

LOS SONDADORES MONOHAZ (I)

Francisco J. PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ



Los menores ruidos se transmiten con una velocidad a la cual el oído no está habituado en tierra. En efecto, el agua es para el sonido mejor vehículo que el aire y se propaga en ella a una velocidad cuatro veces mayor. (...) Ruidos profundos, transmitidos netamente en este medio líquido, repercuten con una majestuosa amplitud.

(Julio Verne. *Veinte mil leguas de viaje submarino*).



EMASIADO hemos hablado del escandallo y de los sondadores multihaz, pero hemos tratado superficialmente el equipo que ha sido durante más de 50 años el soporte de la Hidrografía: el sondador de un solo haz o monohaz.

Vamos a analizar sus fundamentos, su modo de trabajo y trataremos algunos de los problemas que presentan.

Antecedentes

Desde la más remota antigüedad sabemos que el navegante ha mantenido una incesante lucha a lo largo de la historia para poder conocer el mar y «andar» sobre él. En palabras de Baltasar Vellerino de Villalobos: «...que los hombres de la mar sepan y entiendan lo que tanta necesidad tienen de saber...» (1).

En esta constante búsqueda se inscribe el contenido del presente trabajo y del anterior («Del escandallo a la batimetría láser»): la evolución de los instrumentos, en este caso el sondador, que ha ido haciendo posible el conocimiento de ese mar ignoto, al decir de los antiguos, y que la navegación sea cada vez más segura, siendo proporcional el aumento de seguridad al avance técnico y científico.

Volviendo la vista a los antiguos derroteros, verdaderas guías para desvelar los secretos del mar, podemos leer un pasaje de *Espejo de Navegantes* de Alonso de Chaves (2), cuando se refiere al puerto de San Germán, en Puerto Rico: «...el puerto tiene a la banda sur... una bahía: apártense de ella».

Siglos más tarde el contenido tampoco parece haber evolucionado tanto. En un derrotero de finales del XIX se dice: «Advertencia importante: Si se baraja la costa de S a N con objeto de tomar Camariñas, y se desea pasar bien francos por fuera de la laja... hay que llevar abiertas las marcas que sitúan la laja y para pasar por tierra llevarlas cerradas». A continuación, añade para terror total del lector y por si acaso no se había tomado en serio la advertencia: «En la madrugada del 6 de mayo de 1863 embistió sobre esta laja el vapor mercante español *Santander* y se fue a pique al momento... las olas que combaten este temible pedazo de tierra cuando reina el temporal de travesía se elevan a prodigiosa altura y es preciso huir de ella» (3).

Han pasado tres siglos entre un derrotero y otro. Sin embargo los dos se limitan a prohibir o a alertar al navegante infundiéndole temor en términos como los que hemos subrayado.

Esto nos lleva a otra conclusión final. El conocimiento del mar y, por consiguiente, el aumento de la seguridad de la navegación corre paralelo al desarrollo científico. Al permanecer las técnicas e instrumentos que se empleaban en este campo prácticamente estancadas durante siglos, como veremos más adelante, no se producirá avance alguno hasta los albores del siglo XX. A partir de entonces, la evolución será vertiginosa e imparable.

Introducción al sonido

Aproximadamente en 1925 hacen su aparición los ecosondadores, también llamados sondadores acústicos, que fueron reemplazando poco a poco a los escandallos como instrumentos utilizados en la medida de las profundidades en los levantamientos batimétricos.

Los sondadores a los que vamos a pasar revista a partir de este momento y que son usados tanto por los hidrógrafos como por la comunidad científica e industrial para la determinación de la topografía submarina operan mediante ondas de sonido.

Hay buenas razones para utilizar las ondas de sonido en la detección submarina, siendo la más importante la velocidad de propagación de las ondas sonoras en el agua del mar. Vemos, pues, que el sonido nos va a permitir utilizar una serie de dispositivos que han hecho posible mejorar notablemente el conocimiento del fondo del mar, contribuyendo a aumentar la seguridad de la navegación.

Ésta es la razón por la cual vamos a dedicar unas páginas a estudiar, de un modo muy somero y sin utilizar carga matemática, qué es la acústica, aplicada siempre a la detección submarina.

La puesta en funcionamiento de medios de transmisión y comunicación a grandes distancias (teléfono, radio, televisión) es uno de los mayores éxitos tecnológicos del mundo moderno, que ha tenido repercusiones sociales y

culturales gigantescas. La mayor parte de estos sistemas de telecomunicación utilizan la propagación de las ondas electromagnéticas; de la misma naturaleza que la luz, estas ondas aparecen, desde el descubrimiento de sus propiedades en el siglo XIX y el comienzo de su utilización en el XX, como un formidable medio de transmisión, así como una potente herramienta de exploración y vigilancia de nuestro entorno a través de su utilización en el radar. Se propagan en el vacío y en la atmósfera, y han visto extenderse su campo de aplicación con la conquista espacial y la generalización de los satélites de telecomunicaciones y teledetección.

