

**ARMADA ARGENTINA
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR**



**CAPACITACIÓN EN
HIDROGRAFÍA Y OCEANOGRAFÍA**

TRABAJO FINAL INTEGRADOR (TFI)

**“Principio de funcionamiento y aplicaciones
del sistema combinado de barrido lateral
EdgeTech”**

Autor: TFCDNA Dn. Pablo Ariel TOLEDO

Tutor: CFCPIN Dn. Aldo FIRPO

Fecha de presentación: 27/11/18

ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR



ÍNDICE GENERAL

	Página
INTRODUCCIÓN.....	01
Capítulo 01 SONDA MULTIHAZ	
Principio de funcionamiento.....	03
Arreglo de proyectores.....	03
Arreglo lineal de hidrófonos y direccionabilidad.....	06
Capítulo 02 RETRODISPERSIÓN	
Retrodispersión.....	12
Capítulo 03 PHASE DIFFERENCING BATHYMETRIC SONAR	
Phase differencing bathymetric sonar.....	15
Capítulo 04 SONARES CHIRP	
Sonares chirp.....	18
Capítulo 05 SIDE SCAN SONAR	
Side scan sonar (SSS).....	20
Capítulo 06 SONAR BATIMÉTRICO COMBINADO 6205 EDGETECH	
Sonar batimétrico combinado 6205 EdgeTech.....	24
CONCLUSIONES.....	35

ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

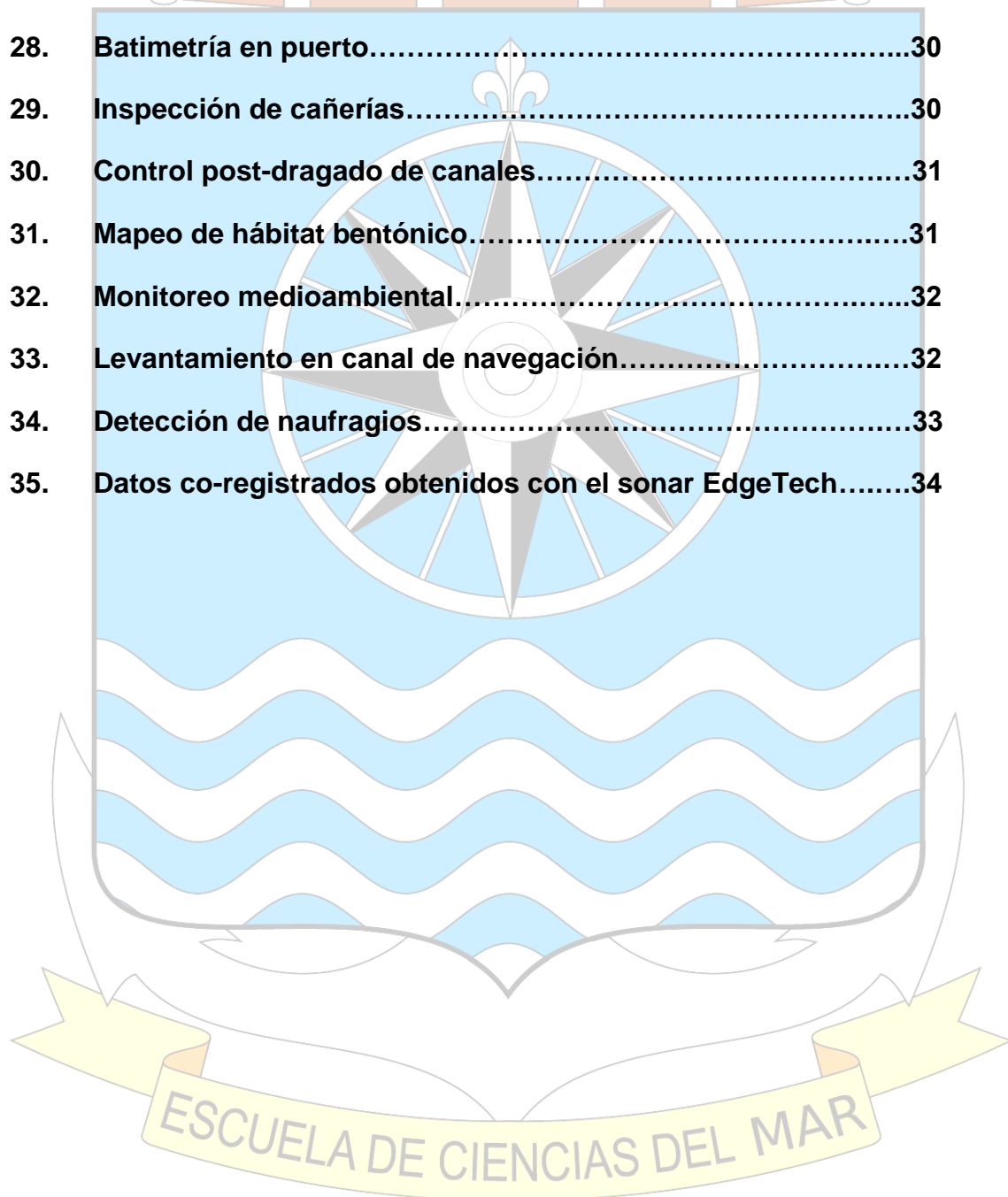


ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
01. Fuentes de ondas isotrópicas.....	01
02. Directividad de arreglo de proyectores.....	05
03. Frentes de onda de un arreglo transductor.....	06
04. Arreglo de tres hidrófonos con una fuente de dirección θ	07
05. Arreglo de transductores e hidrófonos sin direccionamiento..	09
06. Arreglo de transductores e hidrófonos con direccionamiento.	10
07. Retrodispersión en dependencia de ángulo y rugosidad.....	13
08. Mosaico de retrodispersión.....	14
09. Arreglo transductor típico de un PDBS.....	15
10. Vista frontal de la emisión de los haces de un PDBS.....	15
11. Medición por diferencia de fase.....	16
12. Densidad de datos en PDBS EDGE TECH.....	17
13. Pulso acústico de sonar común.....	18
14. Modulación de la frecuencia en sonares CHIRP.....	19
15. Múltiples pings o pulsos de un Sonar de Barrido Lateral de una banda.....	20
16. Cobertura horizontal y vertical del SSS.....	20
17. Tow fish remolcado emitiendo haces hacia ambas bandas. Display de los ecos obtenidos por los receptores.....	21
18. Display de un SSS en gabinete.....	21
19. Geometría del sonar de barrido lateral.....	22
20. Imagen de SSS (izq.), batimetría co-registrada del fondo Marino.....	24
21. Cobertura de 6205 EdgeTech. Cobertura de interferómetro.....	25
22. Cabezal del sonar. Esquema de transductor.....	25



	Página
23. Diagrama de código de colores de transductor.....	26
24. Componentes del cabezal del sonar.....	27
25. Rack fijo. Rack transportable.....	27
26. Mosaico de sonar de barrido lateral. Mosaico de batimetría...	28
27. Comparación de anchos de barrido entre una ecosonda multihaz y el sistema 6205 de EdgeTech.....	29
28. Batimetría en puerto.....	30
29. Inspección de cañerías.....	30
30. Control post-dragado de canales.....	31
31. Mapeo de hábitat bentónico.....	31
32. Monitoreo medioambiental.....	32
33. Levantamiento en canal de navegación.....	32
34. Detección de naufragios.....	33
35. Datos co-registrados obtenidos con el sonar EdgeTech.....	34





INTRODUCCIÓN

Un conocimiento detallado de la batimetría en aguas de baja profundidad es vital para una amplia gama de actividades marinas. Se realizan inspecciones para canales de navegación, control de obras de dragado, tuberías y cables, cartografía y arqueología marina, las cuales se llevan a cabo con pequeñas embarcaciones, que a menudo operan en menos de 20 m de profundidad, donde el calado y la maniobrabilidad del buque permiten operaciones seguras alrededor de las costas. Este tipo de embarcación requiere de un sonar compacto que puede montarse en un poste e interconectarse con una variedad de sensores auxiliares de posición, rumbo y movimiento.

Con la utilización de la tecnología acústica en el campo, debido a que las ondas electromagnéticas tienen un gran problema de propagación en el medio acuoso, la ecosonda monohaz fue la herramienta elegida, que todavía está en uso en la actualidad. Luego de eso, y más común en la actualidad, la ecosonda multihaz (MBES), originalmente desarrollada para estudios de aguas más profundas, se ha utilizado en este rol. Si bien los sistemas MBES tienen una cobertura mayor que la ecosonda monohaz, los sistemas MBES aún tienen una apertura limitada del haz, que se reduce a medida que la profundidad es menor. Esto requiere que la embarcación pase más tiempo en estas áreas menos profundas con líneas de batimetría cada vez más juntas para garantizar toda la cobertura de la zona. A su vez se vuelve más compleja la navegación debido a que las zonas donde los bancos aumentan repentinamente ponen en riesgo la seguridad de la navegación. Viendo estos problemas, se utilizó una tecnología de sonar alternativa de diferenciación de fase (PDBS o interferómetro), en el mismo entorno. El PDBS utiliza varios arreglos de barrido lateral en paralelo para determinar el ángulo de llegada del eco, mientras que al mismo tiempo recoge datos verdaderos del escaneo lateral digital, produciendo un campo de visión y un ancho de barrido más amplio, que se mantuvo en aguas menos profundas. Sin embargo, este sistema es muy vulnerable al ruido del mar, la reverberación y la propagación por trayectos



INTRODUCCIÓN

múltiples, además sufre un amplio espacio sin datos en el nadir, a veces de varios metros.

Las limitaciones de las MBES y PDBS llevaron al desarrollo de una nueva tecnología llamada MPES (MultiPhase EcoSounder) manteniendo las capacidades de barrido e imágenes de alta resolución, reduciendo el ruido de mar, reverberaciones, propagaciones por trayectos múltiples y eliminando la brecha del nadir sin datos.

En el presente trabajo se analizarán el principio de funcionamiento y las aplicaciones de una nueva tecnología aplicada en la marca EdgeTech modelo 6205 dentro del ámbito subacuático basándome en la información recopilada por la empresa EdgeTech, el taller práctico de adquisición y procesamiento de datos dado por la empresa KONGSBERG, seminarios efectuados por comisiones hidrográficas y la información disponible en las publicaciones de la Organización Hidrográfica Internacional, mostrando sus diferentes presentaciones dentro del mercado y sus limitaciones.



SONDA MULTHAZ

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La sonda multihaz es un instrumento que puede llevar a cabo el levantamiento de una zona del fondo del mar con pulsos emitidos por un arreglo de transductores y permitiendo el levantamiento de una franja de puntos perpendicular a la dirección de avance de la embarcación mediante un arreglo de hidrófonos, con una resolución mejor a la de la sonda monohaz.

Las sondas multihaz pueden levantar cada franja del fondo en un tiempo que tarda en regresar el eco del punto más alejado de cada barrido.

El grupo de proyectores llamado arreglo de proyectores y el grupo de hidrófonos llamado arreglo de hidrófonos pueden ser utilizados para transmitir un haz angosto y recibir un eco en forma de haz. Este proceso se conoce como el de formación de haz. Estos haces angostos pueden ser captados a ángulos predeterminados utilizando un proceso de "direccionalidad" mediante un arreglo de hidrófonos. Ambos arreglos trabajan sincronizados, instalados en forma de cruz.

ARREGLO DE PROYECTORES (FORMADORES DE HACES)

Los grupos de fuentes isotrópicas llamadas arreglo de proyectores, pueden ser utilizados para la transmisión de ondas no isotrópicas u ondas sonoras cuya amplitud varíe en función de su ubicación angular (aunque se expandan en forma esférica) permitiendo la emisión de pulsos que tienen un cierto grado de directividad.

Los pulsos dirigidos pueden ser utilizados para ensonificar áreas específicas del fondo del mar causando ecos fuertes de esos puntos de interés.

Considerando que las ondas sonoras son ondas de presión, si dos proyectores cercanos están emitiendo señales idénticas expandidas isotrópicamente, separadas a una distancia d (que generalmente es la mitad de la longitud de onda), sus respectivas ondas se superpondrán e interferirán una con otra como se observa en la figura 01, donde en los lugares donde hay una "x" se producirá una interferencia constructiva, y en las zonas con puntos una interferencia destructiva (cancelándose ambas ondas).

