Para estos tipos de estudios en aguas profundas son empleados los sistemas de posicionamiento de alta precisión.

Un sistema de navegación será imprescindible para registrar simultáneamente la ruta de la embarcación y servir de interface con los sistemas de posicionamiento periféricos, permitiendo además introducir los diferentes Offset y equipamientos. Los Sistema de navegación deben ser que tengan la posibilidad de hacer cálculos geodésicos y cartográficos, conversión en tiempo real de los datos adquiridos en WGS 84 en el Datum de Proyecto, creación de las rutas, control de calidad en tiempo real de los datos de entrada, visualización en pantallas múltiples, visualización de otros medios (Barcos, Remolcadores, ROV, AUV) en tiempo real, etc., etc.

En aguas profundas los ROV constituyen la plataforma de remolque para los diferentes sensores empleados: Sonar de barrido lateral, Perfilador de subfondo y Ecosonda multihaz. Pero además de estos sensores se requiere de otros equipos y periféricos necesarios para la precisión de la posición de los sensores montados sobre ROV como son:

- Sistema de posicionamiento inercial (PHINS)
- Sensores de movimiento
- DVL
- Sensores de profundidad
- Sensores de presión
- Sensor de altitud
- Velocidad del sonido

Además del sistema de posicionamiento subacuático, sistema de posicionamiento global de alta precisión en superficie, sistemas de navegación, sistemas de posicionamiento dinámico en la embarcación, etc.



**Figura 4 Fotos tomadas al ROV en diferentes momentos durante los trabajos de aguas profundas de la ZEE de Cuba. A la izquierda el ROV con TMS y a la derecha sin TMS.**

El posicionamiento del ROV se garantiza mediante los beacon fijados sobre el ROV que emplea el sistema USBL conectado vía umbilical y para una mayor precisión en el posicionamiento se emplea el sistema de posicionamiento inercial PHINS. El DVL forma parte de los instrumentos de navegación del



ROV, permite determinar las velocidades del ROV una vez que ha sido alineado a los ejes del ROV. El objetivo es integrar las mediciones del DVL con las posiciones USBL en una solución de filtro Kalman (PHINS) para dar posiciones menos ruidosas.



Figura 5 Fotos que muestran los sensores de Sonar de Barrido Lateral, Perfilador de Subfondo y Ecosonda Multihaz sobre ROV (Archivo personal, tomadas durante las operaciones a bordo del proyecto sísmico de alta resolución en aguas profundas de la ZEE de Cuba).

- **Navegación con sistemas de navegación inercial (PHINS)**

El PHINS (**Photonic Inertial Navigation System**) es un sistema de navegación inercial fotónico que proporciona mediciones precisas de la posición en 3d: latitud, longitud y profundidad, heave, altitud en los 3 ejes: heading, roll y el pitch, velocidades, etc. Para el caso de una aplicación subacuática el PHINS se ubica sobre el ROV y es el centro de las mediciones, constituye el corazón de las mediciones (Figuras 6).