Sin embargo el dominio submarino (correspondiente al 70 por 100 del globo terrestre) escapa casi totalmente a la utilización de las ondas electromagnéticas, pues el agua, y sobre todo el agua salada, debido a su carácter disipativo, ligado a su gran conductividad, provoca una atenuación extremadamente fuerte, que las hace rápidamente inoperantes. El único vehículo que permite transportar bajo el mar informaciones con unas características para su explotación es el constituido por las ondas acústicas, que son vibraciones mecánicas del medio de propagación.

Ahora, antes de entrar en materia, hagamos un poco de historia.

Aunque podemos considerar que los mayores avances en acústica se han producido a partir del comienzo de la Segunda Guerra Mundial, durante este periodo se produjo una febril actividad en la investigación acústica submarina, sus aplicaciones militares fueron importantes y las principales potencias invirtieron gran cantidad de recursos en investigación y desarrollo en este campo, con propósitos militares.

El fenómeno de la propagación del sonido a través del agua es bien conocido desde hace siglos. Ya en 1490, Leonardo Da Vinci descubrió que era posible detectar la presencia de barcos lejanos escuchando por el extremo de un tubo largo cuyo extremo opuesto se introducía en el agua. A pesar de que este rudimentario «sonar pasivo» no proporcionaba ninguna indicación de la dirección e intensidad del sonido recibido, no cabe duda de que representa una primera aplicación práctica de la acústica submarina.

En 1687, Sir Isaac Newton escribió los *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, donde se incluye un primer tratamiento matemático de la Teoría del Sonido.

Gran parte del trabajo teórico acerca del sonido, realizado durante los siglos XVIII y XIX, estuvo relacionado con la música y la calidad de reproducción de los instrumentos musicales, campo en el que trabajaron científicos como D'Alembert, La Grange, Bernouilli y Euler.

El estudio del barón Jean Baptiste Fourier sobre la transmisión del calor (4) es el fundamento del estudio armónico del sonido.

Fue George Ohm el primero, en 1843, en darse cuenta de que los sonidos podían descomponerse en una serie de tonos simples cuya expresión matemática venía dada por las series de Fourier.

La primera medida cuantitativa del sonido en el agua se puede atribuir al físico suizo Daniel Colladon y al matemático francés Charles Sturm, quienes en 1827 realizaron una primera experiencia de medir la velocidad del sonido en las aguas del Lago Lemán, en Ginebra. Para ello emplearon un tubo largo para escuchar la velocidad a la que viajaba el sonido de una campana bajo el agua, obteniendo como resultado 1.435 metros por segundo en agua a 1,8° Celsius, lo cual sólo difiere tres metros por segundo respecto a la medida aceptada hoy día, lo que representa una exactitud asombrosa para los medios con los que se realizó el experimento.

En 1877, Lord Raleigh recopiló todas las investigaciones realizadas en su época, las relacionó entre sí y estableció las bases de la teoría acústica, tal y como hoy se conoce, en su admirable trabajo *The Theory of Sound*.

A principios del siglo XX, empezaron a desarrollarse las primeras aplicaciones de la acústica submarina (5).

Con la Primera Guerra Mundial (1914-1918) el desarrollo de esta disciplina experimentó un importante empuje debido a sus aplicaciones militares.

Durante el periodo 1919-1939, se produjo el desarrollo de las válvulas de vacío, uno de los hitos en el desarrollo de la electrónica (6), que aumentó considerablemente las prestaciones de los equipos de acústica submarina, al mismo tiempo que redujo su tamaño y complicación. En particular, empezaron a desarrollarse los primeros sondadores acústicos para medir la profundidad del fondo del mar.

Hacia 1930, se empezó a observar un extraño comportamiento en los sondadores construidos hasta entonces. Sus prestaciones eran buenas durante las mañanas y muy pobres durante las tardes. Después de descartar fallos en la operación del sistema, se empezó a pensar que la causa podría estar en la propia composición del agua. La explicación final vino con el avance en el conocimiento de los procesos físicos que rigen la propagación del sonido en el agua, y entonces se comenzó a investigar el fenómeno de la absorción del sonido en el agua y otros procesos similares.