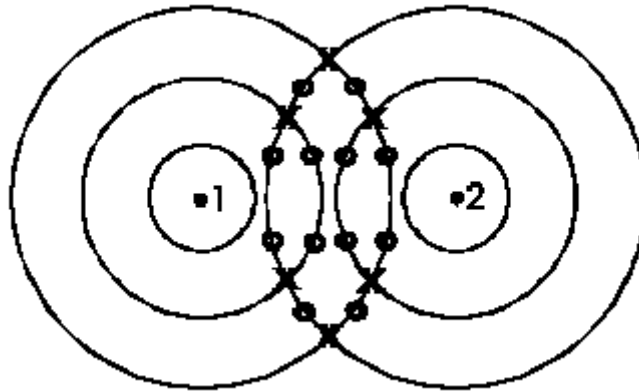


Fig. 01 “Fuentes de ondas isotrópicas”
(<http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHea0e.dir/doc.pdf> “Las limitaciones de la sonda monohaz y las ventajas de la multihaz”)

En general las interferencias constructivas se producen en los puntos cuyas distancias a ambos proyectores es la misma o cuando la diferencia entre ambas es igual a un número entero de longitudes de onda.

La interferencia destructiva se produce en los lugares donde la diferencia entre las distancias a ambos proyectores es igual a media longitud de onda o un número impar de medias longitudes de onda.

Con lo que se dijo antes sobre la interferencia constructiva, si se coloca un punto en la línea de bisectriz del segmento que une a ambos hidrófonos, en cualquier posición se encontrará equidistante de ambos, por lo tanto en todos estos lugares habrá este tipo de interferencia.

De esta manera, el arreglo de dos transmisores emitirá la energía máxima en las direcciones $\theta = 0^\circ$ y 180° y en las direcciones $\theta = 090^\circ$ y 270° la emisión quedará anulada.

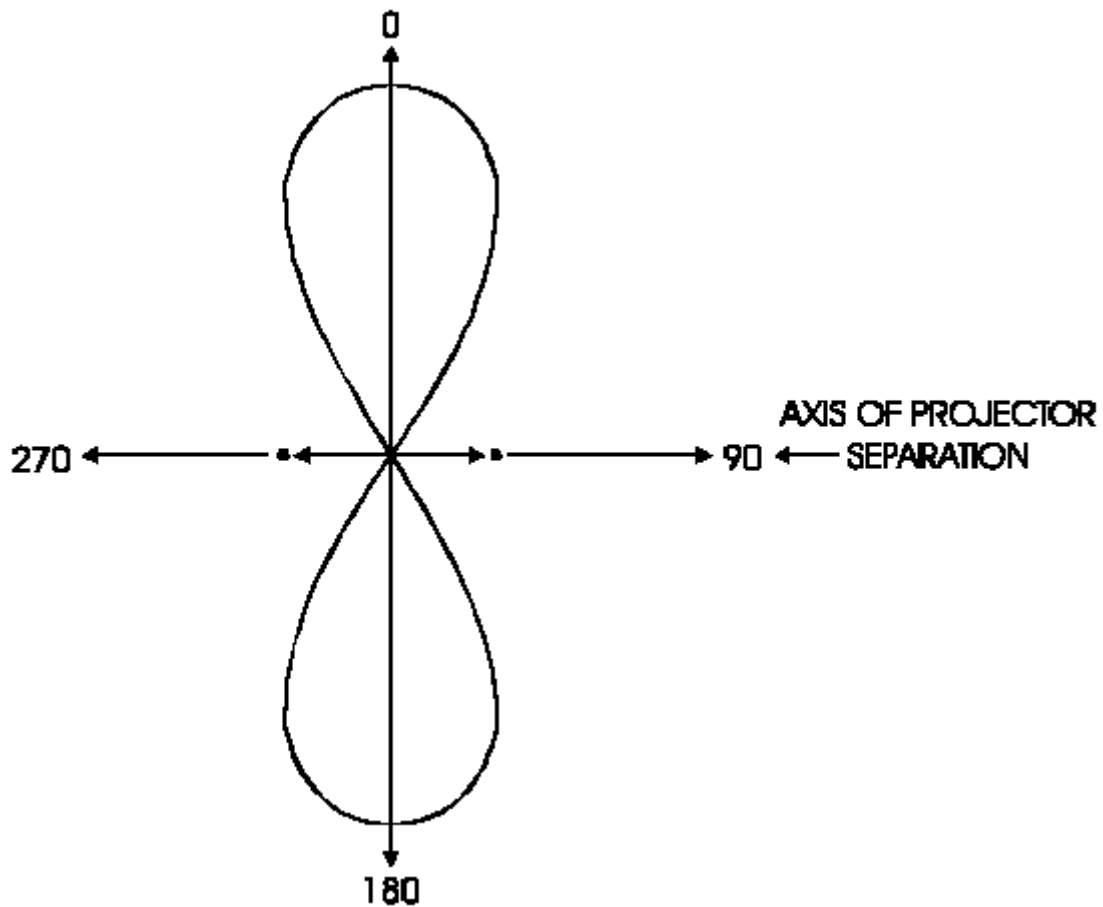


Fig. 02 “Directividad de arreglo de proyectores”
(<http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHea0e.dir/doc.pdf> “Las limitaciones de la sonda monohaz y las ventajas de la multihaz”)

Este gráfico, conocido como configuración de haz, configuración del arreglo o configuración de potencia, muestra claramente que el grueso de la energía emitida por el arreglo de los dos proyectores se propaga perpendicularmente al eje de separación de los proyectores y que le da una "directividad".

Si colocamos un hidrófono en un punto donde se produce una interferencia constructiva, la amplitud de la onda resultante tendrá una amplitud mayor de la emitida por cada uno de los proyectores, en cambio si lo colocamos en un punto



donde se produce la interferencia destructiva, la intensidad de la onda resultante será nula.

En la construcción de arreglos de transductores para sondas multihaz tienen más de dos elementos que se denomina arreglo lineal. Alargar este arreglo del sistema de proyección, trae como consecuencia afinar el lóbulo principal del haz que se proyecta en sentido perpendicular de la dimensión que se alargue el arreglo. Si se desea un sistema sonar de alta resolución es necesario un haz fino, aunque a ambos lados del lóbulo principal se forman una serie de lóbulos laterales donde también tienen lugar interferencias constructivas parciales, que tienen la desventaja no solamente de dispersar la energía del proyector en otras direcciones sino que los ecos provenientes de ellos no pueden ser identificados confundiéndolos con los provenientes del lóbulo principal, generando de esta forma interferencias al realizar las mediciones de batimetría.

Éstos lóbulos son imposibles de evitar, aunque se los puede disminuir utilizando una técnica de sombreado que es la de aumentar la potencia de los transductores centrales y disminuyendo la de los laterales, aunque una contra que aparece es la que produce en ensanchamiento del lóbulo principal.

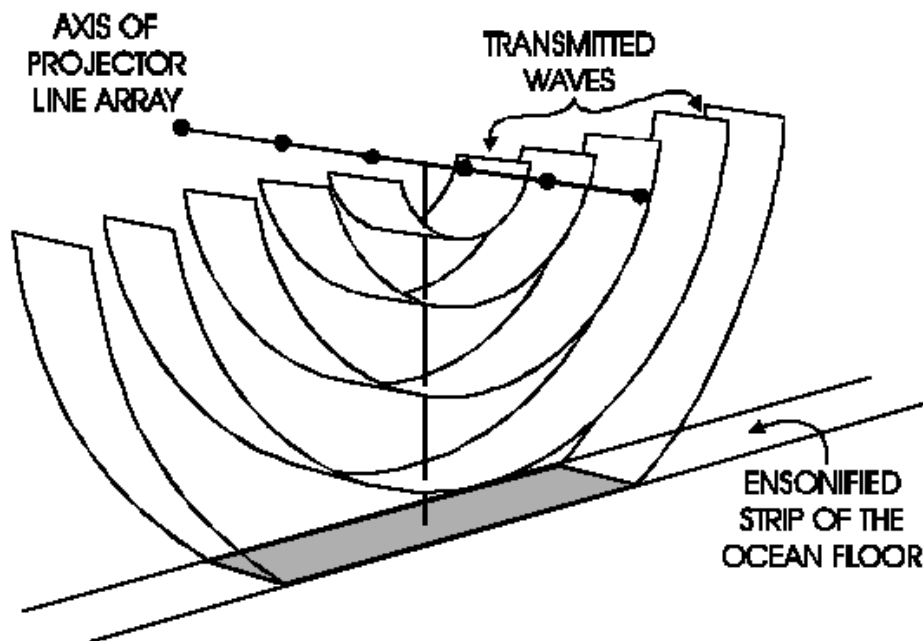




Fig. 03 “Frentes de onda de un arreglo transductor”
(<http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHea0e.dir/doc.pdf> “Las limitaciones de la sonda monohaz y las ventajas de la multihaz”.)

ARREGLO LINEAL DE HIDRÓFONOS Y DIRECCIONABILIDAD

Ya se explicó en los párrafos anteriores como un arreglo lineal de transductores puede generar un haz angosto para ensonificar el fondo de mar a fin de recibir los ecos producidos por la reflexión. Los hidrófonos pueden distribuirse de igual forma que los proyectores, donde éstos últimos se utilizan para emitir un haz fino y los primeros para recibir los ecos producidos de la reflexión en el fondo del mar.

En estos casos se produce un principio de reciprocidad, ya que el arreglo de hidrófonos sigue las mismas reglas que el arreglo de transductores en cuanto al diagrama del haz, lóbulo principal, lóbulos laterales, ejes, sombreado y disminución del ancho del haz a medida que se aumenta la cantidad de hidrófonos en el arreglo.

Por otro lado un arreglo de este tipo se puede modificar para que reciba preferentemente sonidos provenientes desde un número cualquiera de direcciones, esta técnica se llama de haz dirigido.

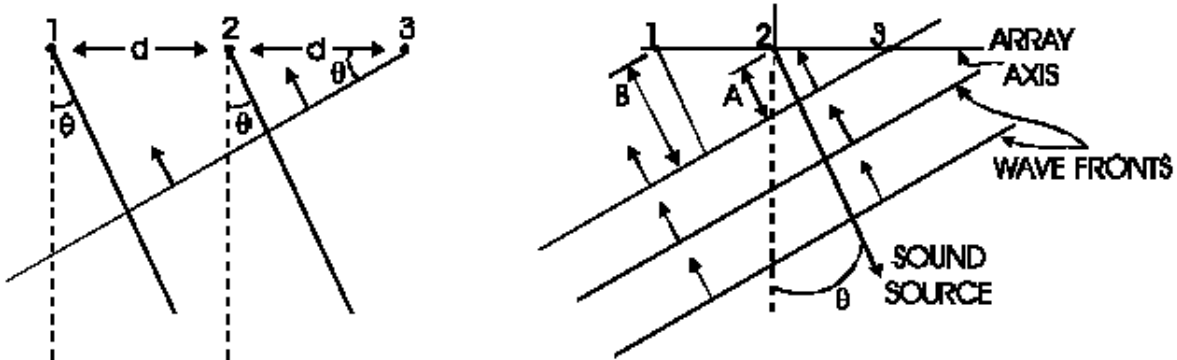


Fig. 04 “Arreglo de tres hidrófonos con una fuente de dirección θ ”
(<http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHea0e.dir/doc.pdf> “Las limitaciones de la sonda monohaz y las ventajas de la multihaz”.)

Consideraremos un arreglo lineal de receptores que reciben de una fuente angulada un valor arbitrario θ con respecto a la normal al arreglo.



CAPÍTULO 01 – SONDA MULTHAZ

El sonido proveniente de la fuente que se encuentra en la dirección θ arribará a los hidrófonos en diferentes tiempos, o sea, fuera de fase, produciéndose en este caso una interferencia destructiva, la razón de esto es que el frente de onda de sonido debe recorrer diferentes distancias (A y B) para llegar a los hidrófonos, que depende de la distancia de separación de los mismos, en el caso de la fig. 04, entonces:

$$A = d \cdot \text{sen } \theta \quad \text{y} \quad B = 2d \cdot \text{sen } \theta$$

Entonces como el tiempo en llegar a cada hidrófono, luego del arribo al primer, dependen de la velocidad del sonido en el agua (c) y de las distancias "A" y "B" queda:

$$T_2 \text{ (al hidrófono 2)} = A/c = (d \cdot \text{sen } \theta)/c$$

$$T_1 \text{ (al hidrófono 1)} = B/c = (2d \cdot \text{sen } \theta)/c$$

De modo que conociendo esta diferencia de tiempo de arribo de la onda se puede inducir al arreglo de hidrófonos para que tenga su máximo de sensibilidad a las señales provenientes desde la dirección que uno desee por la suma de las lecturas individuales de cada hidrófono levemente retrasadas en tiempo de manera que el frente de onda presente una interferencia constructiva y produciendo un "angulamiento" del lóbulo principal, realizándolo sin efectuar modificaciones constructivas del mismo, únicamente alterando la forma de interpretar la información que recibe, creando una serie de arreglos hidrofónicos virtuales cada uno sensible a un ángulo diferente.

Como el objetivo es determinar la posición precisa de los puntos de donde provienen los ecos, el arreglo de hidrófonos y el de proyectores se instalan en direcciones normales, la franja ensonificada en el fondo del mar coincidirá en una pequeña área cuyas dimensiones corresponden aproximadamente al ancho de haz del proyector y el hidrófono. La única zona del fondo que al mismo tiempo ensonificada por el arreglo de los transductores y observada por el arreglo de hidrófonos, es aquella en la cual se superponen ambos haces.

