

# SONDADOR MULTIHAZ

Francisco J. PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ



*...perfeccionando sucesivamente las cartas y los instrumentos.../ preparando, en fin, los elementos con que a poco se había de rodear el globo sublunar descubriendo todos sus misterios.*

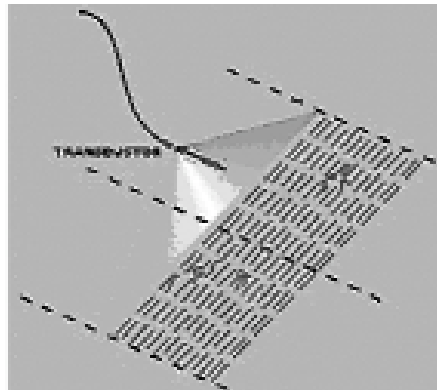
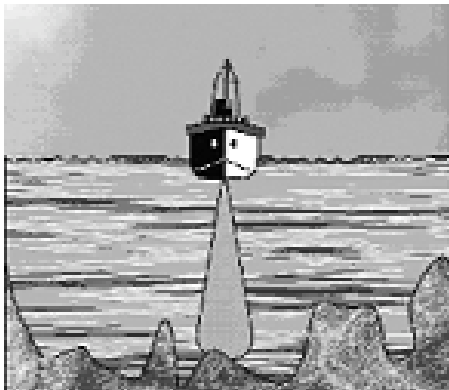
(Martín Fernández de Navarrete. *Disquisiciones Náuticas*).



ABEMOS que hasta hace pocos años existían dos sistemas para obtener información de la topografía submarina, basados en la Acústica:

- A. El sondador monohaz.
- B. El sonar de barrido lateral.

Los sondadores monohaz miden la profundidad directamente bajo la plataforma en la que están instalados. Dan una buena exactitud en el sentido vertical y una buena densidad de sondas a lo largo de la derrota del buque, pero una nula información de sondas en el sentido transversal, dado que existen huecos entre las líneas o perfiles de sondas.



Sondador monohaz y SBL (1).

### TEMAS PROFESIONALES

Este sistema es apropiado para levantamientos de alta resolución, sólo en pequeñas profundidades, usando una alta densidad de línea de sonda (2).

Los sonares de barridos lateral sólo producen una imagen acústica del fondo, pero no datos batimétricos.

Son el complemento ideal de los sondadores monohaz para un estudio completo del fondo.

Los sondadores monohaz, aunque simples y baratos de fabricar y de fácil uso y comprensión, tienen las limitaciones que ya hemos apuntado anteriormente, lo cual los convierte en sistemas no muy apropiados para levantamientos hidrográficos de escala grande (3).

El propósito de un levantamiento hidrográfico de escala grande es efectuar mediciones de profundidad exacta en muchos puntos próximos del fondo del mar, de forma que sea posible crear una imagen exacta de la topografía del fondo.

Para realizar esta labor con eficacia se requiere que el sondador que se utilice sea capaz de producir medidas de profundidad exactas que se correspondan con posiciones bien definidas en el fondo del mar (es decir, latitudes y longitudes específicas) y realizar gran número de estas mediciones en un espacio de tiempo razonable (4).

Como hemos visto en páginas anteriores, los sondadores monohaz muestran sus carencias en los dos aspectos.

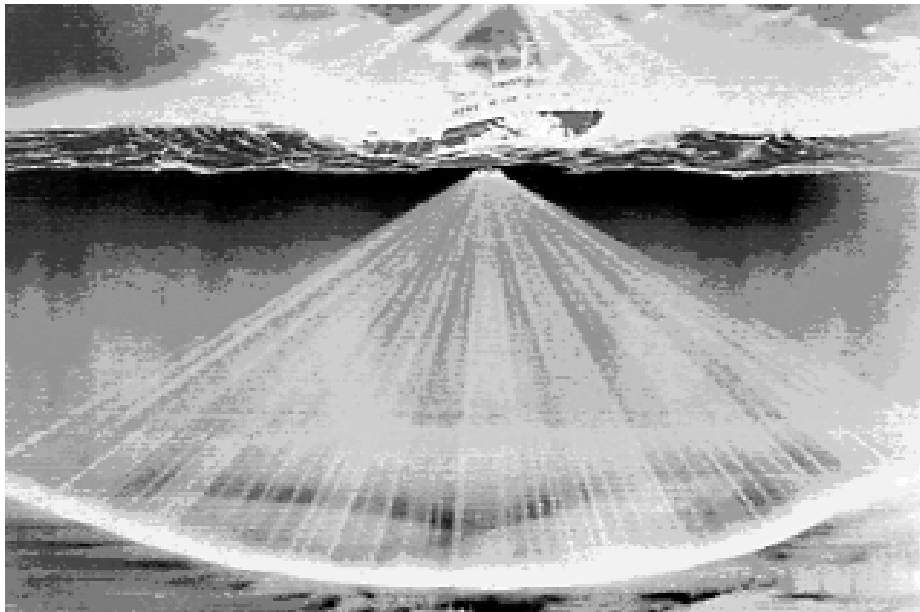


Figura de un sondador multihaz (5).

El paso siguiente en la evolución de los sistemas de investigación del fondo marino son los sondadores multihaz.

Aunque los sondadores multihaz llevan en el mercado varios años, los servicios hidrográficos, en general, han mostrado cierto rechazo a la hora de usar esta tecnología.

Las principales razones para esta reticencia son (6):

- Coste y tamaño del equipo.
- Dudas sobre si podían cumplir los requisitos de precisión de la OHI.
- Falta de procedimientos adecuados para el control de calidad.
- Procesamiento de los datos visto como cuello de botella.
- Perfil de competencia y adiestramiento requerido para el personal.

