

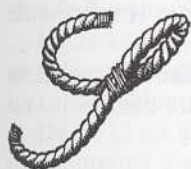
DEL ESCANDALLO A LA BATIMETRÍA LÁSER

Francisco J. PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ



La naturaleza de la tierra de Egipto es tal que sólo a un día de vela desde la orilla el escandallo levanta el fango del suelo.

Herodoto (año 450 a. C.).



EGÚN Diego García de Palacios, el escandallo «es la plomada de la sonda con que se sabe en qué cantidad de agua está el navío: y sonda es una cuerda gruesa como el dedo meñique, muy larga, y con ésta y el escandallo se sabe el fondo en que se está. Hacer esto se llama sondear» (1).

Mediante esta operación, practicada desde muy antiguo, es posible medir la profundidad del mar en un punto de coordenadas conocidas y corregir los errores instrumentales o de operación, así como los producidos por los efectos de las mareas.

Aunque entre la sondaleza de García de Palacios, que los cartagineses conocieran con el nombre de bolide, y los actuales sondadores acústicos hay una considerable distancia, ésta se siguió usando hasta bien entrado el siglo XX.

Realmente la estructura y prestaciones de este aparato permanecen prácticamente inalterables durante siglos.

La preocupación por su perfeccionamiento se deja sentir a partir de la segunda mitad del XIX en adelante. Esto estuvo motivado seguramente porque, hasta ese momento, para los barcos y el tipo de navegación que se practicaba el conocimiento de profundidades era menos relevante que otro tipo de informaciones. Esto lo podemos comprobar en los «periplos» griegos, donde se registraban todos los datos que el piloto debía conocer sobre corrientes, vientos, lugares apropiados para el fondeo o varada de las naves durante la noche en la playa, peligros para la navegación... En términos actuales, el periplo era un diario o derrotero de viaje.

Mientras la navegación que se practicó fue costera o de cabotaje, el periplo era más útil al piloto que cualquier carta. Durante siglos fue la principal fuente de información.

El descubrimiento de la aguja magnética en el siglo XII tuvo como primera consecuencia la ampliación de los contenidos del periplo: ahora también incluían rumbos para navegar entre puertos. Los periplos se convirtieron así en libros portulanos (2).

Los libros portulanos proporcionaron los datos necesarios para el trazado de las cartas de marear, dando lugar a la carta arrumbada denominada también portulana o de compás.

Por un curioso proceso de inversión, los libros portulanos pasaron de ser fuente de las cartas a complementos de las mismas, perpetuándose hasta nuestros días con los nombres de derroteros, *sailing directions*, *routiers* o roteiros.

El paulatino desarrollo de la Cartografía y de la Hidrografía y, fundamentalmente, el vertiginoso progreso científico y tecnológico experimentado en los cien últimos años, han llevado a conseguir una instrumentación con un nivel de exactitud impensable en el pasado. Esto, no obstante, incorpora un importante grado de sofisticación en las operaciones y, por tanto, es necesario contar con precisiones elevadas o simplemente tener en cuenta parámetros que hasta ahora eran tratados de forma aproximada o, sencillamente, eran ignorados. Nos referimos al posicionamiento, a la distribución térmica en la masa de agua o al balance, la cabezada y la altura de la ola.

Buena prueba de este progreso instrumental son los sondadores acústicos multihaz, reflejo de la tecnología que hoy día se impone en este campo.

Antecedentes

Desde la más remota antigüedad todo aquello que se ocultaba bajo la superficie del mar atrajo la atención del hombre. La mar era tan desconocida como temida. Así decía Platón que navegar por la mar era más ejercicio de locos que de filósofos, o Antonio de Guevara (3), que la consideraba como «muy deleitosa de mirar y muy peligrosa de pasear». No obstante, a pesar de este temor y de las dificultades que entrañaba el conocimiento submarino, pronto el hombre hubo de desvelar algunos de sus secretos y, por tanto, desarrollar los ingenios que proporcionarían los correspondientes conocimientos.