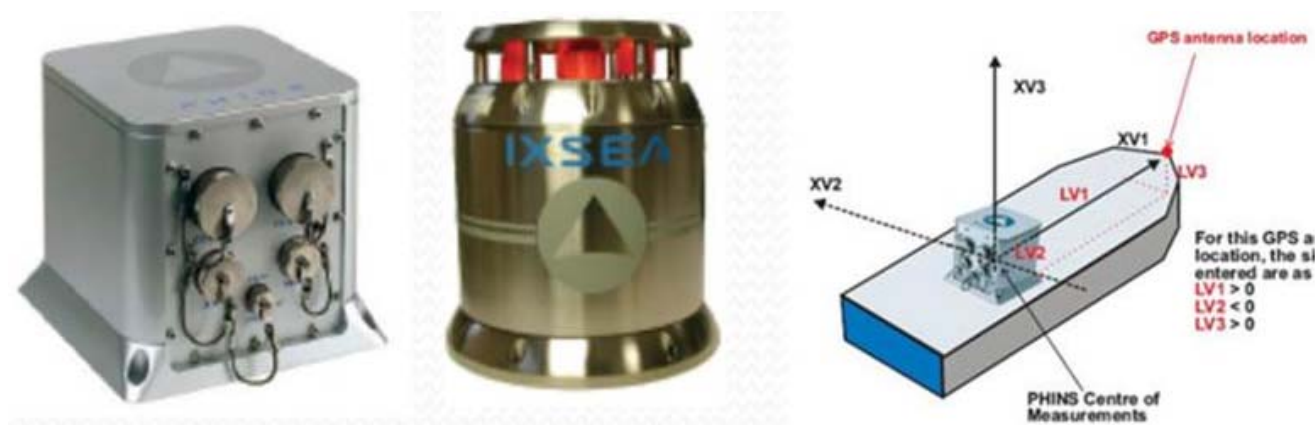


Figura 6 Tipos de PHINS, a la izquierda el empleado en embarcaciones, al centro el Phins empleado en vehículos como ROV, más resistentes.



- **Navegación con sensor DVL**

DVL (Doppler Velocity Log) es un sensor Doppler muy sensible a la temperatura, 3 veces menos sensible a la salinidad, y no sensible a la profundidad. El Phins puede mejorar sus estimados de posición y velocidad y le permiten manejar interrupciones de GPS.



Figura 7 Sensor DVL utilizado con el PHINS en el ROV.

- **Navegación con USBL**

El Phins utiliza los datos USBL (Ultra Short Base Line) para mejorar sus estimados de posición. Existen diversos tipos de posicionamiento subacuático. El tipo de sistema de posicionamiento subacuático depende del tipo de estudio a realizar. En la Figura 8 se muestra un esquema del sistema de posicionamiento subacuático USBL que calcula la posición de un objeto o vehículo a partir de la medición del rango y el azimut de un transponder con respecto a la embarcación.

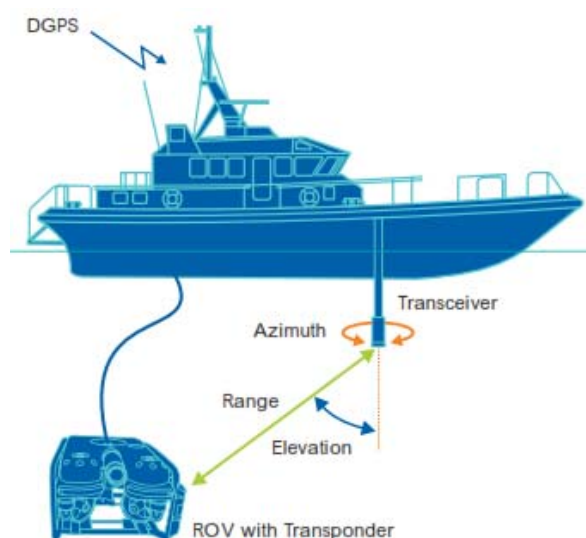


Figura 8 Esquema de un sistema de posicionamiento subacuático USBL (Tomado de Sonardyne sound in depth Coastal Systems Product Guide Underwater Positioning, Navigation and Control Systems).

- **Navegación con sensor de profundidad**

El Phins utiliza los datos del sensor de profundidad para estimar sus altitudes.

- **Navegación con sensor de movimiento**

Los sensores de movimiento son sensores que miden altitudes (heading, pitch, roll), rangos angulares y aceleraciones, en algunos casos desplazamiento vertical (Heave). Básicamente son girocompás con funcionalidades adicionales.





## • Sistema NEXUS

Estos sistemas se emplean para transmitir datos relevantes desde sistemas sonares multibeam instalados o fijados en sistemas de sondeo ROV o ROTV. El sistema puede también ser utilizado en otras aplicaciones donde se requiera transferir un número de canales en tiempo real entre un sistema subacuático y una unidad en la superficie.