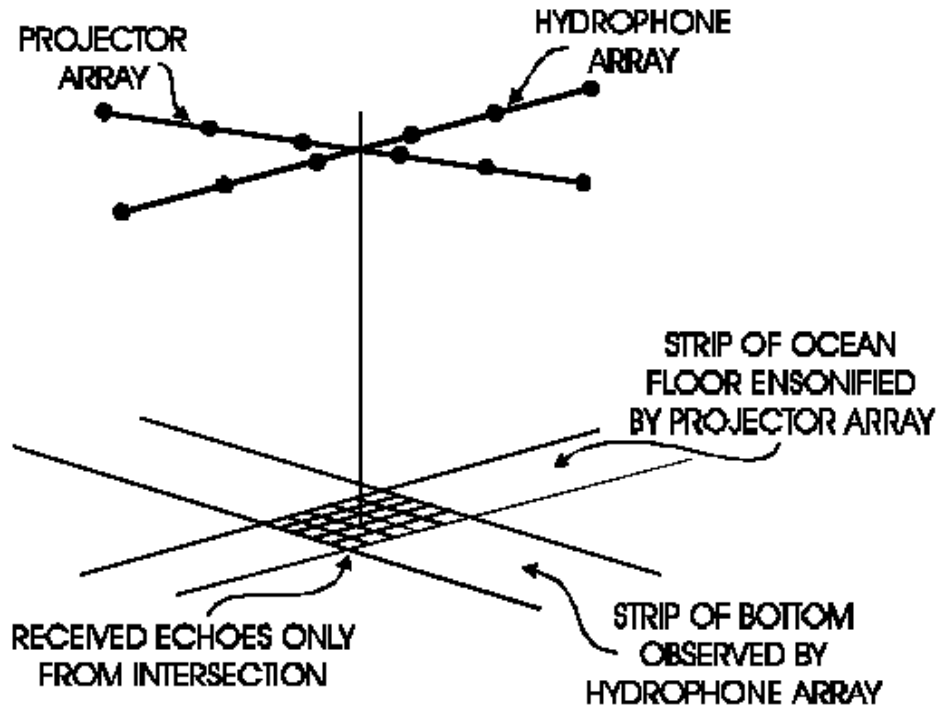


Fig. 05 “Arreglo de transductores e hidrófonos sin direccionamiento” (<http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHea0e.dir/doc.pdf> “Las limitaciones de la sonda monohaz y las ventajas de la multihaz”).

Pero como los haces dirigidos observan los ecos generados desde múltiples ángulos generados en el arreglo hidrofónico "virtualmente", los diferentes ángulos permiten observar franjas paralelas del fondo las cuales, utilizando el sistema de “aspas cruzadas” intersectan la zona ensonificada en una serie de áreas pequeñas tal como se muestra en la figura 06.

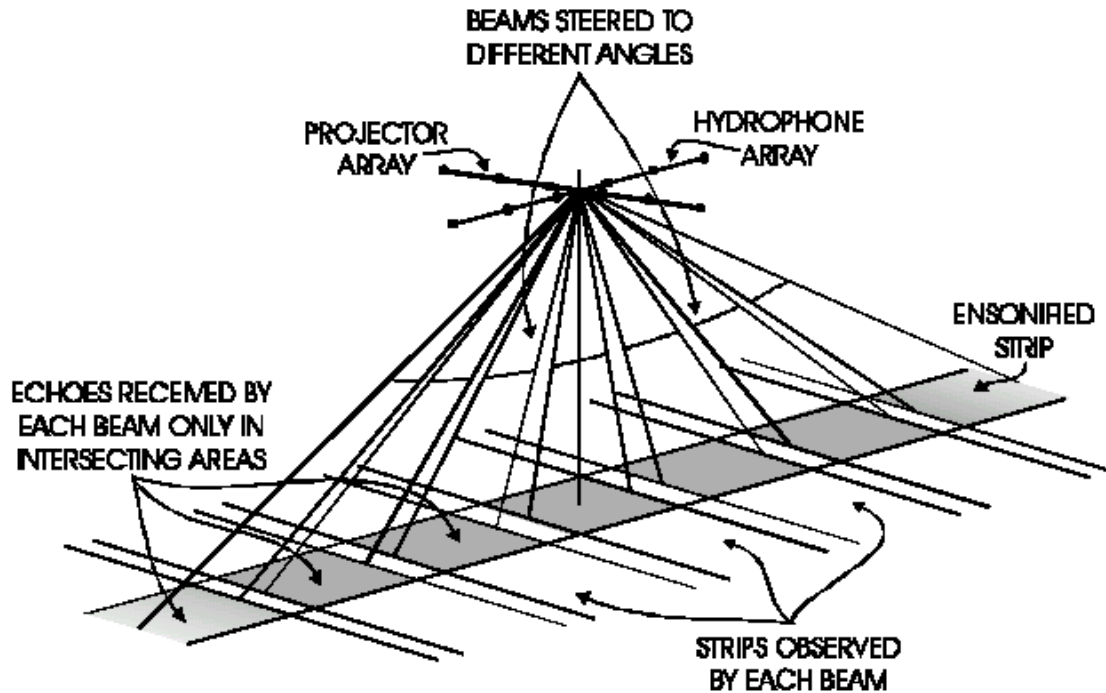


Fig. 06 “Arreglo de transductores e hidrófonos con direccionamiento” (<http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHea0e.dir/doc.pdf> “Las limitaciones de la sonda monohaz y las ventajas de la multihaz”).)

Estos elementos combinados con la obtención de la posición mediante un sistema GNSS (Global Navigation Satellite System), un corrector diferencial, una Unidad de Medición Inercial (IMU “Inertial Measurement Unit”) y aplicando las correcciones por el perfil de velocidad del sonido en el agua (ya que los haces interactúan constantemente con toda la columna de agua), son procesados por medio de un software, el cual les da a cada sondaje obtenido, una posición.

Como aspecto fundamental sobre la sonda multihaz, podemos decir que se obtiene mediante la transmisión de un haz estrecho a lo largo de la línea de batimetría y ancha por el través de la misma, siendo recibidos los ecos del fondo por haces que están direccionados electrónicamente, dando como resultado una cobertura del 100% del fondo marino, con una “pisada” o “ancho de barrido” bastante amplio, siendo un factor positivo comparándola con una sonda monohaz, pero no es un caso favorable en aguas someras (para el caso de este trabajo),



CAPÍTULO 01 – SONDA MULTHAZ

donde la "pisada" se hace estrecha debido a las bajas profundidades de la zona, teniendo que acercarse demasiado a la costa o a los lugares de muy baja profundidad para obtener la cobertura completa del área, y poniendo en riesgo la seguridad náutica de la embarcación.



RETRODISPERSIÓN

Cualquier sistema sonar activo es construido con un principio común, transmitir un pulso acústico con una suficiente energía y recibir el eco reflejado del fondo marino. Cualquiera sea el tipo de fondo considerado, el eco recibido puede ser procesado desde dos puntos de vista.

Primero el tiempo que tarda en recibirse el eco da una medición de distancia entre el sonar y el fondo, junto con la información angular de la que proviene.

El segundo punto de vista es grabar el nivel de intensidad de la señal de retorno, obteniendo así mediante la reflectividad del fondo información sobre la naturaleza del mismo y alguna de sus características, permitiendo de esta forma distinguir sedimentos de diferentes tipo.

Pero no es un trabajo relativamente fácil como el de batimetría ya que es muy complejo estructuralmente - el eco recibido es una combinación de procesos acústicos y geofísicos, y lo observado en el display de la sonda deberían ser variaciones de retrodispersión (razón entre la energía acústica emitida y la recibida en los transductores) dependiente únicamente de las propiedades del tipo de fondo, por lo que se debe hacer compensaciones debido a que el pulso acústico es emitido y reflejado en diferentes direcciones con distancias diferentes que recorren y que también producen atenuación de la energía emitida en la columna de agua. La Fig. 01 puede dar noción de la rápida disminución de la retrodispersión a medida que los haces se transmiten fuera del nadir.

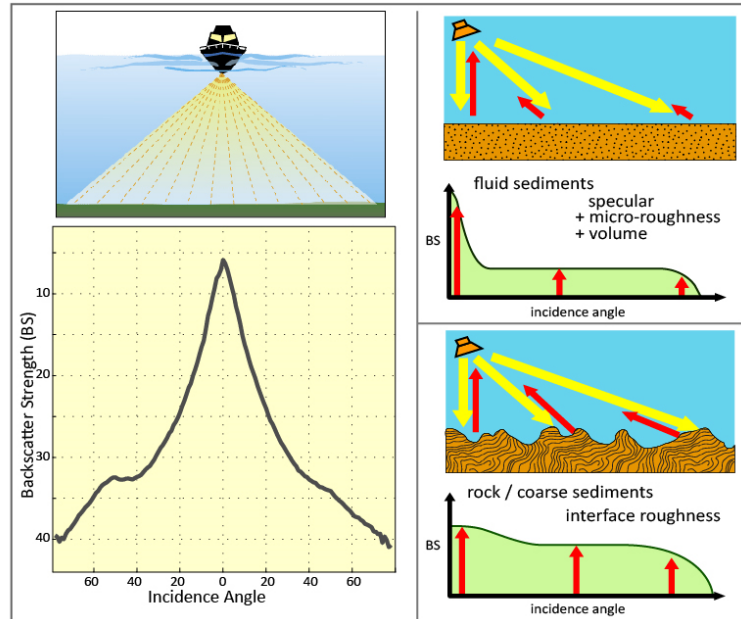


Fig.01 “Retrodispersión en dependencia de ángulo y rugosidad” (Procesamiento datos de retrodispersión CARIS HIPS and SIPS. Taller práctico sobre adquisición y procesamiento de datos batimétricos multihaz).

Los imágenes que muestran la distribución espacial de la intensidad de retrodispersión registrada por el escaneo lateral o sonares multihaz (MBES “Multi Beam Echo Sounder”) normalmente se presentan como mosaicos en formato digital. El análisis de estos mapas ayuda al hidrógrafo a sacar conclusiones sobre la dureza del fondo marino, la composición y textura del material. Observando zonas donde el mapa de backscatter es oscuro, significa que hay menor retrodispersión y se puede interpretar como zonas de material blando y con poca rugosidad, por el contrario en zonas donde hay más claridad, significa que hay mayor retrodispersión y el material en esa zona sería duro o con mayor rugosidad.



Fig. 02 “Mosaico de retrodispersión” (Procesamiento datos de retrodispersión CARIS HIPS and SIPS. Taller práctico sobre adquisición y procesamiento de datos batimétricos multihaz)

Para la construcción de estos mosaicos normalmente existen herramientas como el GEOCODER (actualmente implementado en varios software de procesamiento de datos multihaz) que realiza correcciones radiométricas en las intensidades de retrodispersión registradas por los sonares (para eliminar la adquisición de ganancia variable, niveles de energía, anchos de pulso, áreas de insonificación y ángulos de incidencia), para corregir geoméricamente (compensar la distorsión de la distancia oblicua, la navegación y la posición del transductor) y luego posicionar cada muestra acústica en una proyección. Por último se utilizan algoritmos para eliminar el "aliasing" y manchas para permitir el ensamblaje de mosaicos más pequeños conservando las características y de suavizado para la redundancia de datos en el solapado de dos líneas contiguas.

El backscatter acústico adquirido por los sonares entrega información importante sobre la morfología del fondo marino y las propiedades físicas, proporcionando datos valiosos para ayudar a la difícil tarea de caracterización de los fondos marinos, y la importante información auxiliar para un estudio de batimetría.



CAPÍTULO 03 – PHASE DIFFERENCING BATHYMETRIC SONAR (PDBS)

PHASE DIFFERENCING BATHYMETRIC SONAR (PDBS)

El sonar batimétrico por diferencia de fase (PDBS por sus siglas en inglés) es un sistema de barrido ancho, esencial para su uso en aguas someras debido a su gran cobertura, el cual tiene un arreglo de receptores con múltiples elementos que miden la diferencia de fase de los ecos recibidos.

Estructuralmente consiste en dos transductores montados en una plataforma en forma de “V”, y cada uno contiene múltiples componentes electrónicos en forma escalonada.