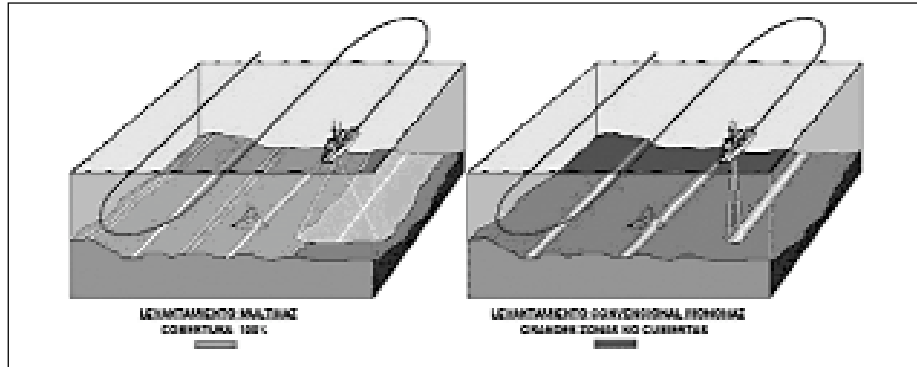
Estos impedimentos se han ido solucionando a lo largo de los años que estos sistemas llevan funcionando, y la tecnología multihaz ha alcanzado por fin un nivel de cuyo uso pueden beneficiarse la mayoría de las organizaciones interesadas, especialmente los servicios hidrográficos.

El motivo principal para dar el salto de los sondadores monohaz a los multihaz es la capacidad de producir cartas náuticas con mucho más detalle y con un menor coste por unidad de área (7).

Volviendo a la serie de impedimentos a los que se hacía alusión hace unas líneas, podemos decir:

- Se ha demostrado en varias pruebas (8) que estos nuevos sistemas cumplen con los actuales requisitos de precisión de la Organización Hidrográfica Internacional propuestos en la Publicación S-44 (9).
- Durante los últimos 10 años, la tecnología multihaz ha ido mejorando técnicamente, el coste económico ha bajado y los equipos se han hecho mucho más compactos, todo ello impulsado principalmente por las compañías petroleras y los servicios de hidrografía más potentes y avanzados (Canadá, Estados Unidos, Noruega) (10).
- Con respecto al procesado de datos, existen ya desarrolladas bastantes aplicaciones informáticas que permiten el tratamiento de la información de forma asequible a operadores con conocimientos no muy avanzados de informática e hidrografía. Asimismo se han desarrollado aplicaciones que permiten efectuar un control de calidad de la información por medios automáticos (11).

Con estos sistemas con cobertura al 100 por 100 del fondo marino mediante sondas exactas y precisas es posible la publicación de las cartas con más fiabilidad que utilizando sistemas anteriores, ya que como hemos dicho eliminan la incertidumbre que existía entre líneas de sondas.

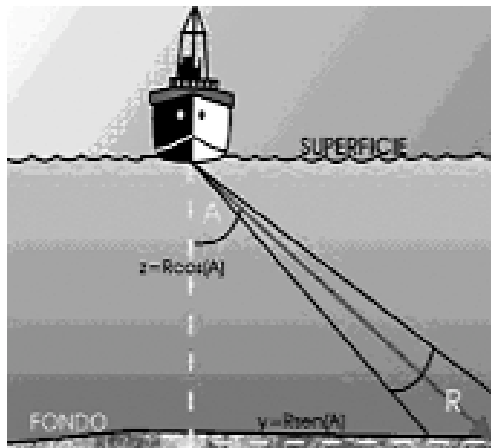


Comparación de coberturas.

### Generalidades sobre su funcionamiento

Los sondadores multihaz son bastante diferentes de los sondadores monohaz en sus principios de operación, así como en la forma en que están contruidos. Un monohaz obtiene sondas transmitiendo pulsos cortos de energía acústica hacia el fondo. Parte de la energía que da en el fondo se refleja de manera que puede ser detectada por el sondador y la profundidad bajo el buque se calcula a partir del tiempo de ida y vuelta y la velocidad medida del sonido en la columna de agua (12).

Independientemente de los detalles concretos del diseño elegido por cada fabricante de multihaz, todos estos sistemas utilizan el mismo enfoque básico.



Medición (16).

El sondador multihaz transmite un pulso de energía acústica no solamente de forma vertical, sino en un amplio abanico. La energía reflejada es recibida por un transductor multicanal y se forma un abanico de varios haces estrechos (13). En cada pulso el fondo se insonifica con un haz de transmisión elíptico cuyo eje mayor se alinea perpendicularmente a la dirección de la navegación. El eje menor, alineado en dirección proa-popa, se reduce para alcanzar la mayor resolución posible (14).

De esta forma se genera un alto número de sondas para cada

pulso de transmisión. Cada haz producido origina un tiempo de ida y vuelta, y en la primera aproximación (15) esta medida se convierte en un valor de sonda y una separación horizontal de la sonda por un simple cálculo.

Donde  $R$  (17) es la distancia medida y  $A$  el ángulo correspondiente a cada haz producido,  $Z$  es la profundidad en el punto medido, e  $Y$  es el apartamiento de la derrota. La medida de  $R$  se efectúa en el centro de cada haz.

Independientemente de la medida de profundidad, estos sistemas recogen también la información de reflectividad (18) del fondo del mar, generando una imagen acústica del fondo similar a la de un sonar de barrido lateral. La imagen es registrada conjuntamente con las medidas batimétricas y de esta manera puede ser corregida por las distorsiones geométricas debidas a que el fondo no es plano.

Esta imagen puede ser usada con propósitos de inspección submarina, para confirmar hallazgos en el conjunto de datos batimétricos y también puede ser usada (contando con la aplicación informática correspondiente) para la clasificación de tipos de sedimentos del fondo marino (19).