Estos estudios experimentaron avances muy importantes a partir de la invención en 1937 del batitermógrafo, instrumento que mide la temperatura en función de la profundidad. Se mejoró entonces el conocimiento de la estructura física de la columna de agua y su influencia en la transmisión (o reflexión) del sonido; en definitiva en la propagación del sonido a través del agua.

Desde el final de la Segunda Guerra Mundial se han producido grandes avances en todas las áreas de la tecnología y la ciencia, y en la acústica submarina, en particular, se han producido grandísimos avances, culminando en nuestros días con los sondadores multihaz, capaces de «barrer» una amplia franja de terreno en cada pasada, logrando el viejo sueño de los estudiosos del fondo del mar: la insonificación total del fondo que permite la visualización completa del mismo.

El sonido

El sonido es la vibración de un medio elástico, bien sea gaseoso, líquido o sólido. El sonido no es un objeto ni es materia, sino como ya hemos dicho un proceso de oscilación o vibración. Se produce mediante un generador de sonido que hace vibrar las partículas adyacentes del medio en que se encuentran (gases, fluidos o cuerpos sólidos) (7). Un diapasón, por ejemplo, transmite sus vibraciones a las cámaras de aire que lo rodean haciendo vibrar las partículas adyacentes.



Diapasón.

Podemos decir que hay un sonido cuando una perturbación mecánica se propaga a través de un medio material y llega a un receptor con capacidad para captarla. Podemos decir, por tanto, que para que exista sonido debe existir:

- Un elemento capaz de producir perturbación mecánica.
- Un medio capaz de propagar la perturbación.
- Un receptor capaz de captar la perturbación.

Cuando nos referimos al sonido audible por los humanos, estamos hablando de la sensación detectada por el oído humano (el receptor).

Propagación del sonido

El sonido es una forma de energía que se propaga mediante ondas longitudinales. La superficie radiante de un emisor submarino al vibrar induce a las partículas del medio a desplazarse de sus posiciones de reposo.

Aunque el sonido se puede transmitir en cualquier medio elástico (en el vacío no hay sonido), adquiere diferente velocidad de propagación de acuerdo con las propiedades de éste.

En el medio acuático la velocidad del sonido depende de la elasticidad del agua y de su densidad y, por tanto, indirectamente de la temperatura, salinidad y presión, aumentando en relación directa con estos tres parámetros.

La velocidad de propagación del sonido en la mar es el parámetro más

TEMAS PROFESIONALES

importante que debe ser conocido para saber cuál es el comportamiento del sonido en este medio. En realidad, lo que interesa es el conocimiento de la *celeridad*, que representa sólo el valor escalar de la velocidad y no su dirección ni su sentido, ya que, al referirnos al sonido en la mar, la propagación tiene lugar mediante ondas esféricas y en todas direcciones.

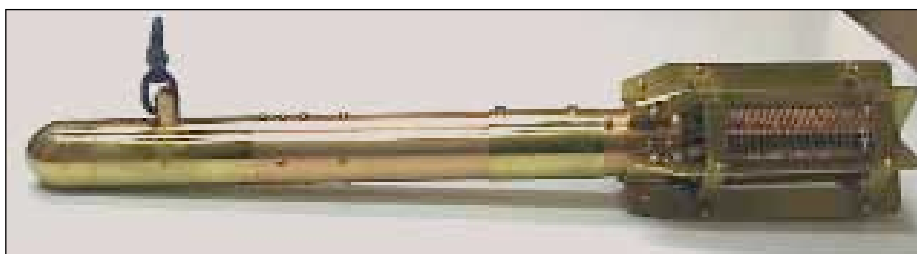
¿Cómo se mide la celeridad?

En la actualidad existen tres métodos para medir la celeridad en la mar:

- El batitermógrafo (BT).
- El batitermógrafo no recuperable (XBT).
- El perfilador de velocidad del sonido.

Los dos primeros miden la temperatura, que como ya hemos dicho es la variable con mayor influencia en la variación de la velocidad de propagación, y el tercero mide directamente la velocidad. A pesar de ser mucho más caros los perfiladores, son cada vez más utilizados por sus innegables ventajas sobre los anteriores (alcanzan más profundidad, dan directamente la velocidad sin necesidad de cálculos de conversión).

El primer aparato que se utilizó para medir la temperatura del agua a distintas profundidades fue el *batitermógrafo*, abreviadamente BT.



Batitermógrafo.

Frente a estos sistemas de medición de temperatura se encuentran los que miden directamente la celeridad, mucho más precisos ya que el dato de interés es obtenido directamente y no a través de una de las variables de la fórmula. Los aparatos que realizan estas mediciones se denominan comúnmente perfiladores de la velocidad del sonido. Estos aparatos miden directamente la velocidad del sonido a lo largo de toda la columna de agua por la que se desplazan.