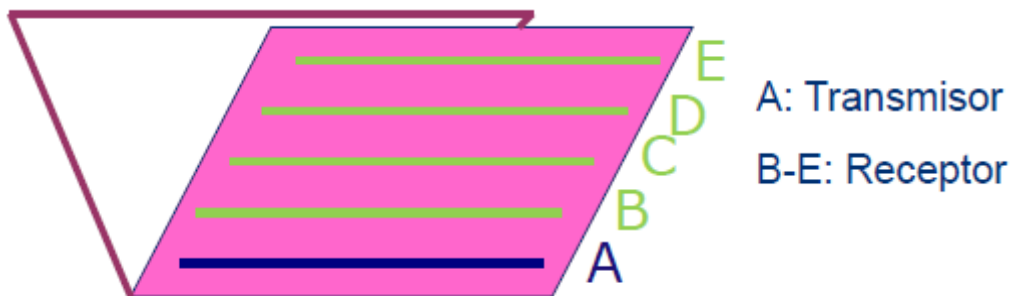
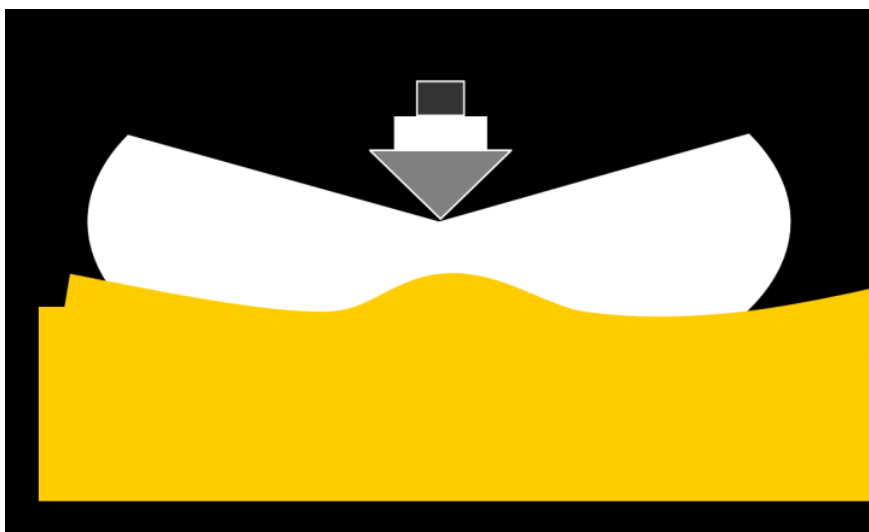


Fig. 01 “Arreglo transductor típico de un PDBS” (Seminario sobre ecosondas multihaz GeoSwath 4, Alexis P. Cárdenas, Kongsberg Maritime)

En la figura 01, el componente “A” es el elemento transmisor, que emitirá pulsos a una frecuencia determinada, se reflejará en fondo marino produciendo ecos, y los elementos “B”, “C”, “D” y “E” son los receptores múltiples, utilizando las diferencias de fase de la recepción de la señal acústica para medir el ángulo proveniente del eco.





CAPÍTULO 03 – PHASE DIFFERENCING BATHYMETRIC SONAR (PDBS)

Fig. 02 “Vista frontal de la emisión de los haces de un PDBS” (Seminario sobre ecosondas multihaz GeoSwath 4, Alexis P. Cárdenas, Kongsberg Maritime)

En la figura 02, se pueden observar los haces que emite la el equipo hacia ambas bandas donde estructuralmente, gracias a su construcción en “V”, son generados con un ángulo de 10° de inclinación con respecto a la superficie del agua, dándole mayor cobertura que otros sistemas batimétricos como la sonda multihaz.

Éste tipo de sistemas miden tiempos de recepción de la señal en un ángulo determinado mediante la diferencia de fase, las cuales se pueden medir a una velocidad muy rápida que conduce a una alta densidad de datos por cada tiempo de retorno.

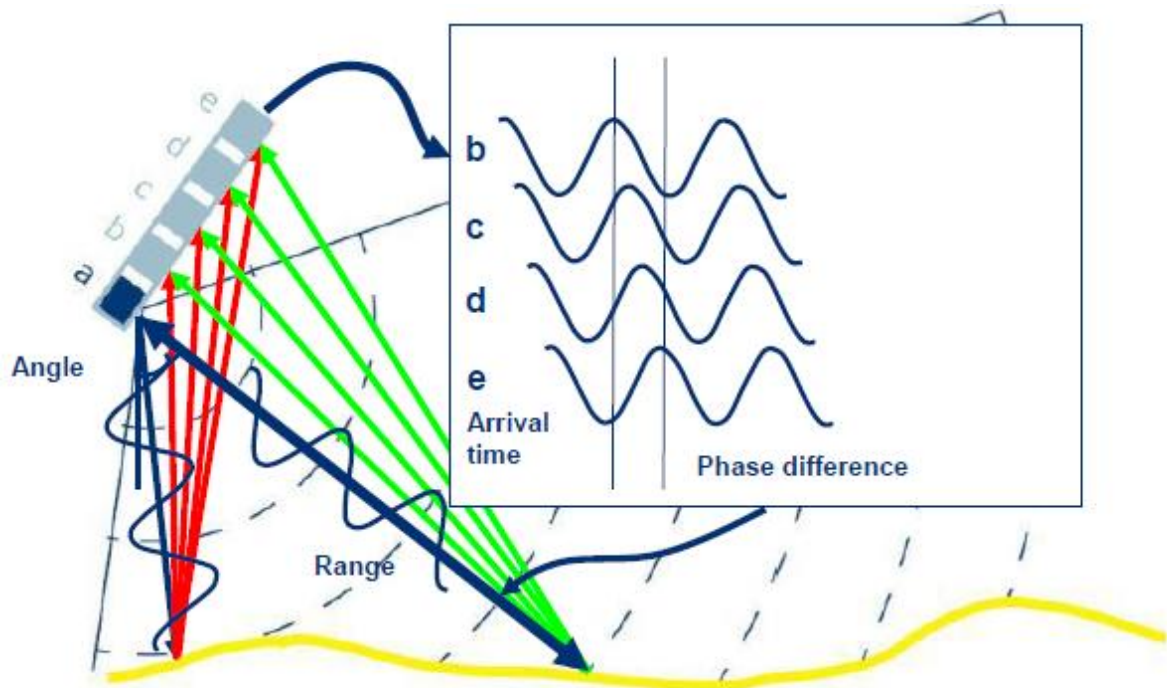


Fig. 03 “Medición por diferencia de fase” (Seminario sobre ecosondas multihaz GeoSwath 4, Alexis P. Cárdenas, Kongsberg Maritime)

Las ecosondas multihaz, como ya se explicó en su principio de funcionamiento anteriormente, miden tiempos de recepción de pulsos mediante haces formados sobre una serie de ángulos determinados. Ambos sistemas miden tiempos de recepción y ángulos, la diferencia radica en que el PDBS mide los ángulos por diferencia de fase, y debido al arreglo dispuesto en su



CAPÍTULO 03 – PHASE DIFFERENCING BATHYMETRIC SONAR (PDBS)

construcción, le da mayor cobertura (swath width) dándole grandes beneficios en aguas de baja profundidad, y como ya veremos más adelante el sistema 6205 de EDGETECH, cuenta con éste principio de funcionamiento, que mediante algoritmos de procesamiento se elimina el problema de falta de datos en el nadir como ocurría en los antiguos interferómetros. En la Fig. 03 se puede observar una batimetría realizada con un PDBS de la marca EDGETECH, donde se puede apreciar la densidad de datos por celda, donde hay menor cantidad de los mismos en la línea central de navegación (llamada nadir), pero que demuestra que si hay datos, no en gran cantidad como se puede visualizar en otros sectores, pero que permiten obtener profundidades mediante algoritmos.

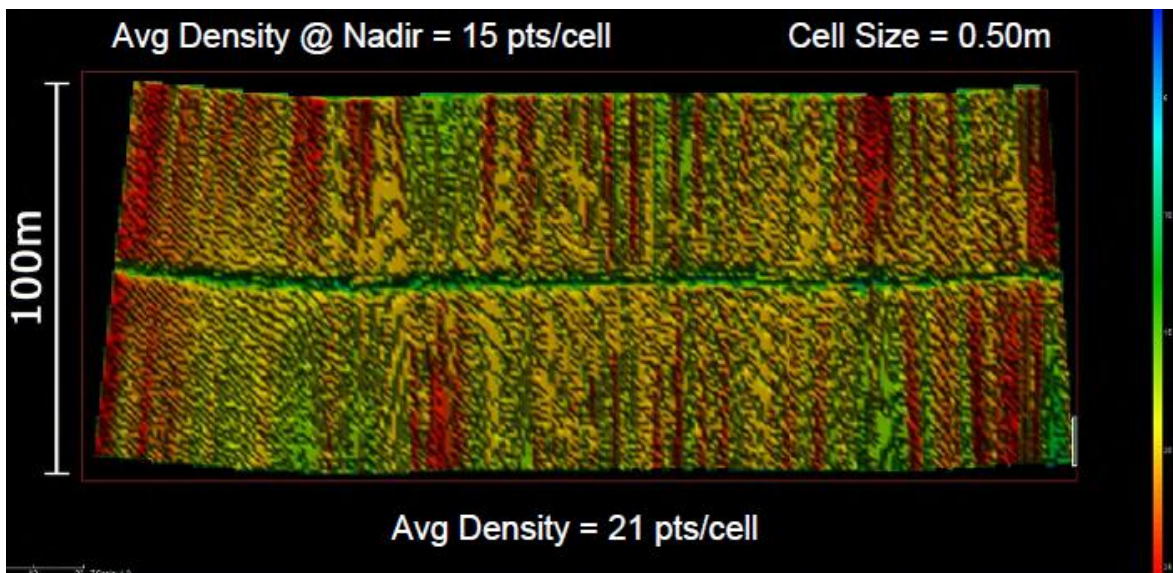


Fig. 04 “Densidad de datos en PDBS EDGE TECH” (Further Developments in Phase Differencing Bathymetric Sonars, Nick Lawrence, MMF51)



SONARES CHIRP

CHIRP es el acrónimo de Compressed High Intensity Radar Pulse.

Para entender los beneficios de esta técnica primero se analizarán las limitaciones al utilizar la técnica convencional monotónica la cual consiste en un pulso acústico que se transmite en un tiempo determinado modulando la amplitud de una frecuencia portadora simple.

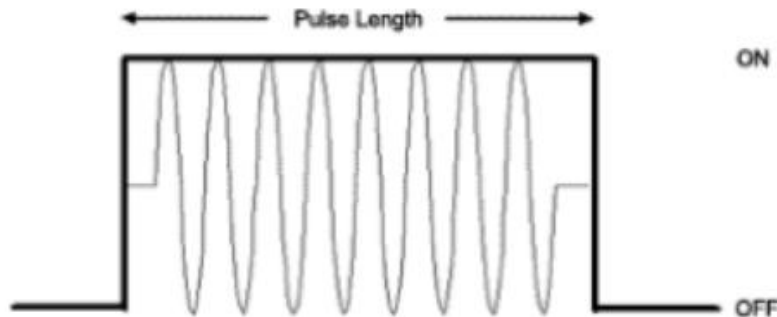


Fig. 02 “Pulso acústico de sonar común”

(https://www.tritech.co.uk/uploaded_files/What%20are%20CHIRP%20Sonars.pdf)

La habilidad de un sistema acústico de discriminar 2 (dos) blancos separados de una distancia depende de la velocidad del sonido en el agua y del largo de pulso (Pulse Length), la cual debe ser relativamente larga para poder enviar la suficiente energía acústica al agua y poder identificar blancos a una distancia determinada.

La fórmula para obtener la resolución de distancia de este sistema acústico convencional es la siguiente:

$$\text{Resolución} = (\text{largo de pulso [s]} \times \text{velocidad del sonido [m/s]}) / 2$$

Poniendo como ejemplo un sistema el cual el largo de pulso es de 50 microseg, y adoptando la velocidad del sonido en el agua como 1500 m/s, se puede calcular que la resolución de éste sonar es de 0,0375 mts (37,5 mm).

En consecuencia, si dos blancos u objetos se encuentran a una distancia tal que sea menor que la resolución de distancia, entonces no van a poder ser distinguidos uno del otro, dicho con otras palabras, se lo va a ver como un único



objeto. Ahora, si la distancia que separa esos objetos es mayor a la resolución va a poder discriminar un objeto del otro.

Para superar esta limitación, se realiza una modulación de la frecuencia portadora durante la transmisión del pulso (fig. 02), logrando de ésta forma una "firma del pulso acústico" y así, el sonar sabe qué fue transmitido y cuándo.