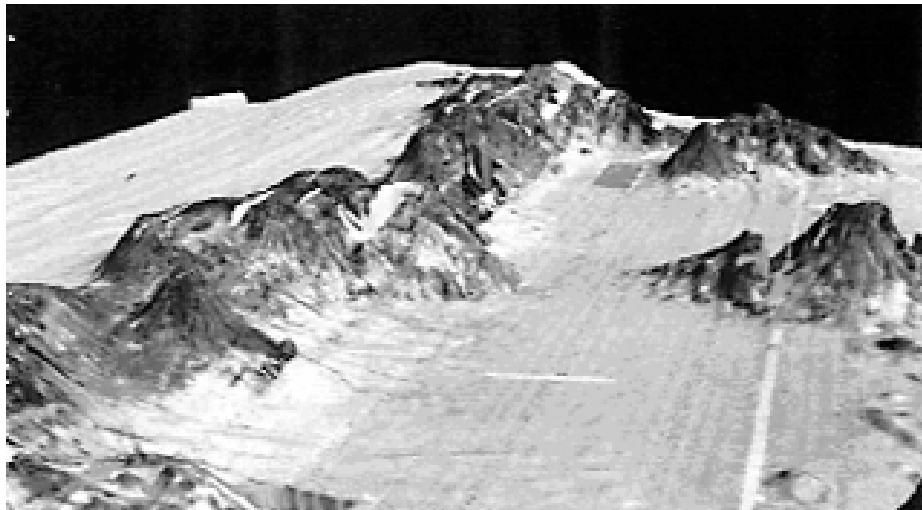


Imagen del fondo del mar de Nueva Caledonia, que combina batimetría en 3D e imágenes de fondo (20).

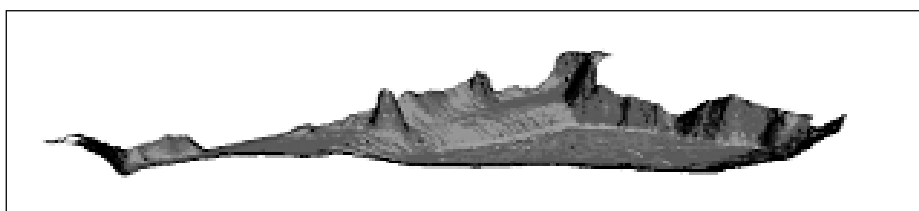
Todas las medidas efectuadas se compensan por los efectos de balance, cabeceo, ola y guiñadas del barco, utilizando sensores de movimiento de gran exactitud que se colocan lo más cerca posible del centro de gravedad del buque.

Asimismo la deformación de los rayos sonoros en su desplazamiento por el agua es compensada obteniendo perfiles de velocidad del sonido (21).

### TEMAS PROFESIONALES

El sondador multihaz produce de esta manera un denso diseño de sondas que cubren un amplio sector para cada línea de levantamiento. Ajustando la separación de las líneas para que los haces se superpongan convenientemente, toda la zona de trabajo es hidrografiada dentro del proyecto de líneas y no se requiere ninguna interpolación entre los perfiles o líneas de sondas (22).

De hecho se está haciendo muy común el especificar que un levantamiento se llevará a cabo de manera que se obtenga el 100 por 100 de insonificación del fondo del mar (23). Con esta práctica de levantamiento se descarta toda duda en cuanto a la interpolación y es casi una garantía absoluta de que se detectan todos los obstáculos y rasgos submarinos.



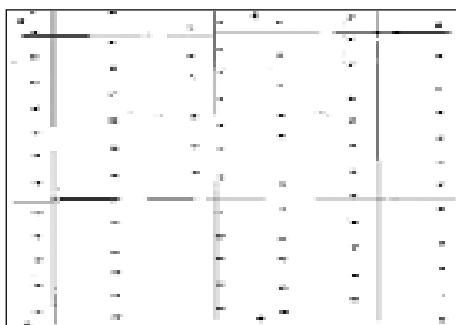
Fondo del mar de la isla Decepción (Antártida) visto desde el este (24).

En las imágenes siguientes, se pueden observar las diferencias en los levantamientos efectuados con monohaz y con multihaz, en la misma zona del este de la península Ibérica.

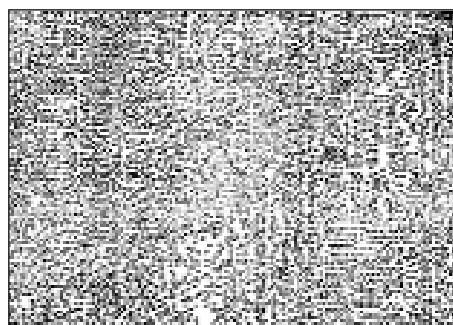
El levantamiento con monohaz está efectuado a escala 1:10.000, es decir, con una separación entre líneas de 100 metros.

Con la utilización de los sistemas que estamos tratando, hoy día hay en el mercado cartas a un menor coste y con mayor calidad.

La calidad de las cartas es mayor no porque el sondeo sea más exacto, sino porque la densidad de las sondas revela todas los rasgos significativos del



Parcelario monohaz (25).



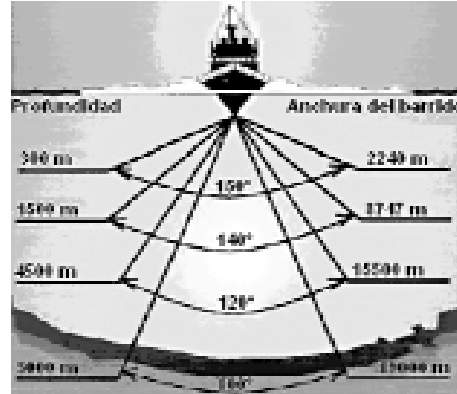
Parcelario multihaz (26).

fondo y elimina los errores, algunas veces grandes, generados al tener que interpolar cómo es el fondo entre las líneas del levantamiento (27).

Por otro lado, al reducirse el tiempo del levantamiento, debido al recubrimiento que se obtiene, se puede reducir el coste del trabajo hidrográfico.

Existe una diferencia en el recubrimiento según se trabaje en aguas someras, ya que el ancho de barrido es función de la profundidad, influyendo también en el ancho del haz utilizado.