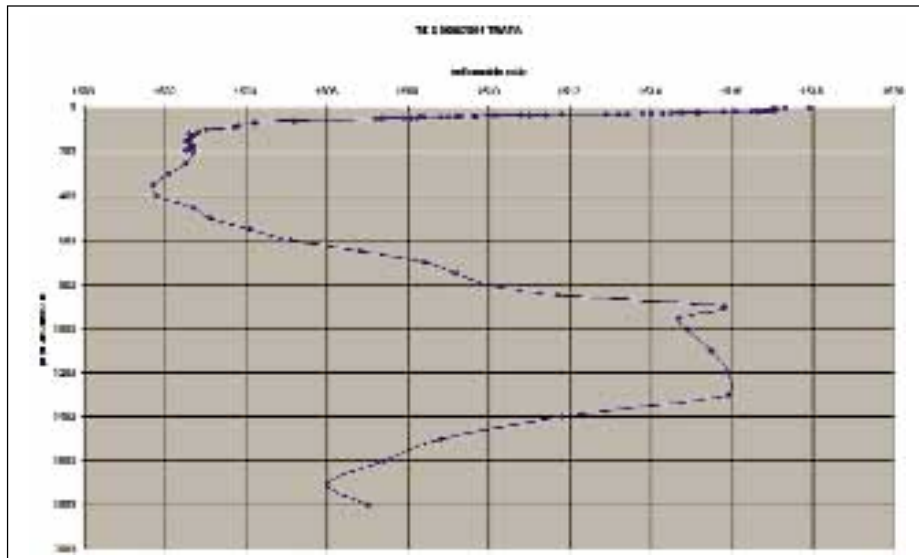


Lanzamiento de un XBT.



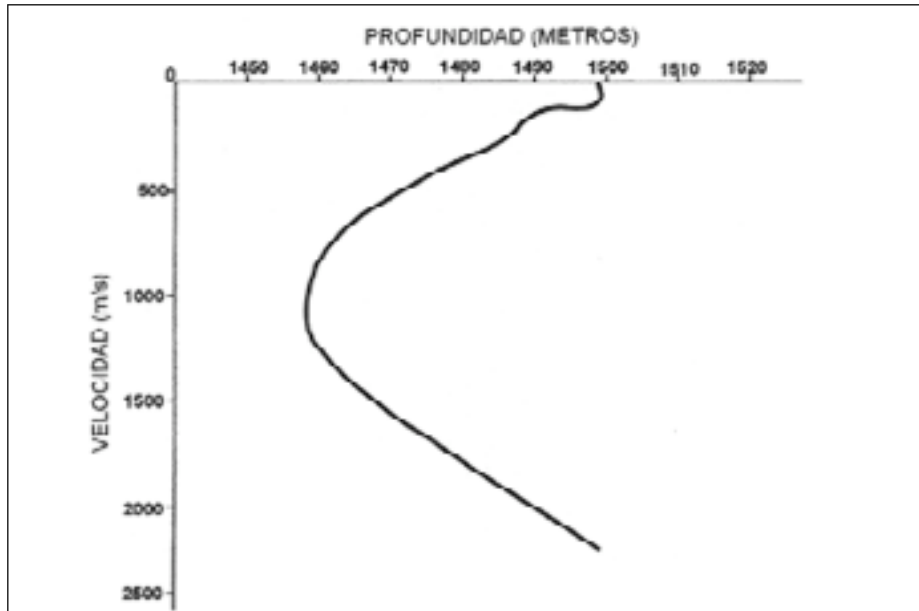
Perfilador.

Los datos pueden ser transmitidos directamente a los sondadores, como es el caso de los sondadores multihaz, o bien almacenados en ficheros que posteriormente son tratados e introducidos en sistemas que los van a utilizar.