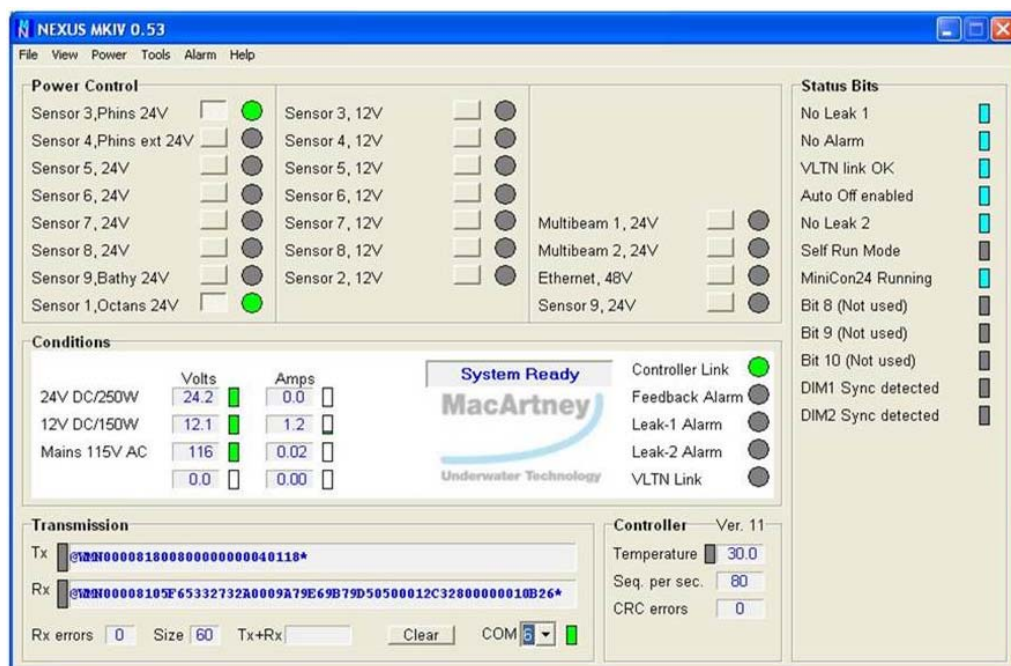


Figura 8 Display o pantalla de control del sistema a bordo.

En los estudio de sitio se requerirá la corrección de cada una de las técnicas empleadas, la calibración por velocidad del sonido, las calibraciones estáticas y dinámicas de los sistemas de sensores de navegación, la calibración dinámica del sistema de posicionamiento acústico empleado, etc.

## • Embarcación

La embarcación a utilizar deberá estar equipada y preparada para los diferentes servicios de adquisición. Deberá contar con sistemas de posicionamiento dinámico. En el caso de la adquisición sísmica la embarcación deberá tener las condiciones para las operaciones con cámaras de aire (Air Guns), cables sísmicos (Streamer) con suficiente espacio para las maniobras en popa, sala de procesamiento de datos, etc. (Figura 9).

El barco sísmico o de investigación contará con equipos de navegación de la más alta tecnología. El puente de mando contará con un sistema de navegación electrónica, radar, ecosonda, giroscopio, GPS diferencial, entre otros. Así también, contará con una potencia adecuada para este tipo de trabajo (caballos de fuerza), motores auxiliares, generadores y alternadores, UPS, compresores de aire, etc. Las embarcaciones contarán con equipos de comunicaciones, teléfonos satelitales y radios de alta frecuencia, así como radio faro de emergencia y radio (VHF) para el bote salvavidas. Adicionalmente, debe contar con equipos similares a los requeridos por el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima, (GMDSS





- *Global Maritime Distress and Safety System*). La embarcación de apoyo al levantamiento sísmico multicanal es de menor calado y capacidad; sin embargo, podrá navegar a mayor velocidad.

La embarcación debe contar con condiciones para las operaciones durante la adquisición sísmica con cámaras de aire (Air Guns), cables sísmicos (Streamer), sala de procesamiento de datos, etc. Para el caso del ROV, debe contar con winche para el manejo del cable umbilical del ROV, con espacio para la unidad de alimentación hidráulica y del panel control del winche del ROV, además de la cabina de control del ROV (Figura 11).