En aguas someras, como vemos, el recubrimiento disminuye y la diferencia de tiempo con un levantamiento con monohaz no será excesiva, pero se tendrá la certeza absoluta de cómo es el fondo marino.



Anchura de barrido (28).

### Tipos de sondadores multihaz

Los sistemas de sondador multihaz pueden clasificarse en dos categorías:

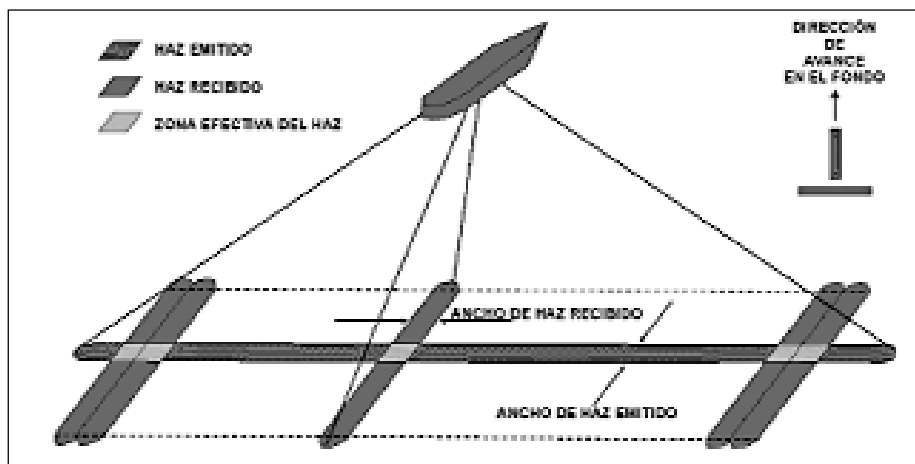
- Formadores de haces.
- Interferométricos.

Los *formadores de haces* calculan el tiempo para cada haz (29) en función del ángulo de recepción de cada uno de ellos. Estos sistemas sólo tienen en cuenta la amplitud de la señal recogida (como en los sistemas monohaz), ignorando la fase de la señal.

Los *interferométricos* proporcionan cálculos de distancia y dirección aplicando el ya definido efecto interferométrico, y en este caso el concepto de «haz» es totalmente virtual, ya que no son haces físicos (30).

### Teoría del funcionamiento

Un sondador multihaz mide simultáneamente la profundidad según varias direcciones determinadas por los haces de recepción del sistema. Estos haces forman un abanico perpendicular al eje del buque. Se explora de esta forma una gran banda ancha sobre el fondo del mar: hablamos de batimetría de superficie y de exploración (insonificación) total. La mayor parte de los



Haces de emisión y recepción (32).

sondadores multihaz funcionan según la técnica llamada de «haces cruzados» (31): un impulso sonoro es emitido a través de un lóbulo de emisión estrecho en sentido longitudinal (del orden de 1 a 5 grados) y ancho transversal (entre 120 y 210 grados).

La recepción se hace con la ayuda de haces bastante anchos longitudinalmente (del orden de 20 grados) y estrechos en el plano transversal. Por cada haz de recepción, la zona de fondo explorada («huella») es la intersección entre el lóbulo de emisión y el haz de recepción.

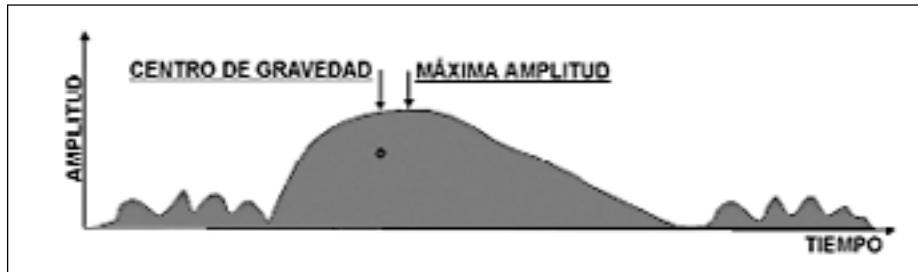
La medida de la batimetría con estos sistemas consiste en procesar las señales de cada haz para determinar el instante de retorno del impulso sonoro. Se obtiene así una medida de profundidades (sonda) por haz.

Existen diferentes métodos de detección:

#### *Detección por amplitud*

Es el método utilizado en los sondadores monohaz para determinar el tiempo que tarda el recorrido del impulso de sonido. Cuando el sonido tiene un ángulo cero de incidencia en el fondo es una buena técnica de detección calcular el tiempo de llegada del borde primero del eco de retorno. Como el ángulo de incidencia aumenta al medir los haces laterales o cuando el fondo bajo el buque no es horizontal, los ecos de retorno pierden definición en el borde primero. Cuando el ángulo de incidencia llega a ser lo suficientemente grande, el eco estará tan disperso que ya no será posible emplear una simple detección de amplitud con exactitud.





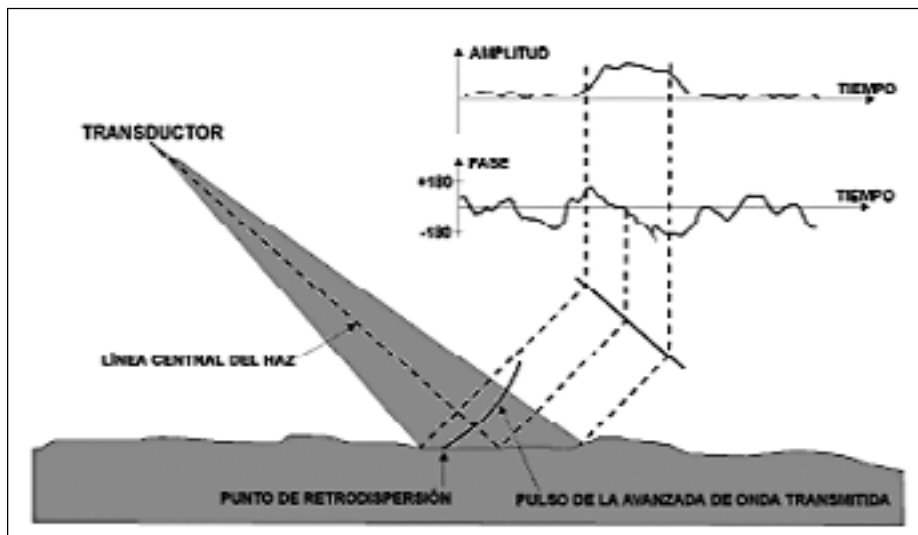
Centro de gravedad (33).