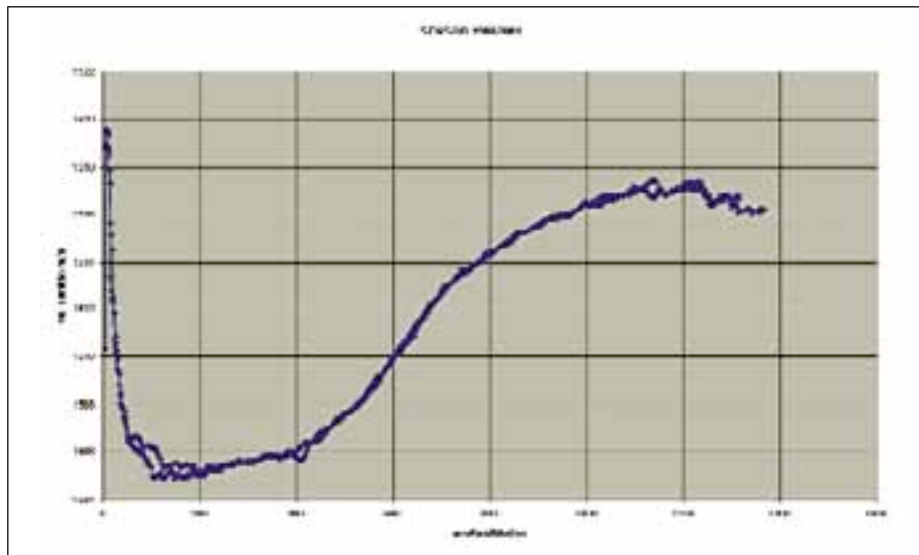


Traza de velocidad del sonido obtenida con un XBT (BIO *Hespérides*).

TEMAS PROFESIONALES



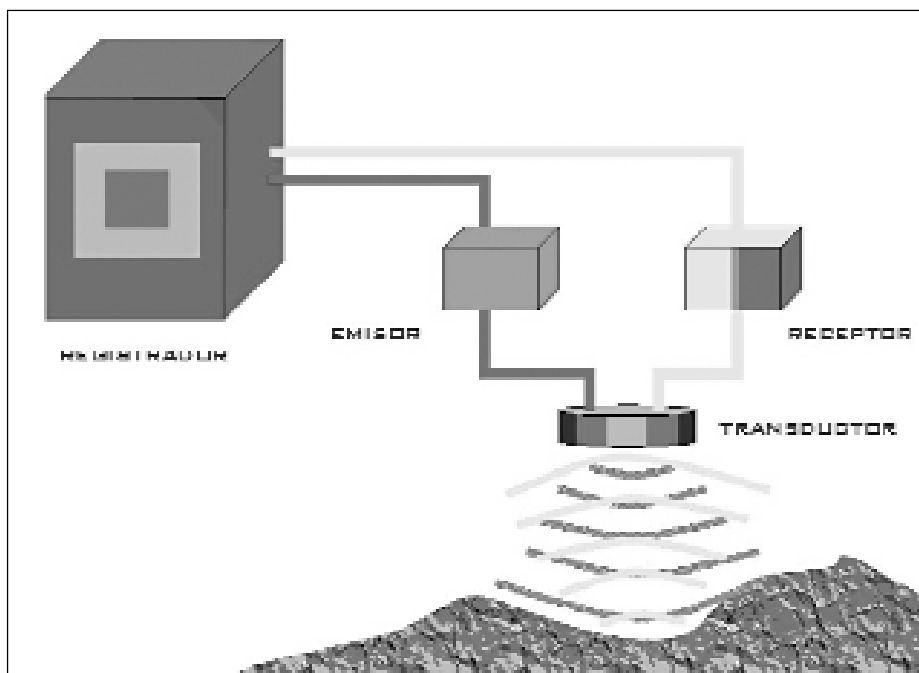
Gráfica de la velocidad del sonido.



Perfil real obtenido en agosto 2001 en aguas del NW de la península Ibérica (BIO Hespérides. Perfilador).

Transductores

Las fuentes sonoras que se utilizan en los sondadores se llaman transductores. En ellos los sonidos son emitidos por elementos mecánicos en vibración. El transductor convierte la energía eléctrica en energía acústica, y viceversa. Normalmente va montado en el casco del barco, aunque a veces, y sobre todo para trabajos en aguas someras, se puede fijar en la borda de cualquier embarcación menor y su trabajo es bien sencillo.



Transductor (10).

Radia cortos pulsos de sonido en el agua y recibe los ecos desde el fondo del mar o desde cualquier objeto submarino.