Una de las actividades más antiguas del hombre fue la navegación, y esta práctica necesitaba del conocimiento de la morfología no sólo de las costas, sino de los fondos submarinos, en especial cuando la navegación, gracias a la evolución de las naves, permitió aumentar sus portes y ampliar horizontes en sus destinos. En un principio y prácticamente hasta los albores del siglo XX, debido a lo elemental de los métodos empleados, sólo era posible conocer las profundidades (sondas) en las zonas próximas a la costa o en aquellas de

profundidades someras, con un nivel de precisión no muy elevado. Esto parecía bastar a una navegación de superficie con naves de calado relativamente modesto. Es por eso que hasta 1780 la cartografía en general contiene pocas sondas. Estas, normalmente, figuran en las enfilaciones de los fondeaderos o en los puertos, no expresando la mayoría de las veces la unidad en la que se han medido.

A partir de 1780, tanto la cartografía de Tofiño como la de Malaspina, en España, contienen sondas expresadas en *brazas de a 2 varas castellanas*, siendo la *braza de a 6 pies de Burgos* (4).

Hacia 1862, se encuentran en las cartas las sondas expresadas simplemente en «brazas» o «pies» y a partir de 1867 aparecen expresadas en metros y todas las cartas incluyen una tabla de reducción de metros a brazas o pies.

De 1872 en adelante, las cartas, sin excepción, tienen las sondas expresadas en metros y ya no suele incluirse tabla de reducción (6).

El primer instrumento utilizado para la obtención de profundidades, con vistas a asegurar la navegación y del que tengamos noticias, fue la vara de sondar. Hay indicios de que fue usado en Egipto 3.000 años antes de Cristo.

De esta época podemos suponer el nacimiento de una rudimentaria Hidrografía, ciencia que tiene como fin establecer la morfología del fondo marino y plasmarla en cartas náuticas útiles al navegante.

La acumulación de datos hidrográficos y el perfeccionamiento de los sistemas de posicionamiento produjeron con el tiempo importantes mejoras en las cartas náuticas, si bien la técnica de sondar permanecía prácticamente estancada en el escandallo. Debemos señalar que el periodo de tiempo considerado comprende desde las ya citadas primeras noticias del 3000 a. C. hasta los albores del siglo xx.

Es en el periodo 1914-1918, Primera Guerra Mundial, cuando se produce el primer salto cualitativo en la determinación de los fondos marinos. El inicio de una nueva era en las investigaciones hidrográficas tendrá lugar debido a dos factores: la aparición de las naves submarinas, capaces de navegar a profundidades superiores a las de los buques de superficie de mayor calado



Tarjeta con clave de signos del plano de las rías de Ferrol, Coruña y Betanzos. Atlas Marítimo de España. Vicente Tofiño de San Miguel, 1787 (5).

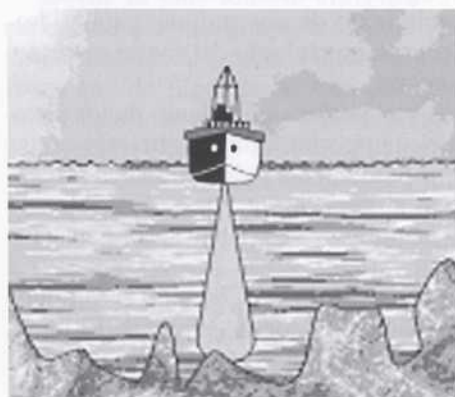


Escandallo de San Diego. Base 7 cm de diámetro, altura 24 cm. Plomo. Siglo XVII (7).

y, paralelamente, el comienzo del desarrollo de la acústica submarina, inicialmente con fines de detección, que rápidamente demostrará su potencial como método de investigación de los fondos.

Hacia 1925 aparecen comercialmente los ecosondadores, también llamados sondadores acústicos, y desde ese momento el escandallo es paulatinamente sustituido como sistema de determinación de la profundidad, aunque, como hemos visto, todavía convive con los nuevos sondadores e, incluso hoy, no está totalmente desechado.

Para medir la distancia al fondo, los citados sondadores utilizan un solo haz de propagación sónica. Inicialmente el haz emitido era de 60° - 70° ; este haz se fue reduciendo hasta conseguir haces estrechos, que hoy día pueden llegar hasta 2° . Son conocidos con el nombre genérico de monohaz (8).



Monohaz.