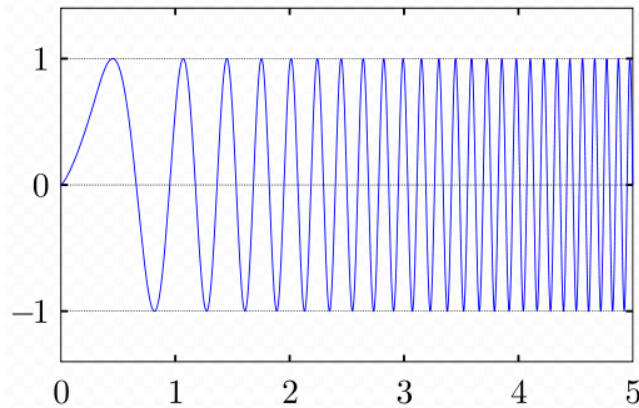


Fig. 02 “Modulación de la frecuencia en sonares CHIRP”

<https://www.westmarine.com/WestAdvisor/Understanding-CHIRP-Scanning-Sonar>

Usando la técnica CHIRP, puede buscar la firma de pulso en los ecos de los objetos, siendo un factor determinante de la resolución de la distancia, el ancho de banda del pulso mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Resolución} = \text{velocidad del sonido [m/s]} / (\text{ancho de banda [1/s]} \times 2)$$

Por ejemplo si tenemos un sonar con un ancho de banda de 100 Khz con una velocidad de sonido en el agua de 1500 m/s, la resolución será de 0,0075 (7,5 mm).

Gracias a ésta técnica, cuando dos ecos se superponen, la firma del pulso acústico produce que no se mezclen en un solo retorno. La frecuencia en cada punto del pulso es diferente por lo que el sistema es capaz de resolverlo como dos blancos independientes, obteniendo mayor discriminación de los ecos de retorno y es utilizada en el Sistema Combinado 6205 de Batimetría y Sonar de Barrido Lateral de EDGE TECH como ya veremos más adelante.



SIDE SCAN SONAR (SSS)

El sonar de barrido lateral (SSS por sus siglas en inglés) es un equipo que proporciona imágenes digitales sofisticadas del fondo marino mediante la transmisión de un haz acústico estrecho lateral direccionado hacia ambas bandas, perpendicular al sentido de avance de la embarcación tales como se puede apreciar en las figuras 01 y 02.

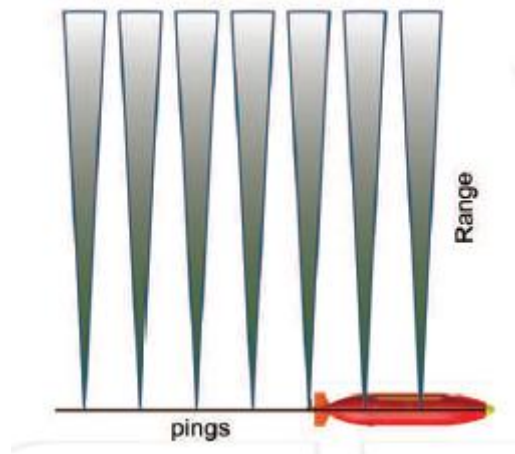


Fig. 01 “Multiples pings o pulsos de un Sonar de Barrido Lateral de una banda”
(Introduction to synthetic aperture sonar, Rod Edgar Hansen)

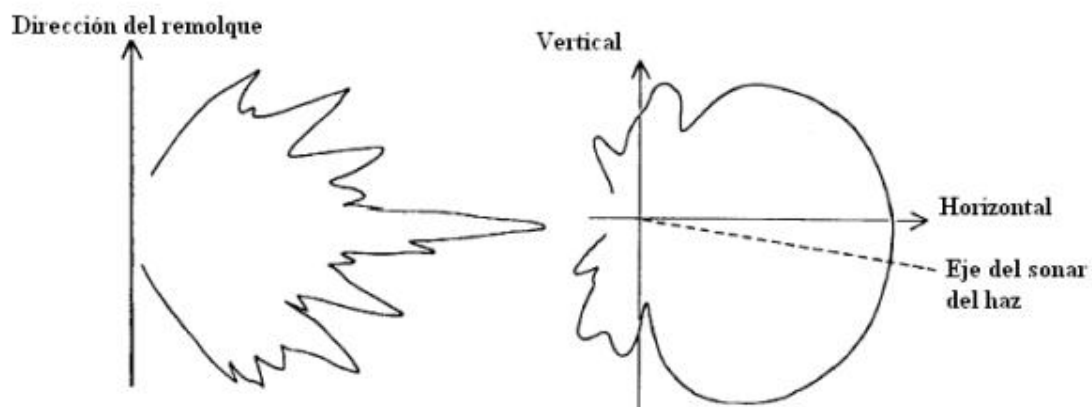


Fig. 02 “Cobertura horizontal y vertical del SSS”. (Publicación C-13, capítulo 4
Clasificación del fondo marino y detección de accidentes)

A medida que el haz viaja hacia el exterior desde el sonar, el fondo del mar y los objetos en él, reflejan la energía sonora que incidió, retornando hacia receptores que contiene el equipo. El tiempo de viaje de los pulsos que se emiten hasta que se reciben los ecos se registra junto con la amplitud de la señal, y se representa en una pantalla como distancias o rangos (Fig. 03).

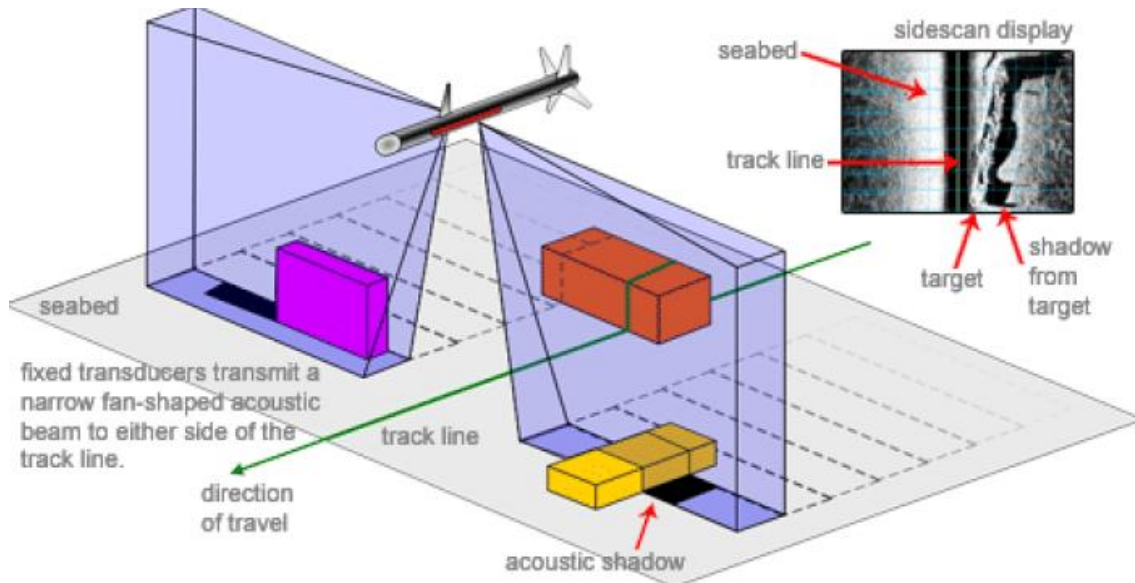


Fig. 03 “Izq. Tow fish remolcado emitiendo haces hacia ambas bandas. Der. Display de los ecos obtenidos por los receptores” (Side Scan Sonar. Base de conocimiento. GEOSOLUCIONES)

Los sistemas de sonar de barrido lateral no proporcionan información directa de profundidad, para obtenerla debe deducirse o calcularse desde la imagen (la altura de un objeto determinado se obtiene a partir de la relación entre la altura del tow fish con respecto al fondo, la longitud de la sombra, y la distancia total entre el fish y el final de la sombra) en las figuras 04 y 05 se pueden observar el display del sonar y una imagen relacionando los conceptos mencionados.

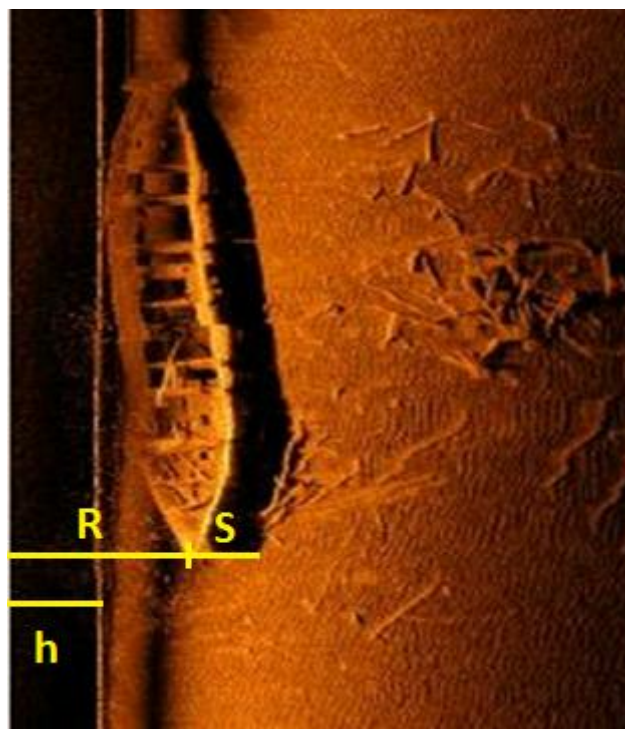




Fig. 04 “Display de un SSS en gabinete” (Presentación U4 02 Sondas ecógrafas, sonar lateral y sonda monohaz, Alejandra Arecco, Curso de hidrografía y Oceanografía - 2018)

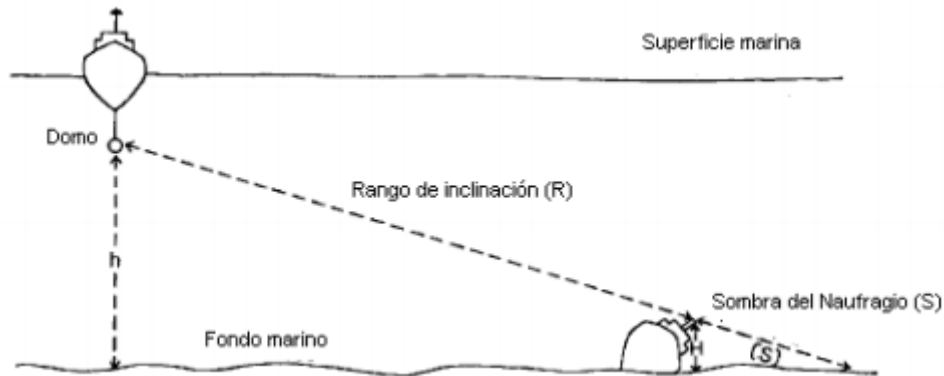


Fig. 05 “Geometría del sonar de barrido lateral” (Publicación C-13, capítulo 4 Clasificación del fondo marino y detección de accidentes)

Por lo tanto por triángulos similares se puede calcular la altura de un afloramiento:

$$H = \frac{S \times h}{R + S}$$

- Donde
- H: Altura del afloramiento.
 - S: Longitud de la sombra del afloramiento.
 - R: Distancia inclinada del fish al accidente.
 - h: Altura del fish al fondo marino.

La principal diferencia entre una MBES y un SSS es que mientras las primeras dan información batimétrica o sea profundidades georeferenciadas con intensidades de retrodispersión, los sonares de barrido lateral entregan imágenes de fondo marino pero visualizando los rangos o distancias inclinadas. Por esta misma razón un sonar de barrido lateral no es un reemplazo de una sonda multihaz para realizar batimetría y tampoco una sonda multihaz es un reemplazo de un sonar de barrido lateral en cuanto a la detección de objetos o diferencias de tipo de fondo, sin embargo hay trabajos de campo en los que uno es más importante que el otro, pero el Sonar de Barrido Lateral es un complemento cuando se hace batimetría.



CAPÍTULO 05 – SIDE SCAN SONAR (SSS)

Las aplicaciones más comunes de los sonares de barrido lateral incluyen: cartografía exacta de grandes sectores de los fondos marinos, levantamientos de barrido lateral para localizar viaductos, tuberías o cables, montañas submarinas, obstrucciones y otras características. En concreto, la ubicación de naufragios, la búsqueda de objetos, búsqueda de aeronaves derribadas que perdieron su carga y la localización de yacimientos arqueológicos sumergidos.



CAPÍTULO 06 – SONAR BATIMÉTRICO COMBINADO 6205 EDGE TECH

SONAR BATIMÉTRICO COMBINADO 6205 EDGE TECH

El sonar batimétrico de EdgeTech, es un sistema combinado e integrado de batimetría y sonar de barrido lateral de doble frecuencia que puede producir imágenes en tres dimensiones de alta resolución del fondo marino en tiempo real que proporciona datos batimétricos y de sonar de barrido lateral simultáneo de doble frecuencia (Fig. 01).