*Detección por fase*

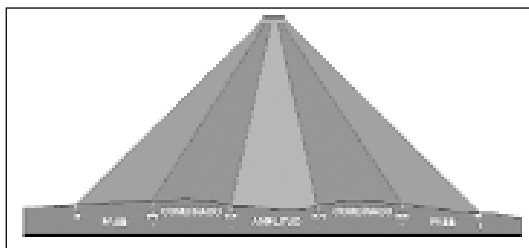
Este tipo de detección utiliza el ya mencionado efecto interferométrico (34). Se basa para ello en detectar el momento en el que la señal recibida invierte su fase, que es cuando se considera que el pulso ha llegado al fondo.

No obstante, este método solamente funciona cuando el ángulo de incidencia es grande o el fondo es relativamente plano, ya que la información de fase puede ser destruida debido a interferencias generadas por ecos múltiples en fondos rugosos o por ángulos bajos (35).

Para evitar este problema por cada haz «generado» se generan dos «subhaces» más, desde diferentes elementos del transductor. La diferencia de fase entre las dos señales es una medida del ángulo de llegada.



Detección por amplitud y fase (36).



Tipo de detección (38).

La detección por amplitud se utiliza para los haces que se encuentran debajo del buque, y la detección por fase para los haces externos, pudiendo utilizarse una detección combinada para los haces intermedios (37). De todas formas, durante los trabajos y en la pantalla de control del sistema

se informa de qué tipo de detección se está aplicando a cada haz.

### Equipamiento

El equipamiento mínimo necesario para trabajar con un sondador multihaz es algo más que el sondador y un sistema de posicionamiento.

Para su óptima utilización el sondador necesita ser conectado a unidades externas que van a permitir que toda la información obtenida sea aprovechada y al mismo tiempo poder detectar aquella que sea dudosa o no aprovechable.

Las unidades externas a las que debe ser conectado el sondador para convertirse en lo que hoy se llama un Sistema Integrado de Sondador Multihaz son:

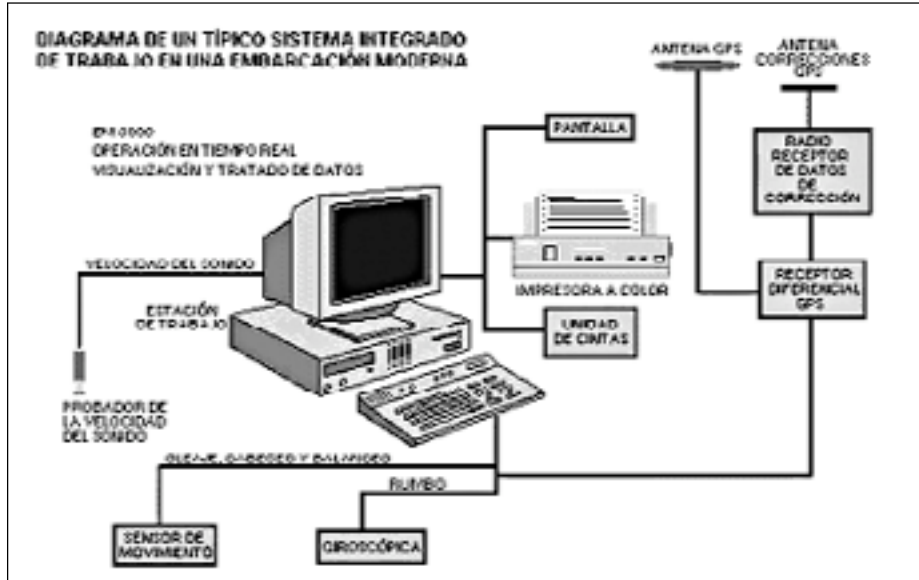
- Sensores de Movimiento del Buque (movimiento vertical, balanceo, cabezada y rumbo).
- Equipo de Posicionamiento de alta precisión.
- Sensor de Velocidad del Sonido en el transductor y en la columna de agua.

### Errores

Como todos los equipos electrónicos de medida, los sondadores multihaz tienen un límite físico en la precisión que pueden alcanzar. Este límite viene dado por factores de tipo tecnológico, como son el tipo de transductor, la potencia de emisión, la frecuencia de emisión, frecuencia de muestreo, etcétera.

Existen no obstante otros factores externos que pueden afectar de forma importante a la precisión de los levantamientos efectuados, tanto por un error en la medida del sondeo como por un error en su posicionamiento.

El error propio del sondador dependerá en gran medida de la relación señal/ruido en el receptor, aunque puede modelizarse como una función



Sistema integrado de sondador multihaz (39).

dependiente de la distancia mostrada (40), el ancho del haz, la longitud del pulso y el ángulo y distancia en la que se mide (41).

En principio la topografía del fondo marino contribuirá directamente en el error por los efectos que tiene en la señal reflejada, aumentando el ruido en la señal cuanto más irregular sea el terreno. Además si hay mucha variación de profundidad dentro del área iluminada por el haz, también se incrementará el error vertical, principalmente si se utilizan algoritmos basados en la amplitud del eco (42). Aparte de los errores inherentes al sondador existen otros errores introducidos por algunas de las periféricas conectados a éste, fundamentalmente las giroscópicas y los sensores de movimiento (movimiento vertical, cabezada, balanceo y rumbo).