En paralelo a la evolución de los modernos sondadores monohaz, se desarrolló el llamado sonar de barrido lateral (SBL) para la detección de obstrucciones submarinas, que consigue aproximarse a un conocimiento total del fondo, frente a la observación a intervalos discretos que se obtiene con los monohaz. Hasta la llegada de la explotación comercial de los sondadores multihaz, el sistema utilizado para obtener una completa visión del fondo era la combinación del SBL con un monohaz.

Las investigaciones geológicas, orientadas a la localización de hidrocarburos en un principio y posteriormente la geodinámica o la prospección de cualquier otro recurso, dan lugar a un segundo salto cualitativo, al extenderse las investigaciones a los océanos y, consecuentemente, la hidrografía deja de estar restringida a las aguas someras. Un dato inicial, fundamental para cualquier investigación geológica del subsuelo marino, es la batimetría.

Se abre así, por tanto, una nueva época en la que no es suficiente conocer la profundidad en los puntos situados sobre unos perfiles continuos a intervalos discretos, sino que es necesario conocer el fondo de forma total y sin los artificios que supone tratar de forma independiente varias técnicas. El sondador multihaz es un instrumento indispensable para este tipo de levantamientos con cobertura total y es la tecnología que hoy día se ha impuesto.

Este tipo de sondador emite un haz sónico y la energía que es devuelta por el fondo marino se recibe en un transductor multicanal, generando una gran cantidad de haces, cada uno de los cuales origina una sonda.

Es necesario citar el sistema que se perfila como la tecnología del futuro para la obtención de sondas en aguas poco profundas. Se trata de la batimetría láser aerotransportada (LIDAR) (9), que es una técnica de levantamiento para aguas costeras complementaria de los sistemas acústicos multihaz.

Es una técnica efectiva hasta los 50 ó 60 metros de profundidad en aguas claras, y en la actualidad está siendo muy utilizada en zonas donde un bote o un buque hidrográfico no pueden realizar su trabajo debido a las obstrucciones (generalmente rompientes o zonas con muchos bajos o rocas).

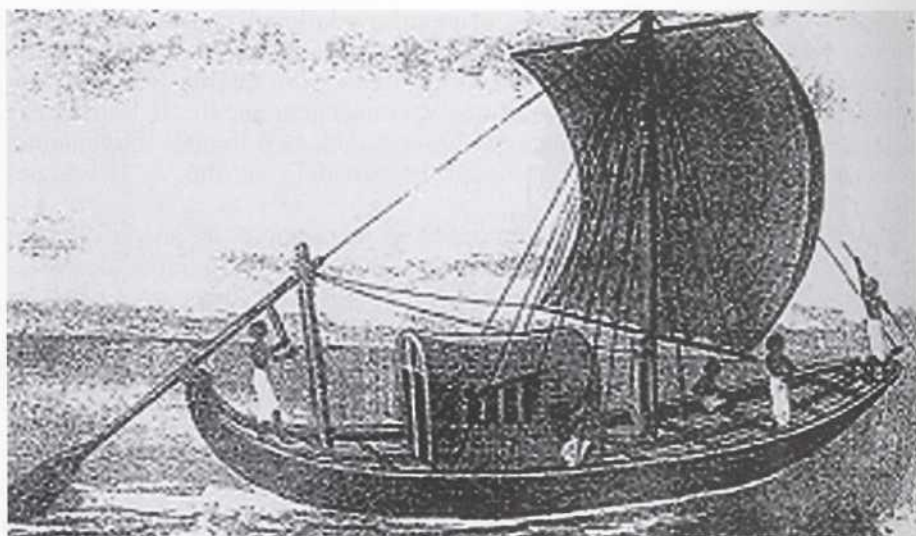
A lo largo de esta sección, describiremos los métodos y sistemas utilizados para conocer cómo es el fondo de mares, lagos y vías navegables, siempre desde un punto de vista cartográfico.

Metodología usada para sondar

La medición de la profundidad puede hacerse por métodos directos, o por métodos indirectos. A continuación vamos a definir cada uno de estos métodos, así como los instrumentos o aparatos que en ellos se emplean.