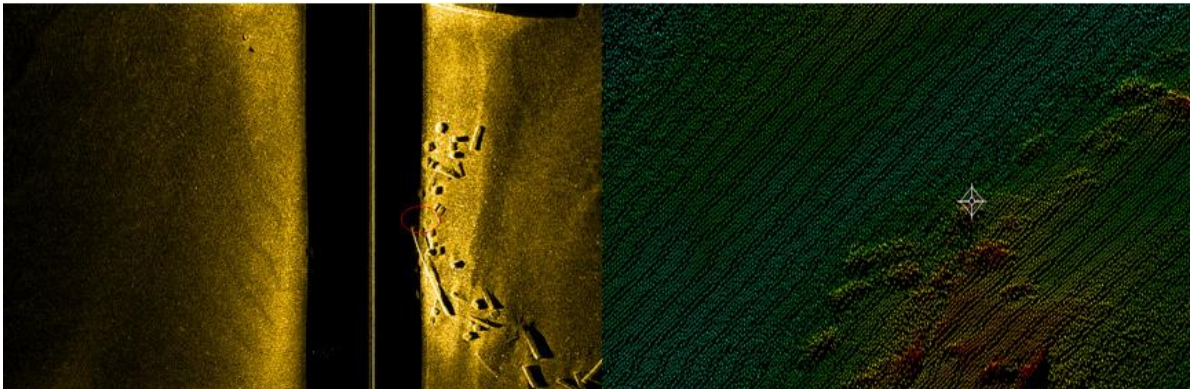


Fig. 01 “Imagen de SSS (izq.), batimetría co-registrada del fondo marino (der.)” (Performance Analysis of the EdgeTech 6205 Swath Bathymetric Sonar, Lisa N. Brisson, Damon Wolf, Abril 2014)

Este tipo de tecnología utiliza un par de transductores, uno apuntando a babor y otro a estribor, para producir la batimetría y la imagen de SSS. Cada transductor cuenta con diez (10) elementos receptores que derivan en 9 mediciones por diferencia de fase. Estas múltiples mediciones de fase producen varios beneficios al momento de resolver los sondeos del fondo permitiendo el rechazo de los efectos de múltiples trayectorias, así como la reverberación y el ruido acústico.

Por otro lado el incremento de elementos receptores también permite que los métodos de procesamiento de formación y direccionamiento del haz enfoquen la energía en el nadir, creando un conjunto de datos más denso en esa región. Esto cierra la brecha del nadir (problema que tenían los antiguos interferómetros) y logra una cobertura batimétrica completa del fondo marino en el barrido, incluso debajo de los transductores (Fig. 02).

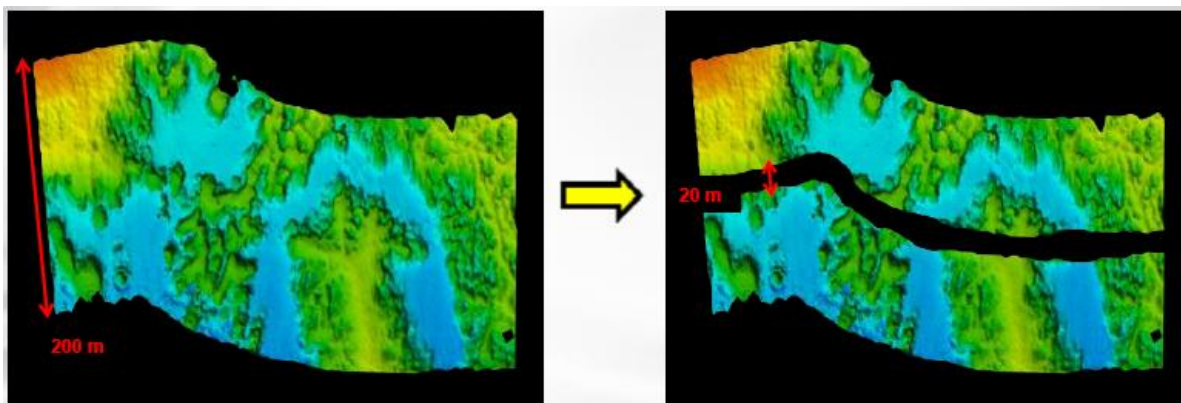


Fig. 02 “Cobertura de 6205 EdgeTech (izq.), cobertura de interferómetro (der.)”
(Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017)

Además de los 10 elementos de recepción de batimetría, el diseño de éste transductor incorpora dos canales dedicados a la transmisión y recepción exclusiva para obtener los registros de barrido lateral. Esto permite que el sistema retenga las imágenes de alta calidad de resolución normalmente asociadas con los sonares de barrido lateral de doble frecuencia sin interferir con las señales de batimetría. En la fig. 03 se puede observar un diagrama de la construcción del transductor utilizado de esta manufactura.



Fig. 03 “Cabezal del sonar (izq.), esquema de transductor (der.)” (Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017)

El equipo se encuentra disponible en una variedad de opciones de frecuencia:

- 230 kHz y 550 kHz (SSS) con batimetría en 230 kHz
- 230 kHz y 550 kHz (SSS) con batimetría en 550 kHz
- 550 kHz y 1600 kHz (SSS) con batimetría en 550 kHz

El transductor puede ser identificado mediante un código de colores que se encuentra en el transductor mismo como se puede ver en la Fig. 04.



Fig. 04 “Diagrama de código de colores de transductor” (Bathymetry and sidescan sonar system, User hardware manual, EdgeTech, Noviembre 2017). Los grupos de frecuencia listados anteriormente se eligieron para proporcionar resultados óptimos para cualquier profundidad de agua hasta 200 m por debajo del transductor. El sistema de 230 kHz / 550 kHz con batimetría de 230 kHz fue diseñado para profundidades de agua entre 5 m - 200 m, mientras que el sistema de 550 kHz / 1600 kHz para profundidades de agua entre 0,5 m - 50 m (Bathymetry and sidescan sonar system, User hardware manual, EdgeTech, Noviembre 2017).

Para darle una versatilidad al equipo en los requerimientos de trabajo de campo, el cabezal del sonar se ha diseñado de forma tal que el usuario pueda realizar cambios de transductores de baja frecuencia a alta frecuencia y viceversa.

El equipo completo que se sumerge en el agua comprende los elementos de procesamiento de sonar, los transductores de estribor y babor, un sensor de velocidad de sonido, el cabezal en dos partes (superior e inferior) y el plato de montaje (Fig. 05). Por otro lado la interfaz superior está conformada por un rack que puede ser fijo o transportable y la computadora que contiene el software de adquisición de datos (Fig. 06).



CAPÍTULO 06 – SONAR BATIMÉTRICO COMBINADO 6205 EDGE TECH

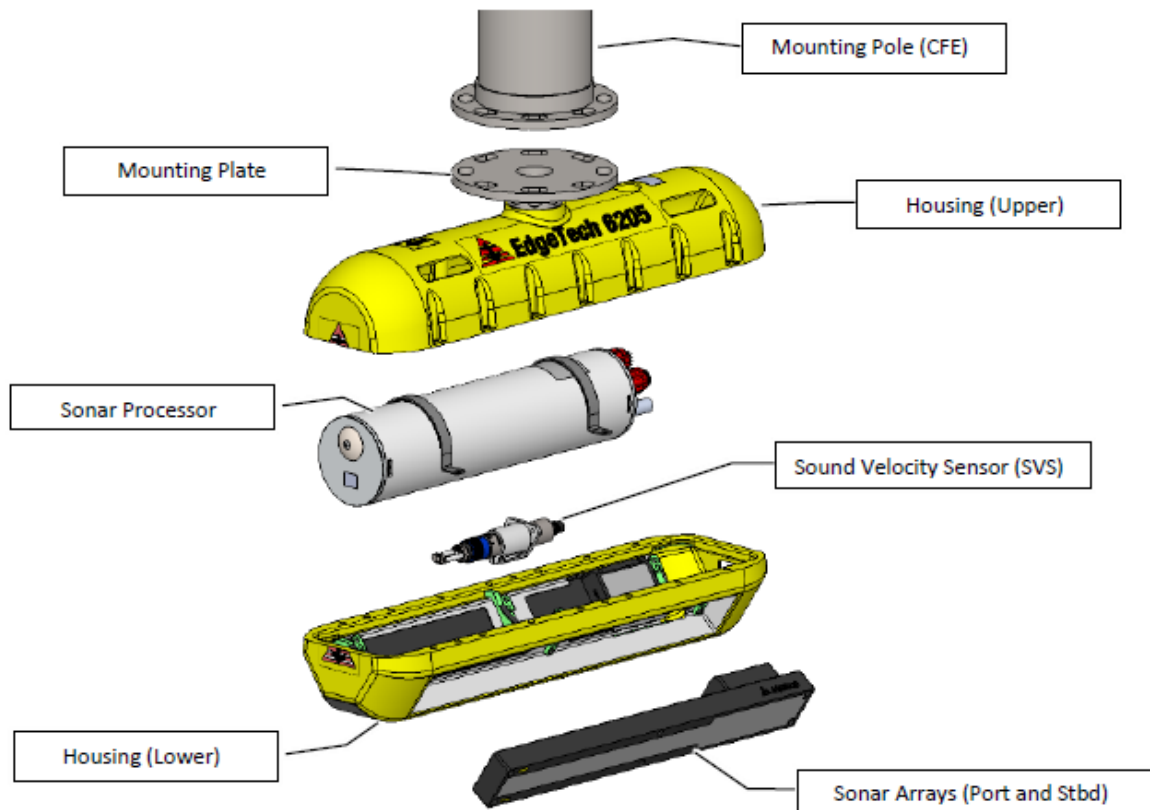


Fig. 05 “Componentes del cabezal del sonar” (6205 Bathymetry and SideScan Sonar System, User hardware manual, EdgeTech, Noviembre 2017)



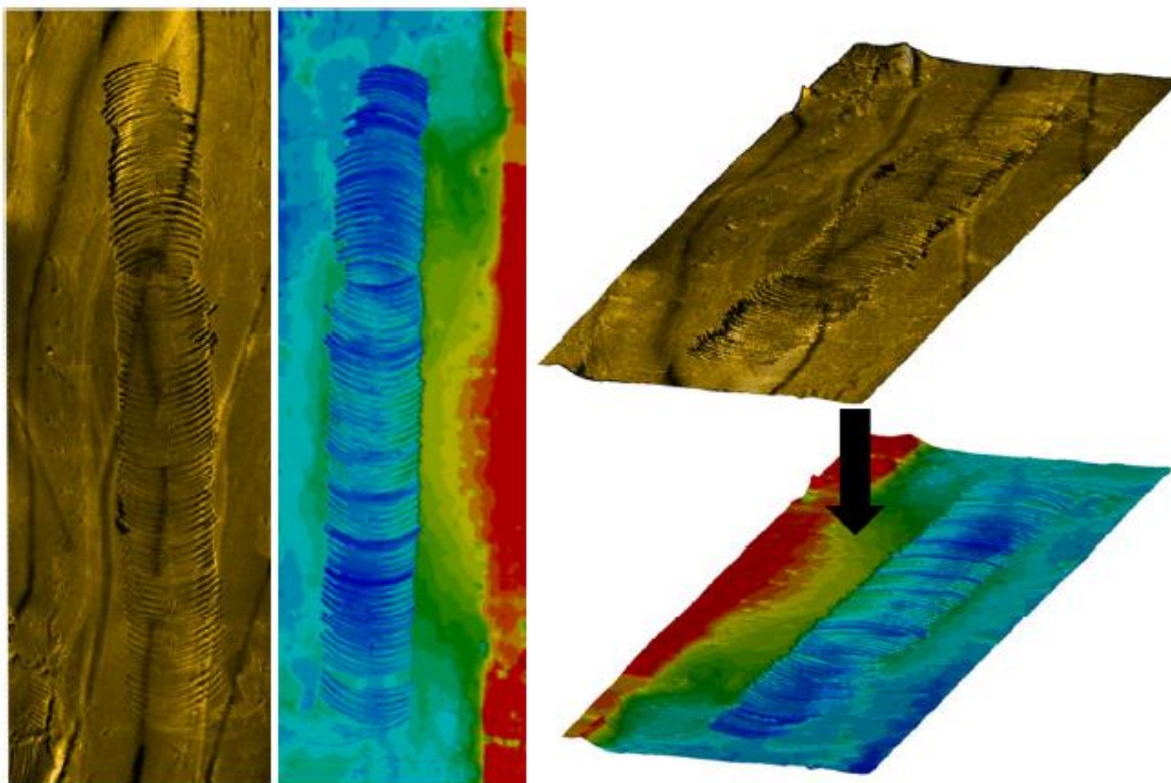
Fig. 06 “Rack fijo (arriba), Rack transportable (abajo)” (6205 Bathymetry and SideScan Sonar System, User hardware manual, EdgeTech, Noviembre 2017)



CAPÍTULO 06 – SONAR BATIMÉTRICO COMBINADO 6205 EDGE TECH

La cobertura batimétrica completa combinada con las imágenes de barrido lateral permite al hidrógrafo validar la detección de las características del fondo marino, al tiempo que eliminar los efectos en el sonar de estelas de barcos y bancos de peces. La interpretación de las sombras geométricas de las imágenes de barrido lateral sobre un terreno más complejo y poco profundo, donde puede haber grandes gradientes de profundidad como en veriles de canales y bancos, hace que estas características sean mucho más fáciles de identificar que en la batimetría.