Como ya hemos visto, un sistema de sondadores multihaz es capaz de posicionar un punto en el fondo del mar y determinar su profundidad con bastante exactitud. El problema que existe es que la referencia que utiliza en el momento de la medición es él mismo, el buque, que está sometido a un rumbo, una velocidad y a una aceleración instantáneas en ese momento. Ésta es la razón por la que las medidas obtenidas deben ser referidas a un sistema de coordenadas general (latitud y longitud) y obtener una profundidad absoluta.

Debido a esto cualquier error cometido en la determinación de los factores que vamos a examinar se traducirá directamente como un error en la medida efectuada (43):

## TEMAS PROFESIONALES

- Movimiento vertical (oleaje): los errores en la determinación de este movimiento vertical se traducen directamente en un error de profundidad.
- Movimiento de balanceo: un error en la determinación del ángulo de balance del buque se traducirá en errores de posición del sondeo en el eje transversal al buque y en errores en la determinación de la profundidad del sondeo.
- Movimiento de cabeceo: causan errores de profundidad y posición del sondeo en el eje longitudinal del buque.
- Errores en rumbo (guiñadas): causan errores en los ejes transversal y longitudinal, es decir, en la posición del sondeo efectuado.

Hay que tener en cuenta que las giroscópicas son instrumentos contruidos normalmente alrededor de acelerómetros angulares (giróscopos) y por tanto se ven afectados por errores dependientes de la latitud, así como por la aceleración de la plataforma (44).

Independientemente de los errores en sonda y posición que se producen con los conocimientos descritos con este último (guiñada) y el balanceo, si no están bien calculados, no conseguiremos el recubrimiento total del fondo.

Otra fuente de error muy importante, y de la que ya hemos hablado y por eso sólo la vamos a nombrar de pasada, es *la velocidad del sonido* en la columna de agua en la que estamos trabajando.

### Calibración

Como hemos visto son muchos los factores que determinan que un levantamiento utilizando sistemas multihaz no tenga errores, y debido a ello es necesario efectuar una calibración del sondador para identificar y cuantificar los errores sistemáticos que degradan las medidas de profundidad, así como su situación.

Dado que los sensores van desviándose con el tiempo, y el retraso del sistema de posicionamiento puede variar la configuración del sistema, es necesario efectuar una calibración a intervalos regulares: una vez al mes, o al inicio de cada nuevo levantamiento (45).

### Trabajo con multihaz

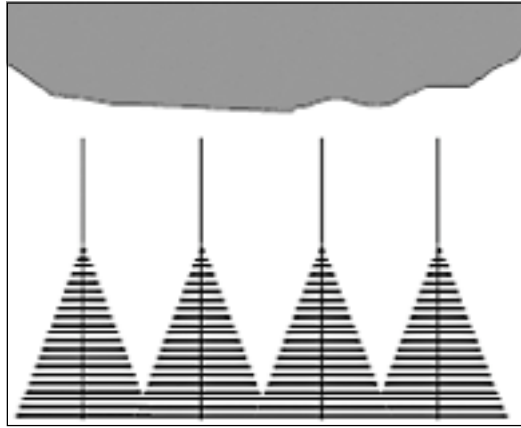
Los trabajos de batimetría que se realizan con sondadores multihaz se realizan de forma distinta a como se efectúan con sondadores monohaz, ya que las líneas de levantamiento no pueden realizarse, como estábamos acostumbrados, perpendiculares a la costa, porque el recubrimiento (que depende

de la profundidad) va disminuyendo, y de esta forma van quedando huecos que es necesario rellenar, con lo que no se aprovecha el recubrimiento que se obtiene con este tipo de sistemas.

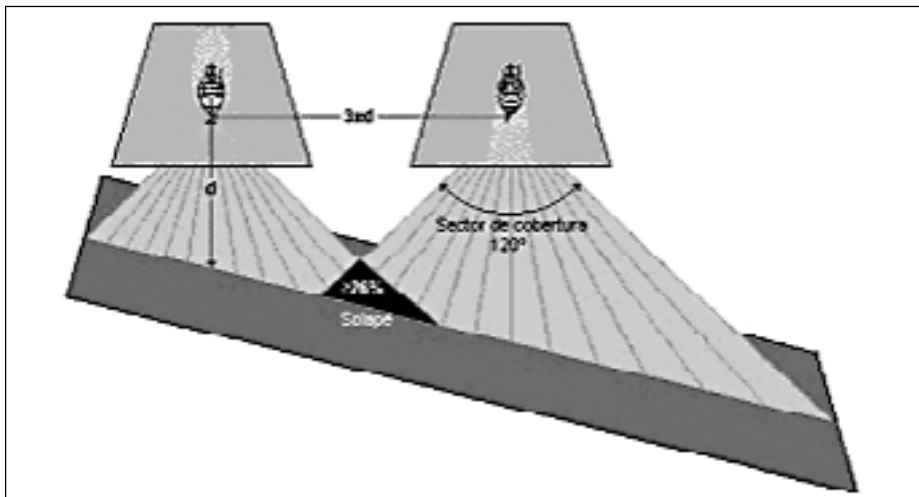
Para optimizar el rendimiento de los sondadores multihaz, los levantamientos deberán programarse con las líneas de sondas paralelas a los veriles, con lo que sí aprovechamos el recubrimiento que este tipo de sistemas obtiene durante los trabajos.

Otro detalle importante a tener en cuenta cuando trabajamos con este tipo de sondadores, es que desaparece el concepto de escala en lo que se refiere al levantamiento batimétrico (48).