Métodos directos. Son aquéllos en los que la medida se realiza por la simple comparación de la magnitud a medir con un patrón. El resultado de la medida se obtiene sin necesidad de transformación o cálculo.

Métodos indirectos. Son aquéllos en los que se realiza una medida directa, comparación de un patrón de otra magnitud cuyo valor y variación están relacionados mediante alguna función con la magnitud que se pretende medir. El resultado de esta medida se obtiene tras aplicar dicha función a la medida directa realizada.



Vara de sondar.

Vara de sondar

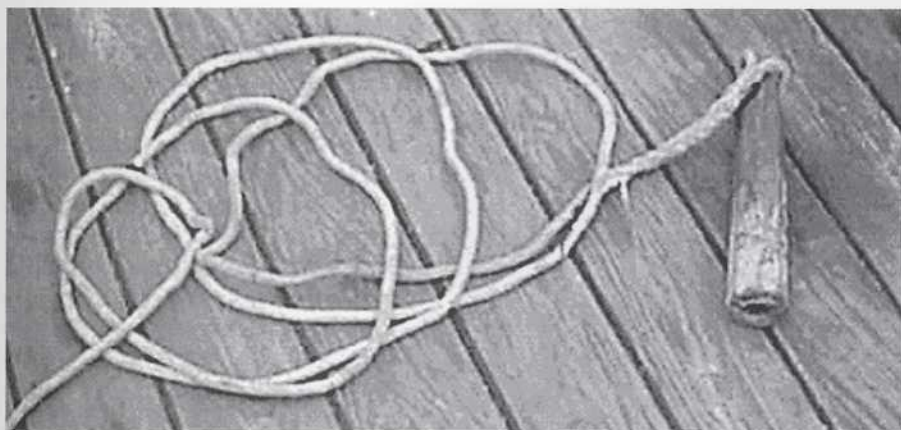
El primer aparato utilizado para obtener sondas (10) fue la vara de sondar, de cuyo uso se tiene noticia en el antiguo Egipto y que consistía en una simple regla de madera de dos a tres metros de longitud, graduada normalmente en decímetros y con una protección en la base para resistir los choques con el fondo. A lo largo de los años se ha seguido utilizando en aguas muy someras, sobre todo rocosas, donde era posible que la embarcación encallara dañando los transductores de los sondadores sonoros.

Este método también ha sido usado para la determinación de la línea de bajamar, cuando ésta no es posible obtenerla por reducción de sondas.

Escandallo

Desde la antigüedad y hasta bien entrado el siglo xx (1925 aproximadamente), todas las sondas se obtenían mediante un instrumento denominado escandallo, que aún hoy se sigue utilizando para determinados trabajos.

Consiste en una plomada troncocónica o prismática en cuyo vértice va amarrada la sondaleza o cordel que permite llegar hasta el fondo y así medir la profundidad y recoger muestras adheridas al sebo puesto en la cavidad base. Este tipo, el más primitivo, se conoce con el nombre de escandallo ordinario, el cual, a su vez, puede ser de dos clases: de puerto o de mano y de costa.

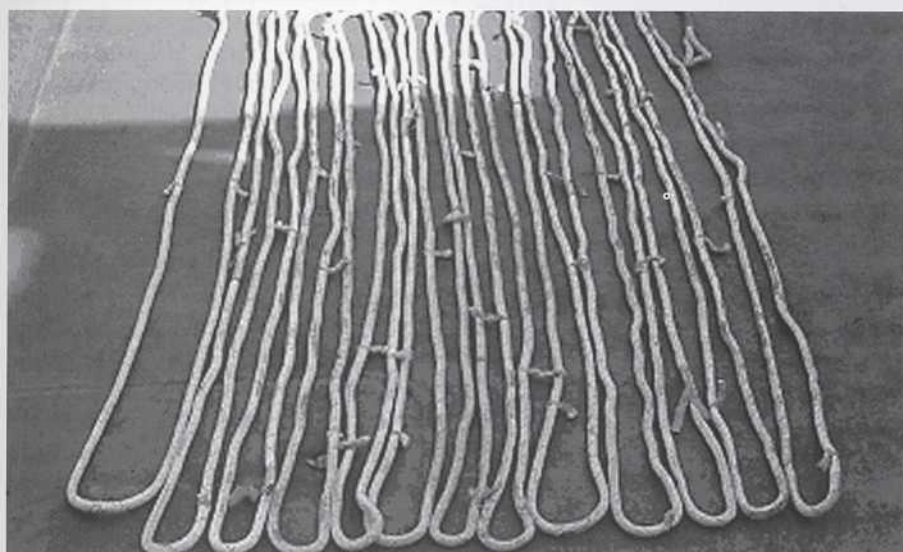


Escandallo. BH *Castor* (11).