La combinación de imágenes de batimetría co-registrada y escaneo lateral de alta resolución también permite un flujo de datos de post-procesamiento más rápido. La confirmación mediante el barrido lateral de las zonas de menor profundidad y el uso de sombras de barrido lateral para confirmar la geometría de las características brinda una mayor confianza en la edición de datos de batimetría y ayuda en la interpretación de las características durante el proceso de edición. Las marcas de dragado que solo aparecerían en la batimetría se pueden ver claramente en la imagen de barrido lateral, y los cambios en el tipo de fondo que afectan los datos de batimetría se pueden identificar más fácilmente (Fig. 07).





CAPÍTULO 06 – SONAR BATIMÉTRICO COMBINADO 6205 EDGE TECH

Fig. 07 “Mosaico de sonar de barrido lateral (Izq.) y mosaico de batimetría (Der.)”, (Interferometric Swath Bathymetry for Large Scale Shallow Water Hydrographic Surveys, Canadian Hydrographic Conference, Abril 2014).

Por último, la tecnología de este sistema emplea pulsos de frecuencia modulada (FM) o CHIRP y técnicas de procesamiento de filtros combinados. Estas características adicionales aumentan el alcance de barrido lateral y los requisitos de resolución, manteniendo la precisión de batimetría en el ancho de barrido amplio en comparación con los sistemas de frecuencia única o basada en ondas continuas (Fig. 08).

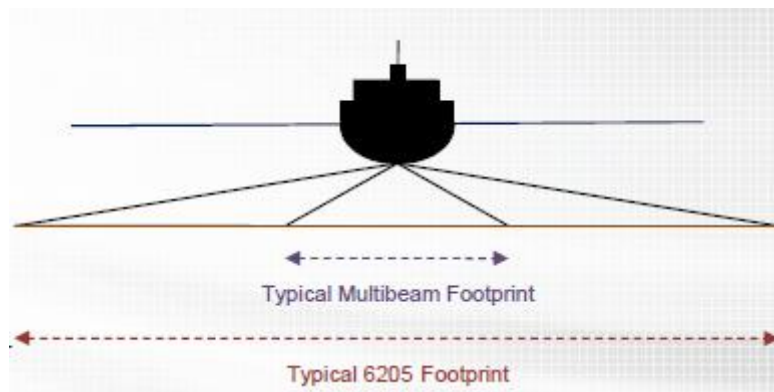


Fig. 08 “Comparación de anchos de barrido entre una ecosonda multihaz y el sistema 6205 de EdgeTech” (Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017).

Las diferentes aplicaciones de este novedoso equipo son:

Batimetría en puertos y bahías. (Fig. 09)

Inspecciones de cañerías y cables submarinos. (Fig. 10)

Inspección en operaciones de dragado. (Fig. 11)

Mapeo de hábitat bentónico. (Fig. 12)

Monitoreo medio ambiental. (Fig. 13)

Levantamiento en canales de navegación. (Fig. 14)

Evaluaciones medioambientales militares rápidas (zonas de desembarco, fondeo).

Detección de naufragios. (Fig. 15)

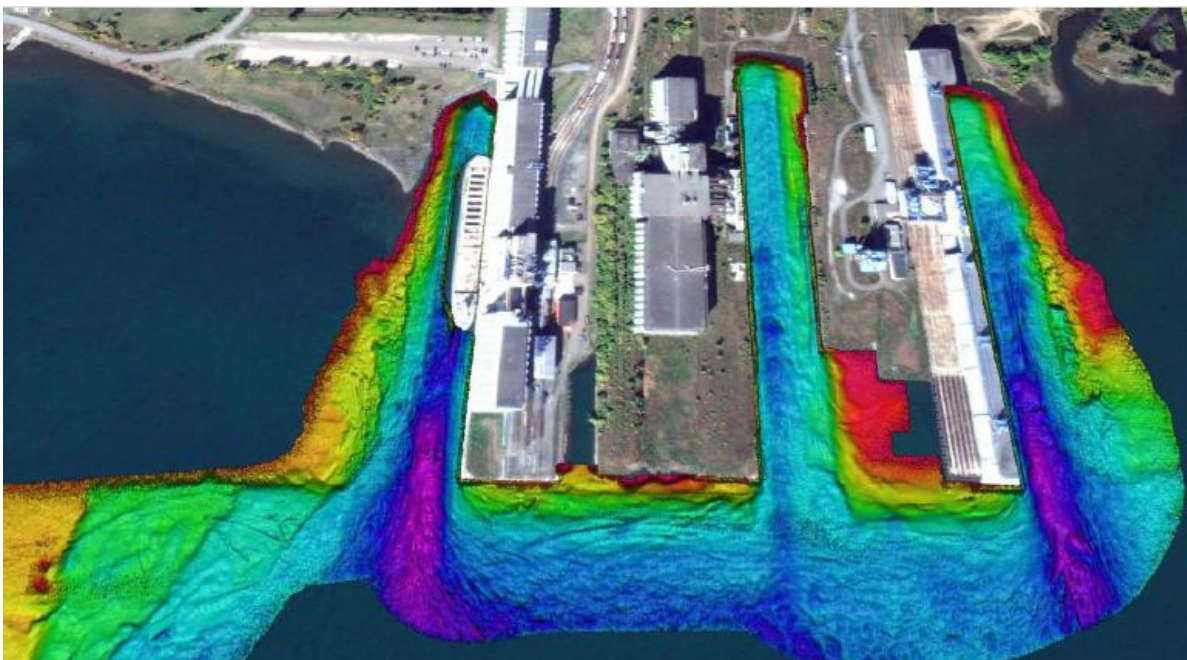


Fig. 09 “Batimetría en puerto” (Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017).



Fig. 10 “Inspección de cañerías” (Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017).

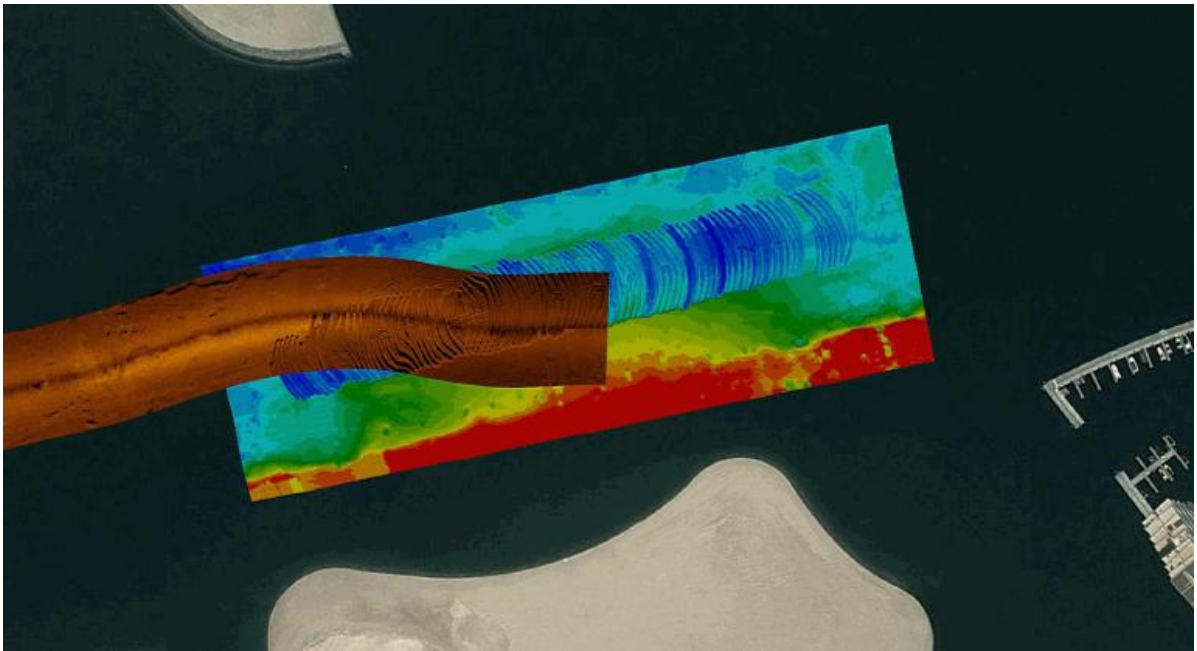


Fig. 11 “Control post-dragado de canales” (Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017).

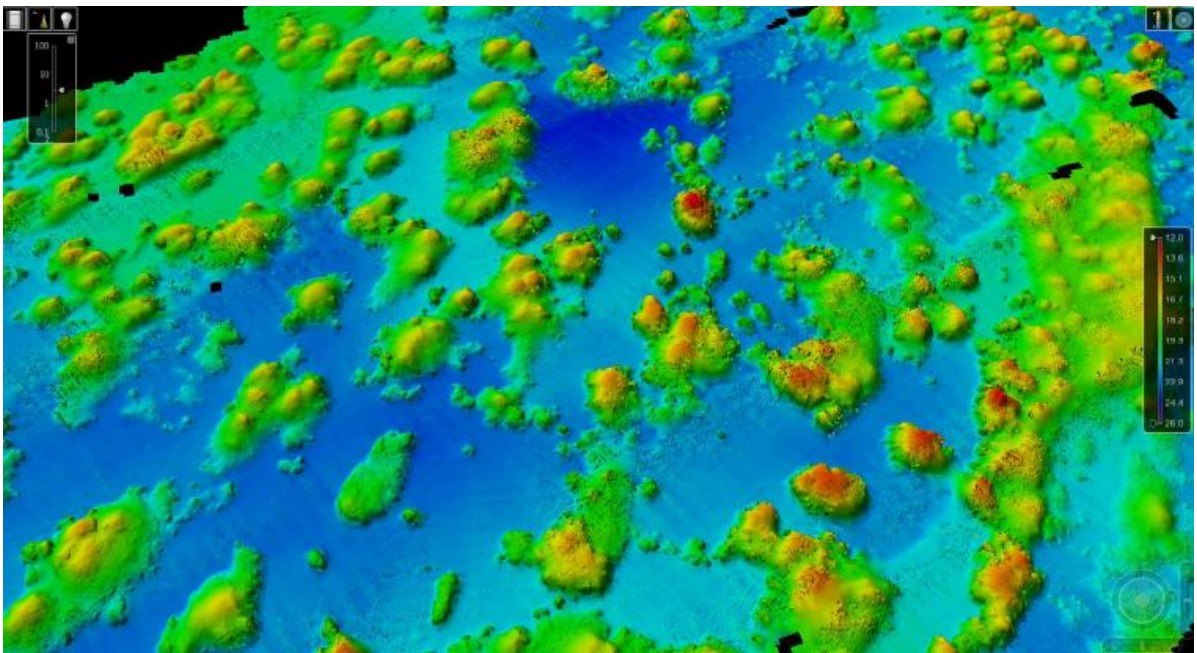


Fig. 12 “Mapeo de hábitat bentónico” (Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017).

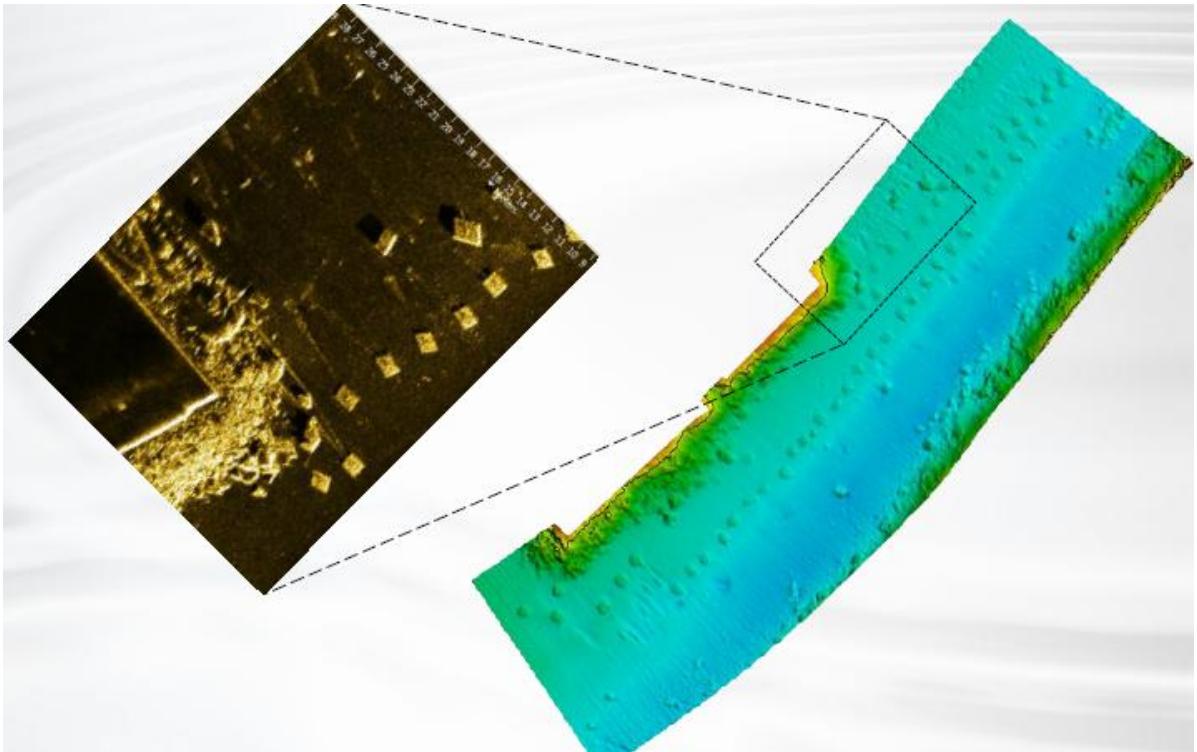


Fig. 13 “Monitoreo medioambiental” (Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017).