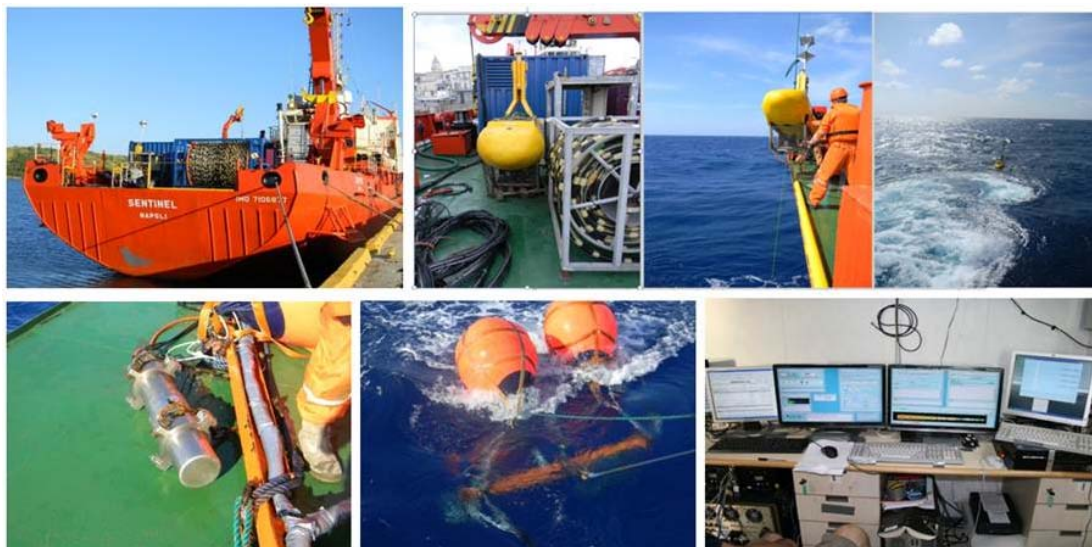


Figura 9 Fotos tomadas durante las operaciones marinas del proyecto sísmico de aguas profundas.



Figura 10 Fotos que muestran las operaciones de muestreo con piston corer en aguas profundas.





**Figura 11 Fotos que muestran las dimensiones de los sistemas de izaje del ROV, la cabina de control y winche para el manejo del cable umbilical del ROV.**

## CONCLUSIONES

- El presente trabajo cumple con el objetivo propuesto de mostrar cómo se realizan estos estudios en aguas profundas a partir de las experiencias adquiridas durante los trabajos de adquisición en la ZEE de Cuba y otras fuentes de información.
- Muestra las tecnologías necesarias, los tipos de posicionamiento que se emplean para la determinación precisa del ROV y de los sensores de medición, el tipo de embarcación para las operaciones, etc.
- Aun cuando el tema es amplio y el desarrollo tecnológico es muy elevado, permite obtener una visión de los requerimientos mínimos indispensables y estándares internacionales para los estudios de sitio.
- Hasta el presente, los estudios de sitio en aguas profundas se han realizado por parte de entidades extranjeras con alguna participación cubana. Para la realización de estos estudios será necesario realizar un detallado estudio de factibilidad económica que permita determinar el costo beneficio de realizar estas investigaciones en las aguas profundas de la ZEE.

## BIBLIOGRAFIA

- GEOHYDRA Consultores C.A. Caracas Venezuela. Experiencias en Exploración Geotécnica Costa Afuera en Venezuela.
- Geotechnical & geophysical investigations for offshore and nearshore developments. International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Technical Committee 1, September 2005.
- Handbook of offshore surveying / by Huibert-Jan Lekkerkerk, R. van der Velden, T. Haycocke.a International Centre for Geohazard. 2010. Offshore Geohazard.
- OGP Guidelines for the conduct of offshore drilling hazard site surveys, 2011.
- OTC 24085, 2013. An expert panel review of geotechnical site investigation and current industry state of practice. Houston, Texas, USA, 6–9 May 2013.
- Lucero, M., Espinosa, J. 2011. LOS ESTUDIOS AMBIENTALES Y LA EXPLORACIÓN SÍSMICA EN EL MAR TERRITORIAL ECUATORIANO (ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO. VOL.16 No.1, 2011).
- SCAN GEOPHYSICAL ASA, 2009.- *Especificaciones técnicas de los trabajos de Prospección Sísmica 2D*. 2009.