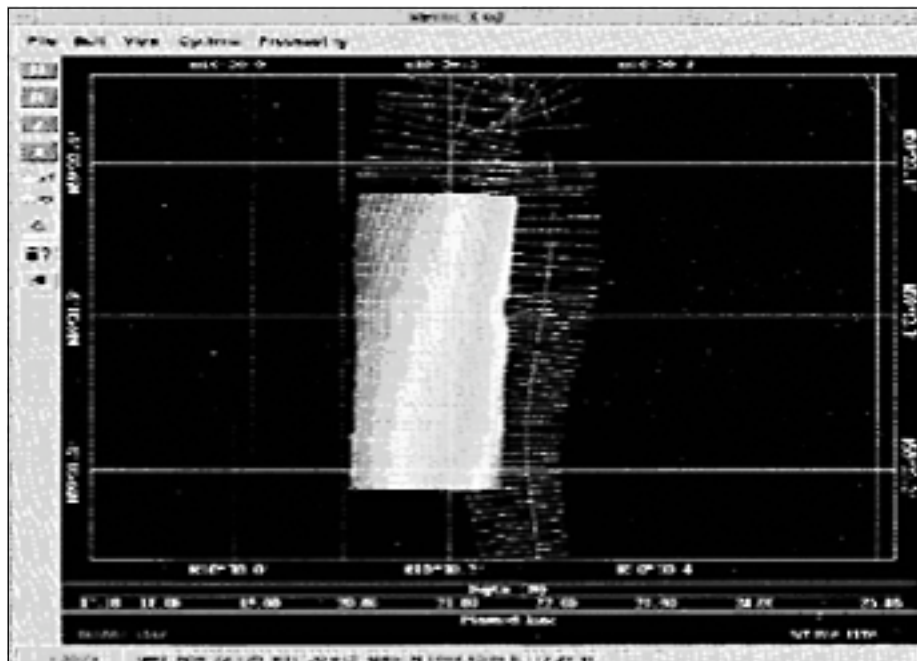
Hay que tener en cuenta que en muchas zonas no se conoce el relieve submarino o no se tiene confianza en los datos que se poseen; por eso es aconsejable cuando se va a realizar un levantamiento en estas zonas comenzar la primera línea de sondas por la zona de menor profundidad y disponer de un despliegue de líneas separadas 500 metros (49), con objeto de que en función de la profundidad encontrada durante la línea, separar la siguiente un múltiplo



Líneas de sonda perpendiculares a tierra (46).



Solapa con multihaz (47).



Pantalla de visualización en tiempo real (50).

o submúltiplo de la separación entre líneas, ya que al ser la línea de sonda paralela a los veriles no varía demasiado la profundidad.

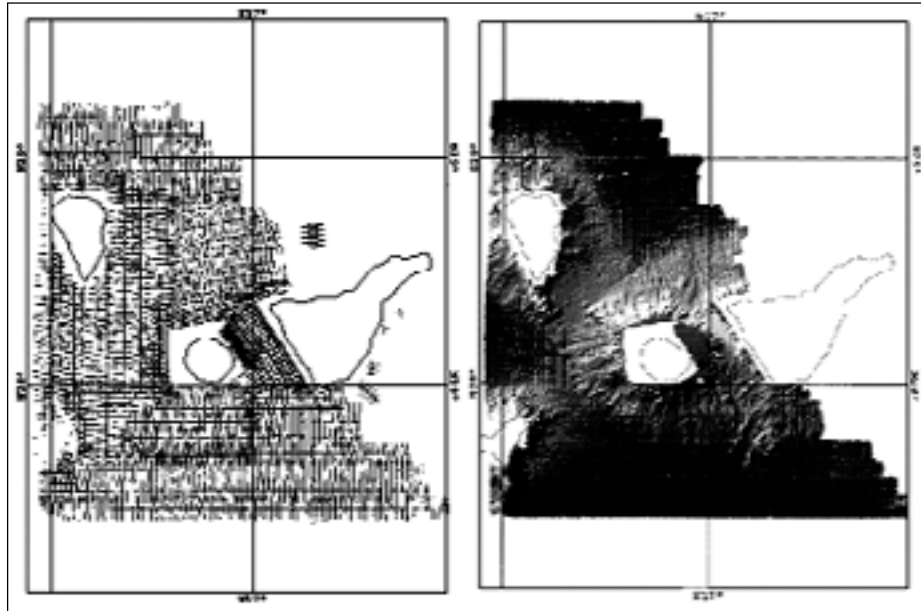
Cuando se trabaja con sondadores monohaz, el ecograma da una idea de cómo va el fondo sobre cada línea de levantamiento, y cuando éste ha terminado, procesando a bordo del buque se puede obtener si se ha cubierto la zona del trabajo.

Cuando trabajamos con sondadores multihaz, tanto la profundidad que se está obteniendo a lo largo de la franja de cobertura, así como el recubrimiento que estamos obteniendo, se visualiza en tiempo real.

Asimismo se van creando unos ficheros que van a permitir cada cierto tiempo comprobar cómo va el recubrimiento en toda la zona del trabajo, así como una aproximación de los resultados.

### **Hidrografía láser mediante aeronaves**

La hidrografía láser mediante aeronaves es una técnica de levantamiento en franjas para aguas someras costeras, complementaria de los sistemas acústicos multihaz.



Recubrimiento de la zona (51) (izquierda). Aproximación de los resultados (52) (derecha).

Su capacidad de realizar levantamientos con elevadas tasas de cobertura, gran densidad de sondas y exactitud convierten a estos sistemas en una herramienta efectiva para muchas aplicaciones de levantamientos hidrográficos. Otra ventaja es que pueden levantar de forma continua la topografía del fondo del mar hasta cruzar la línea de costa y entrar en tierra.

Los sistemas acústicos multihaz proporcionan una cobertura total del fondo y son ideales en aguas profundas, donde la franja de cobertura es grande. Sin embargo, en aguas someras de menos de 50 metros, estos sistemas limitan mucho la franja de cobertura, ciñéndose a veces al doble de la profundidad del agua, y su



Levantamiento con láser (53).

## TEMAS PROFESIONALES

utilización es problemática en aguas infectadas de bajos. Además estos sistemas no pueden levantar hasta la unión tierra/agua y, desde luego, no hasta dentro de la misma tierra adyacente (54).