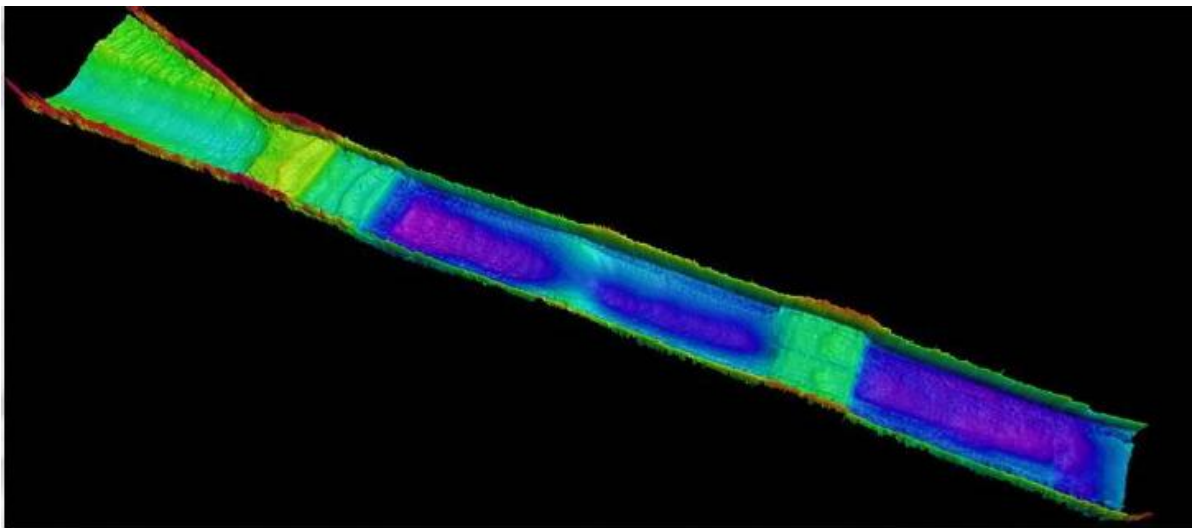


Fig. 14 “Levantamiento en canal de navegación” (Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017).

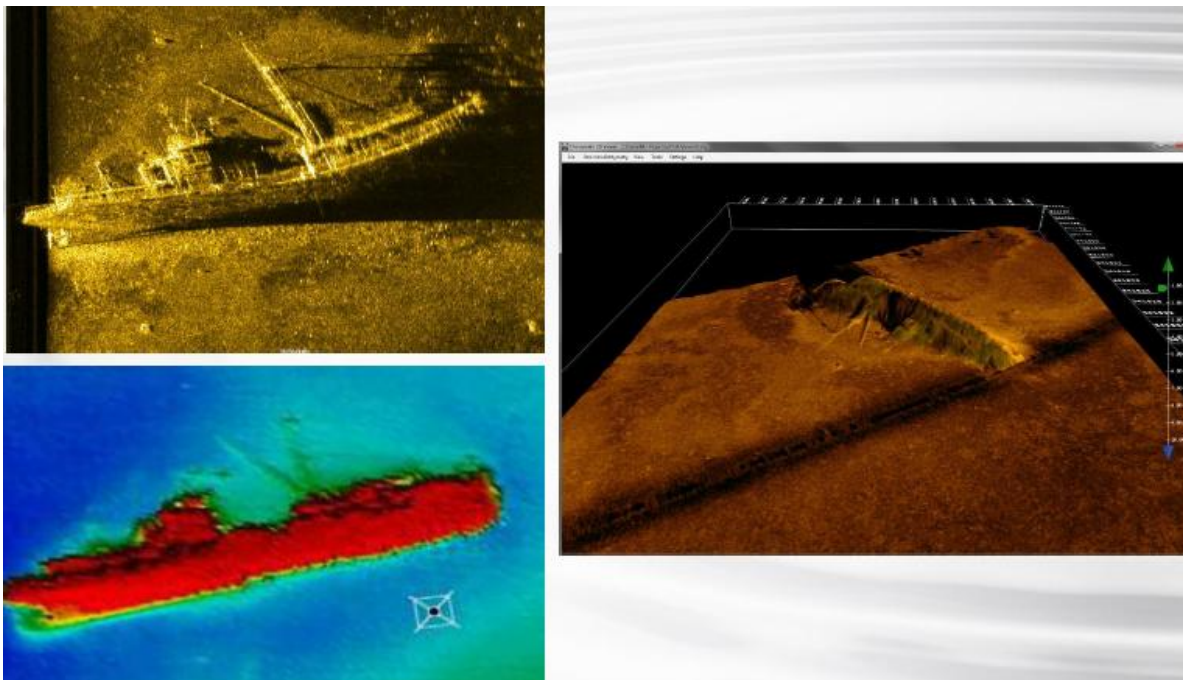


Fig. 15 “Detección de naufragios” (Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017).

Finalmente podemos decir que con un sistema podemos obtener tres tipos de datos distintos: Batimetría, Backscatter (Retrodispersión) e Imagen de sonar de barrido lateral en doble frecuencia (Fig. 16), siendo de gran ayuda para el hidrógrafo, inicialmente en cuanto a la seguridad náutica por tratarse de trabajos a efectuar en aguas someras, en cuanto al análisis del fondo marino (bentos) y a la confirmación de peligros o naufragios en el área y a su vez dando cumplimiento a las normas exigidas por la OHI para levantamientos de orden especial, 1a y b.

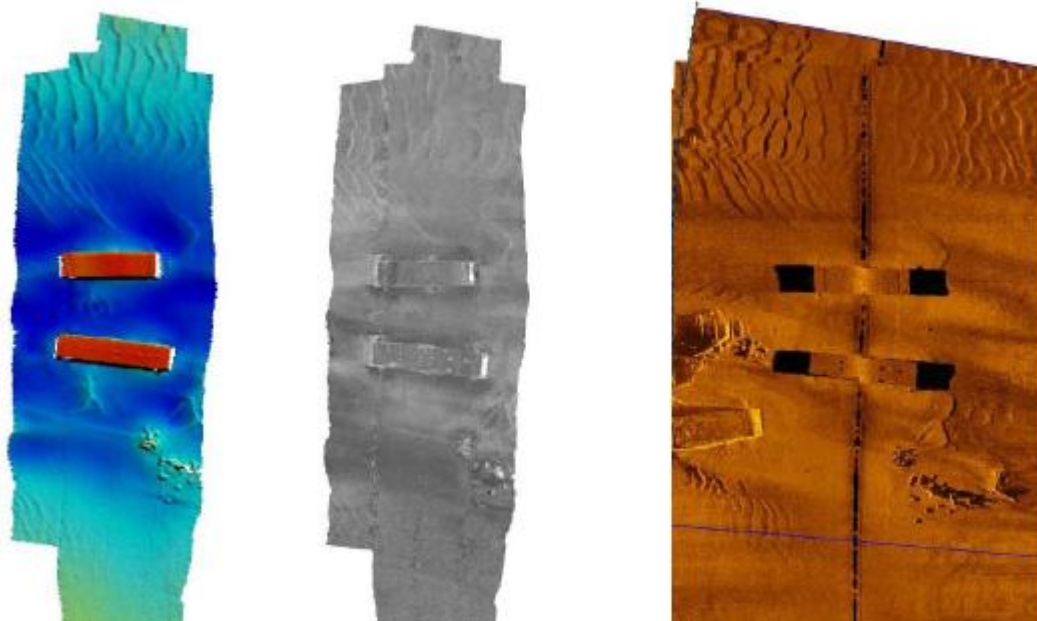


Fig. 16 “Datos co-registrados obtenidos con el sonar EdgeTech” (Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017).



CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó la descripción de los principios de funcionamiento de las tecnologías que se encuentran en la MPES (Multi Phase Eco Sounder) 6205 EdgeTech, además de explicar otros tipos de tecnología como el de la sonda multihaz, que aunque no está relacionado con el sistema, se ha redactado para tener una visión de los funcionamientos de cada una, comparando las ventajas y desventajas.

Al ser el trabajo de campo en aguas someras, la ventaja principal que prestan los MPES es su gran cobertura, que es tres veces más que la sonda multihaz (Interferometric Swath Bathymetry for Large Scale Shallow Water Hydrographic Surveys, Canadian Hydrographic Conference, Lisa N. Brisson), cumpliendo con las normas de la OHI (Organización Hidrográfica Internacional) de orden especial y 1a. Además al contar con datos co-registrados de Sonar de Barrido Lateral y de retrodispersión (Backscatter), da una gran ayuda al hidrógrafo para confirmar peligros a la navegación, clasificar tipos de fondo y para el post procesamiento de los datos de batimetría.

Otro beneficio que tiene este tipo de sondas es que al encontrarse la embarcación en aguas someras, donde es más propenso a navegar en cercanías de bajo fondos, con el riesgo de varar o tocar fondo, poniendo en peligro la seguridad náutica, una vez mas esta sonda al tener gran cobertura, evita que la embarcación tenga que navegar por zonas peligrosas, y a su vez realizar menor cantidad de piernas para una determinada zona en comparación de una sonda multihaz por su menor cobertura y que al realizar un análisis de costos y tiempos entre ambas sigue sacando ventajas el MPES (Interferometric Swath Bathymetry for Large Scale Shallow Water Hydrographic Surveys, Canadian Hydrographic Conference, Lisa N. Brisson).

Esta sonda que cuenta con la tecnología MPES es una gran ayuda para el hidrógrafo para aguas de hasta aproximadamente 200 mts (Bathymetry and sidescan sonar system, User hardware manual, EdgeTech, Noviembre 2017), obteniendo tres tipos de datos a su vez en una sola pasada (batimetría, SSS y backscatter), brindando mayor confianza cuando se trata de la detección de objetos, clasificación de fondo y limpieza de datos, siendo un equipo versátil, compacto, liviano que se puede colocar a proa, en la banda de una



CONCLUSIONES

embarcación o en AUV's (Autonomous Underwater Vehicle), ROV's (Remotely Operated Vehicle) y ASV's (Autonomous Surface Vehicle).



BIBLIOGRAFÍA

<http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHea0e.dir/doc.pdf> “Las limitaciones de la sonda monohaz y las ventajas de la multihaz”.

Procesamiento datos de retrodispersión CARIS HIPS and SIPS. Taller práctico sobre adquisición y procesamiento de datos batimétricos multihaz, Alexis P. Cárdenas, Kongsberg Maritime.

Seminario sobre ecosondas multihaz GeoSwath 4, Alexis P. Cárdenas, Kongsberg Maritime.

Further Developments in Phase Differencing Bathymetric Sonars, Nick Lawrence, MMF51.

https://www.tritech.co.uk/uploaded_files/What%20are%20CHIRP%20Sonars.pdf.

<https://www.westmarine.com/WestAdvisor/Understanding-CHIRP-Scanning-Sonar>.

Introduction to synthetic aperture sonar, Rod Edgar Hansen.

OHI, Publicación C-13, capítulo 4, “Clasificación del fondo marino y detección de accidentes”.

Side Scan Sonar. Base de conocimiento. GEOSOLUCIONES.

Presentación U4 02 “Sondas ecógrafas, sonar lateral y sonda monohaz”, Alejandra Arecco, Curso de Hidrografía y Oceanografía – 2018.

Performance Analysis of the EdgeTech 6205 Swath Bathymetric Sonar, Lisa N. Brisson, Damon Wolf, Abril 2014.



BIBLIOGRAFÍA

Presentación XIII Reunión de la Comisión Hidrográfica Regional del Pacífico Suroriental (CHRSEP), Colombia, Agosto 2017.

Bathymetry and sidescan sonar system, User hardware manual, EdgeTech, Noviembre 2017.

Interferometric Swath Bathymetry for Large Scale Shallow Water Hydrographic Surveys, Canadian Hydrographic Conference, Abril 2014.