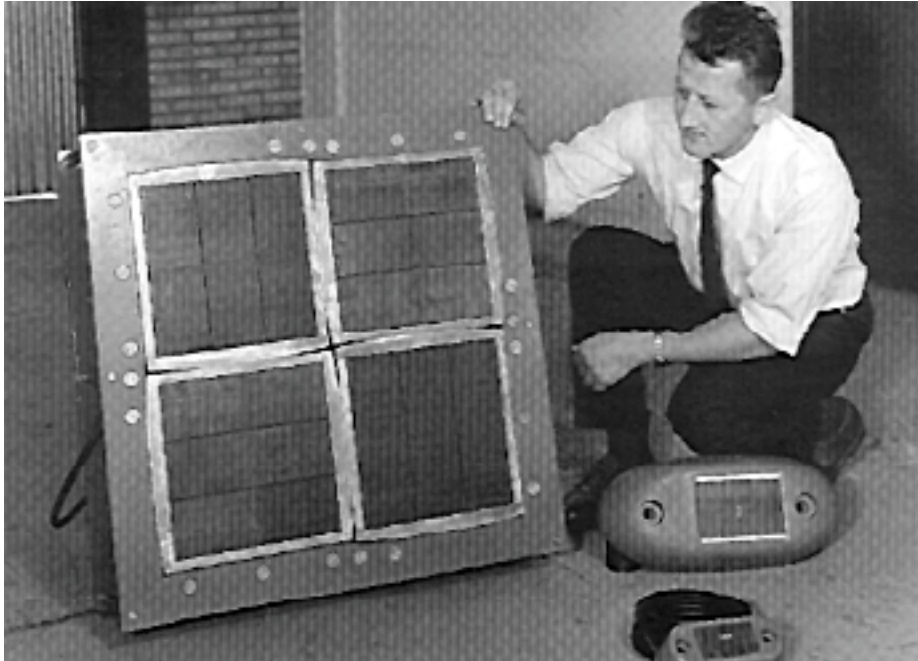
Normalmente se usa el mismo transductor para radiación y recepción, excepto en equipos muy especializados, donde por distintas razones se usan dos transductores distintos, entonces se llamará hidrófono el que convierte sonido en electricidad y proyector el que realiza el proceso contrario.

El transductor de un sondador puede tener muchas formas diferentes, pero en todos los casos tiene una superficie que es la zona activa. Esta superficie vibra con la frecuencia de trabajo del sondador.

TEMAS PROFESIONALES

La radiación de un transductor no es omnidireccional y, según su geometría y sobre todo su frecuencia, a veces se buscan y se obtienen efectos de direccionalidad.

Existen muchos tipos de transductores, que se podrían clasificar según su origen, pero nosotros nos vamos a centrar en los piezoeléctricos, que son los normalmente usados por los sondadores

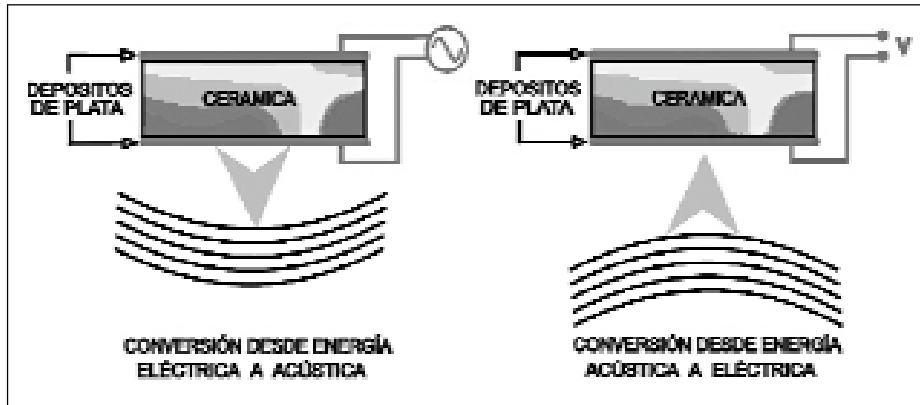


Transductores (11).

Cerámica piezoeléctrica

Hay muchos materiales que tienen la capacidad de convertir la energía eléctrica en acústica, y viceversa. Hoy día, el material más usado es la cerámica piezoeléctrica. Se suele llamar «piezocerámicas». Una tensión alterna, aplicada a electrodos en dos lados opuestos de un disco piezoeléctrico, hace que el disco vibre y por tanto radie ondas de sonido.

Al contrario, si colocamos el disco piezoeléctrico en un campo de sonido y empieza a vibrar, genera un voltaje eléctrico a través del disco. Las cerámicas piezoeléctricas se fabrican en una gran variedad de formas y tamaños (discos, anillos, tubos, esferas, etc.) para su aplicación en varios tipos de transductores.



Cerámicas piezoeléctricas (12).

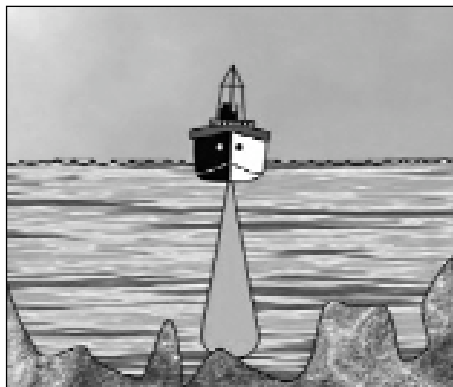
Anchos de haz

El transductor de un ecosondador radia el sonido en un haz dirigido hacia abajo. Según la aplicación, se usa un diferente ancho de haz.