Consisten, por regla general, en plomo de 5 y 15 kg de peso y sondaleza de 30 y 150 metros de longitud, respectivamente.

Ha habido diversos métodos para graduar las sondalezas, el normal a bordo de los buques españoles es el siguiente:

Los primeros cinco metros se marcan con una tira de cuero; los diez con una lanilla, y así sucesivamente, alternando cuero y lanilla. Los metros



Escandallo. BIO *Hespérides* (12).



Marinero boleando el escandallo para sondar (14).

comprendidos entre dos de las divisiones anteriores, se señalan con un trozo de piola con cantidad igual de números. A fin de que pueda hacerse directamente la lectura sobre la sondaleza, se deja sin graduar una sección de ésta igual a la distancia que media entre la mano del que sonda y la superficie del agua (13).

De noche la lectura, cuando no había luz suficiente, se hacía al tacto.

Cuando los trabajos hidrográficos se realizaban desde buques de vela, se necesitaba alguna habilidad para bolear el escandallo (15). Siempre se lanzaba a barlovento del velero para que la deriva de la embarcación no hiciera que la sondaleza chocara contra el barco. Había que lanzarla hacia delante cuando el barco se estaba moviendo, de manera que el cabo estuviera vertical y diera lecturas precisas en el momento en el que el barco estuviera al mismo nivel.

El escandallo propiamente dicho, siempre en forma simple, continuó empleándose en la nave-

gación y en trabajos hidrográficos en lugares donde hoy día no es posible utilizar, por diversos motivos, sondadores acústicos, o bien los sofisticados sistemas existentes para la obtención de la calidad del fondo.

Progresivamente fueron saliendo a la luz diversos modelos de escandallos, siempre con la idea de mejorar la exactitud en las mediciones y de evitar que las condiciones en las que se sondaba fueran tan tediosas.

Escandallo mecánico.—Dado que para sondar con el escandallo ordinario era preciso reducir mucho la arrancada del barco y, aun así se requería mucha práctica en los hombres encargados de ejecutar la faena, hace años, con el propósito de hacerla factible a marcha normal, se introdujeron con el nombre de escandallo mecánico unas máquinas que, describiéndolas de forma resumida, constan de un armazón de hierro, firme a cubierta, que sostiene el tambor

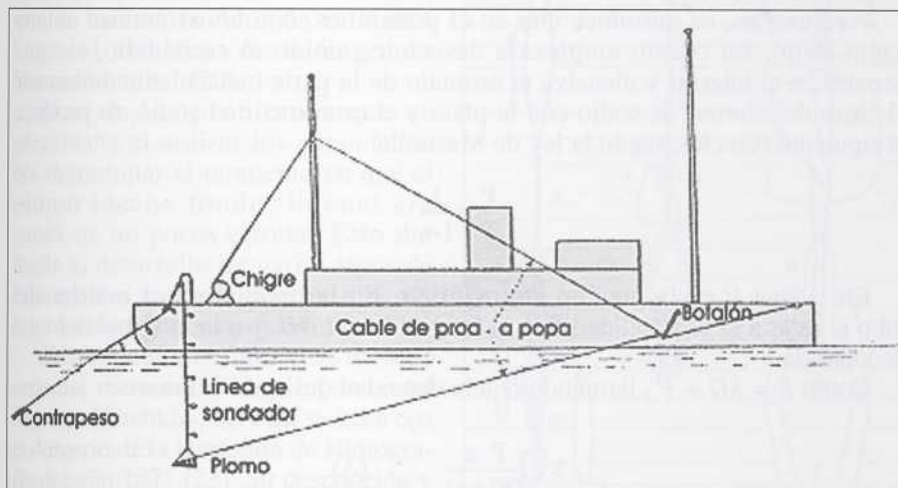
donde se encuentra enrollada la sondaleza, que es de hilo de acero. Al lanzar el escandallo al agua, el tambor gira loco para dar salida muy rápidamente al cable, y cuando toca fondo, se acciona un freno y queda detenido; seguidamente se engrana para levar con ayuda de manivelas guarnidas a los extremos del eje del tambor. Al objeto de evitar golpes contra el costado, se fija un pequeño arbotante con pasteca en la tapa de regala o en cubierta, pero siempre de modo que abra del barco, y aún es mejor cuando dispone de un tangoncillo.