La técnica que se utiliza para la batimetría láser es en muchos aspectos idéntica a la convencional. Las diferencias fundamentales son el reemplazo del barco hidrográfico por una aeronave y el cambio del método de obtención de las sondas.

- 
- (1) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, Francisco J.: *Dispositivos utilizados en hidrografía para el levantamiento de cartas náuticas*. Cádiz, 2000.
  - (2) Ídem.
  - (3) *Multibeam Sonar Theory of Operation*. *Seabeam Instruments*. Pág. 2-8.
  - (4) Ídem.
  - (5) *Multibeam Principles*. Kongsberg/Simrad. Horten. Noruega.
  - (6) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, Francisco J.: *Dispositivos utilizados en hidrografía para el levantamiento de cartas náuticas*. Cádiz, 2000.
  - (7) Ídem.
  - (8) *Evaluation of Shallow Water Multibeam Echosounder for Inland Waterways*. Harold Bötch. Federal Institute of Hydrology. Germany.
  - (9) *IHO Standards for Hydrographic Surveys*. 4th Edition. Mónaco, 1998.
  - (10) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, Francisco J.: *Dispositivos utilizados en hidrografía para el levantamiento de cartas náuticas*. Cádiz, 2000.
  - (11) Uno de los más conocidos es el desarrollado por Nathalie Debese para el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Marina francesa (SHOM). Su nombre es L'estimateur Tukey. Shom. Brest, 1998.
  - (12) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, Francisco J.: *Dispositivos utilizados en hidrografía para el levantamiento de cartas náuticas*. Cádiz, 2000.
  - (13) *Atlas Fansweep: Functional Principle*. SAM Electronics.
  - (14) Normalmente la amplitud de cada haz está entre 0,5° y 2°.
  - (15) Luego se produce una compensación por los movimientos del buque (ola, balanceo, cabezada).
  - (16) *Multibeam Principles. Depth Calculations*. Kongsberg/Simrad. Horten. Noruega.
  - (17)  $R=0,5 * C*T$  (C, velocidad del sonido y T, tiempo de ida y vuelta).
  - (18) Energía acústica devuelta por el fondo, que depende del tipo de éste y que no es utilizada para el cálculo de la profundidad.
  - (19) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, Francisco J.: *Dispositivos utilizados en hidrografía para el levantamiento de cartas náuticas*. Cádiz, 2000.
  - (20) *Mapping in deep water*. Kongsberg/Simrad. Horten. Noruega.
  - (21) Mediante batitermógrafos o perfiladores de velocidad del sonido.
  - (22) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, Francisco J.: *Dispositivos utilizados en hidrografía para el levantamiento de cartas náuticas*. Cádiz, 2000.
  - (23) Normas para los levantamientos hidrográficos contenidas en las *Instrucciones Normativas de Hidrografía para buques con Sondador Multihaz*. Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz.
  - (24) Archivo fotográfico de la Sección de Hidrografía. Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz.
  - (25) Ídem.
  - (26) Ídem.



- (27) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, Francisco J.: *Dispositivos utilizados en hidrografía para el levantamiento de cartas náuticas*. Cádiz, 2000.
- (28) Dibujo del autor.
- (29) Hay sistemas que crean los haces tanto en la transmisión como en la recepción y otros sólo en la recepción de la señal devuelta por el fondo.
- (30) Los fabricantes siguen utilizando el término «haces» en estos sistemas para facilitar la comprensión.
- (31) *Principles de fonctionnement d'un sondeur multiférisceaux*. Shom. Brest. France, 2001.
- (32) *Multibeam Principles*. Kongsberg/Simrad. Horten. Noruega.
- (33) Seabat 8100 Series. New-Generation Multibeam Echo Sounders. 1998.
- (34) Comparando la fase del eco de retorno en dos o más transductores separadas físicamente, se puede estimar el ángulo de llegada además de la distancia.
- (35) Instrumentación Oceanográfica. Unidad de Gestión de Buques Oceanográficos e Instalaciones Polares. Sección Acústica. Barcelona 2.000.
- (36) Simrad Multibeam Echo Sounder Systems. Horten. Noruega.
- (37) Sea Bat 8100 Series. New Generation Multibeam Echo Sounders RESON Inc. California. 1988.
- (38) Dibujo del autor.
- (39) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, Francisco J.: *Dispositivos utilizados en hidrografía para el levantamiento de cartas náuticas*. Cádiz, 2000.
- (40) Huella sobre el fondo, que depende del fondo y ancho del haz.
- (41) Huella sobre el fondo, que depende del fondo y ancho del haz.
- (42) Instrumentación Oceanográfica. Unidad de Gestión de Buques Oceanográficos e Instalaciones Polares, Sección Acústica. Barcelona, 2000
- (43) Ídem.
- (44) Ídem.
- (45) Unidad de Gestión de Buques Oceanográficos e Instalaciones Polares, Sección Acústica. Barcelona, 2000.
- (46) *Multibeam Principles*. Kongsberg/Simrad. Horten. Noruega.
- (47) Dibujo del autor.
- (48) Sondas con Multihaz. Sección de Hidrografía del Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz. 1998
- (49) En los levantamientos monohaz, las líneas de sondas estaban espaciadas una distancia que dependía de la escala de la carta que se iba a levantar.
- (50) 500 metros es un ejemplo. La cantidad deberá depender de la profundidad estimada de la zona.
- (51) Datos obtenidos a bordo del BIO *Hespérides* en aguas de las islas Canarias en la Campaña ZEE-99. Archivo de la Sección de Hidrografía del Instituto Hidrográfico de la Marina.
- (52) Archivo de la Sección de Hidrografía del Instituto Hidrográfico de la Marina.
- (53) Ídem.
- (54) LADS Corporation Ltd. Australia.
- (55) John Banic y Gran Cunningham. Optech Inc. Toronto. Canadá.