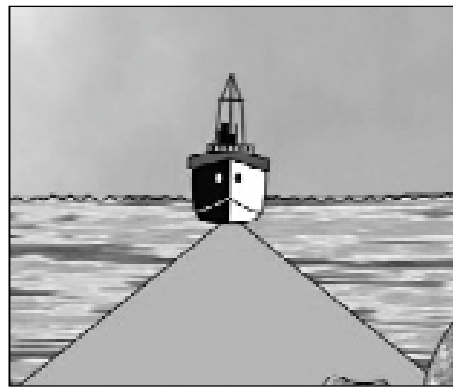
El haz estrecho

Sus usos son los siguientes:

- Para la detección a largo alcance. Un haz estrecho concentra la energía del sonido transmitido y durante la recepción es menos sensitivo al



Haz estrecho (13).



Haz ancho (14).

TEMAS PROFESIONALES

- ruido que un haz ancho (si el medio es isotrópico). Por tanto, un transductor de haz estrecho da una mayor señal con relación al ruido.
- En ecosondadores de alto rendimiento con una alta potencia de salida. La potencia que puede suministrar un transductor aumenta con el tamaño del mismo, siendo los transductores de haz estrecho más grandes.
 - Para obtener precisión en la representación del fondo. Un haz estrecho cubre una zona pequeña en el fondo del mar, dando un registro más detallado y preciso de la topografía del fondo.
 - Permite trabajar al barco con grandes balances y cabezadas. Muchos transductores tienen un haz ancho en el plano transversal y de alguna manera un haz más estrecho en el plano de crujía porque el ángulo máximo de balance es mayor que el ángulo máximo de cabezada.
 - Un bajo coste del sistema. Un transductor de haz ancho es más pequeño y barato que un transductor de haz estrecho.

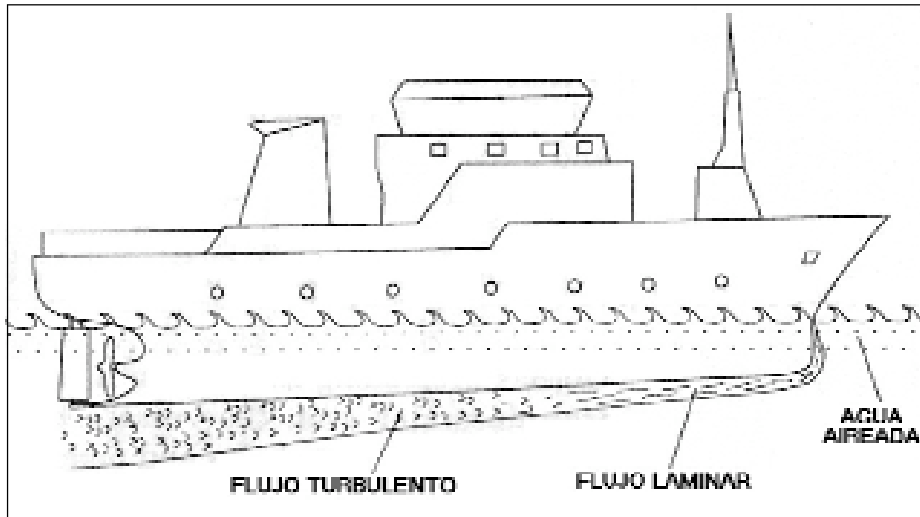
Localización de los transductores en el barco

No se puede dar una norma fija para la localización de los transductores. Depende mucho de la forma y construcción del barco, pero se pueden fijar algunas normas importantes que es conveniente seguir:

- Debe ser colocado en la parte baja del casco, ya que las burbujas de aire que se forman en la superficie cuando el barco navega pueden absorber y reflejar la energía del sonido, llegando incluso a bloquear la transmisión. Otra razón para la colocación en la parte baja del casco es la cavitación originada por los transductores de alta potencia.
- Nunca debe salir a la superficie del agua. (Puede resultar dañado o bloqueado).
- Siempre en la parte delantera del barco para minimizar la influencia de la capa que se forma entre el casco y el agua cuando el barco navega.
- Lejos de las hélices para evitar en lo posible el ruido y preferentemente no en la línea de crujía.
- Colocado en la mitad del barco se minimiza la influencia de la ola, balance y cabezada.
- Los objetos protuberantes del casco (ánodos, zinc, etc.) producen turbulencias y ruido, por eso no deben ser colocados en sus proximidades y, sobre todo, nunca detrás de estos elementos.

Algunas de las normas anteriores pueden ser contradictorias y cada caso debe ser tratado individualmente, intentando encontrar la mejor solución.

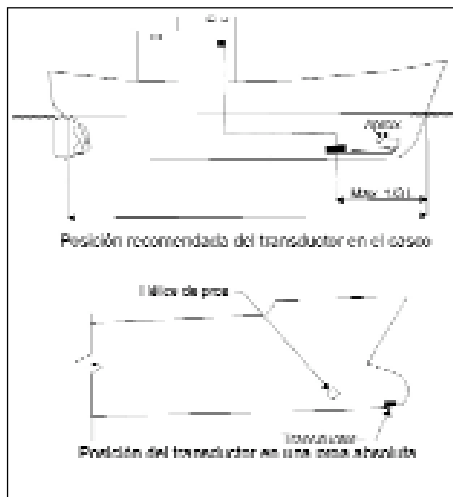
Generalmente el ruido de las hélices es el factor dominante y el lugar reco-



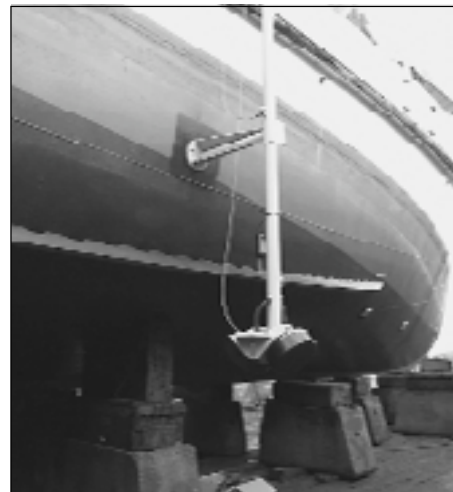
Representación de la capa de separación debajo del buque (15).

mendado para la colocación es la parte delantera del casco a una distancia de la proa igual a la tercera parte de la eslora en la flotación.

Si el barco tiene bulbo en proa, éste puede ser un buen lugar para su instalación, pero es preciso tener en cuenta el diseño del flujo de las líneas de agua.



Posiciones recomendadas del transductor en el casco (16).



Montaje de un transductor a bordo del BH Rigel (17).

TEMAS PROFESIONALES

También pueden ser colocados, cuando no son fijos, en la proa de las embarcaciones o bien por su costado. Normalmente se utiliza este tipo de instalación cuando los sondadores son portátiles y/o está previsto montarlos en otro buque.

Hoy día, cuando en un buque de investigación se montan varios transductores, correspondientes a diversos equipos acústicos (sondas biológicas, sísmicas, etc.), lo normal es montarlos todos juntos en una barquilla, que puede ser fija en el casco o bien puede ser arriada para evitar los efectos de flujo, cavitación, etcétera.

(1) VELLERINO DE VILLALOBOS, Baltasar: *Luz de navegantes*. 1952. Edición facsímil. Museo Naval, 1984.

(2) ALONSO DE CHAVES: *Espejo de navegantes*. Sin datar. Edición facsímil. Museo Naval. Madrid 1983.

(3) *Derrotero de la costa de España y de Portugal desde el cabo Trafalgar hasta el puerto de La Coruña*. P. 660. Dirección de Hidrografía. 1896. Madrid.

(4) *The analytical Theory of Heat*, 1822.

(5) Consistieron en un dispositivo para detectar icebergs a dos millas de distancia y un muy primitivo sonar para la detección de objetos sumergibles.

(6) Junto con la invención del transistor semiconductor.

(7) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, F. J., y otros: *Dispositivos utilizados en hidrografía para levantamientos de cartas náuticas*. Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz, 2000.

(8) Archivo fotográfico Sección de Oceanografía. Instituto Hidrográfico de la Marina.

(9) Archivo fotográfico delantero.

(10) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, F. J., y otros: Ilustración de la obra *Dispositivos utilizados en hidrografía para el levantamiento de cartas náuticas*. Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz, 2000.

(11) Fotografía procedente de SIMRAD.

(12) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, F. J., y otros: Ilustración de la obra *Dispositivos utilizados en hidrografía para el levantamiento de cartas náuticas*. Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz, 2000.

(13) Ídem.

(14) Ídem.

(15) Procedencia: SIMRAD.

(16) Ídem.

(17) Archivo fotográfico del Instituto Hidrográfico de la Marina. Sección Hidrografía.

(18) *Echo sounder transducers. Installation manual*. SIMRAD, 1966.

(19) Archivo fotográfico del Instituto Hidrográfico de la Marina. Sección Hidrografía.