Escandallo mecánico (16).

El eje de la pasteca engrana a una rueda dentada que a su vez mueve la aguja indicadora del cable filado, cuya longitud será la profundidad, si previamente se ha puesto la aguja en cero al estar el escandallo tangente a la superficie del mar.

Para cobrar rápidamente la sondaleza, faena ardua tratándose de grandes profundidades, se mejoraron estas máquinas acoplándoles un motor (17). A este tipo pertenece precisamente el sondador Somerville, cuya maniobra se muestra en la ilustración.



Maniobra del sondador Somerville (18).

Al sondar con el escandallo ordinario o con el mecánico, estando el barco parado, la profundidad, naturalmente, es igual a la longitud de la sondaleza filada, ya que ésta se puede mantener perpendicular a la superficie del agua.

Ahora bien, si el barco está en movimiento a velocidad moderada —alrededor de cinco nudos— pueden obtenerse con escandallos ordinarios sondas aceptables hasta unos 40 metros, ejecutando la operación del siguiente modo:

- Se lleva el escandallo a proa con adujes de sondaleza en cantidad un poco mayor al fondo que se propone; una vez lanzado al agua, se fila rápidamente para conseguir un toque en el fondo en el instante de pasar por la vertical del sondador, situado a la altura del puente.
- El lanzador deberá procurar, sobre todo en ese momento, levantar un poco el escandallo y volver a tocar el fondo en evitación de errores, tanto por no estar bien tirante la sondaleza como porque no hubiera tocado el plomo en el fondo. La faena requiere más destreza de lo que a simple vista parece y se hace mejor desde unas plataformas que para ello hay instaladas en algunos buques o desde las mesetas de los portales (19).

Para sondar con escandallo mecánico, marchando el buque a velocidad superior a la señalada anteriormente, existen unas tablas que dan la profundidad en función del cable filado (20).

Sin embargo, se obtienen sondas más exactas empleando los llamados tubos químicos, que son de cristal, tienen 60 cm de longitud y 3 mm de diámetro y están abiertos por uno sólo de sus extremos. En su interior hay una solución de cromo y plata.

Para usarlos, se introduce uno en el portatubos, con la extremidad abierta hacia abajo. En cuanto empieza a descender, unido al escandallo, el agua penetra en el interior y disuelve el cromato de la parte bañada. Al combinarse el cloro del cloruro de sodio con la plata y el cromo con el sodio, se produce la siguiente reacción según la ley de Mariotte:

$$\frac{P'}{P} = \frac{1}{1-a}$$

En la que P es la presión atmosférica; P' , la presión en el interior del tubo al estar a la profundidad S ; l , la longitud del tubo, y a la longitud del tubo decolorada.

Como $P = SD + P'$, llamando D a la densidad del agua del mar:

$$S = \frac{P \cdot a}{D(1-a)} \quad (A)$$

Fórmula que permite hallar la profundidad para presiones comprendidas entre los 730 y 749 milímetros. Si éstas variasen, se sumarán al valor *S* las cantidades de la tabla siguiente:

- Para presiones de 750 a 760 mm, un metro por cada 40 metros.
- Para presiones de 760 a 770 mm, un metro por cada 30 metros.
- Para presiones de 770 a 780 mm, un metro por cada 20 metros (21).

Los constructores ingleses dan una tabla parecida pero expresada en brazas que vamos a obviar.

El cálculo de esta fórmula anterior (A) resulta innecesario en la práctica, ya que se encuentra tabulada y sólo es preciso medir la longitud del tubo en que aparece el cromato disuelto.

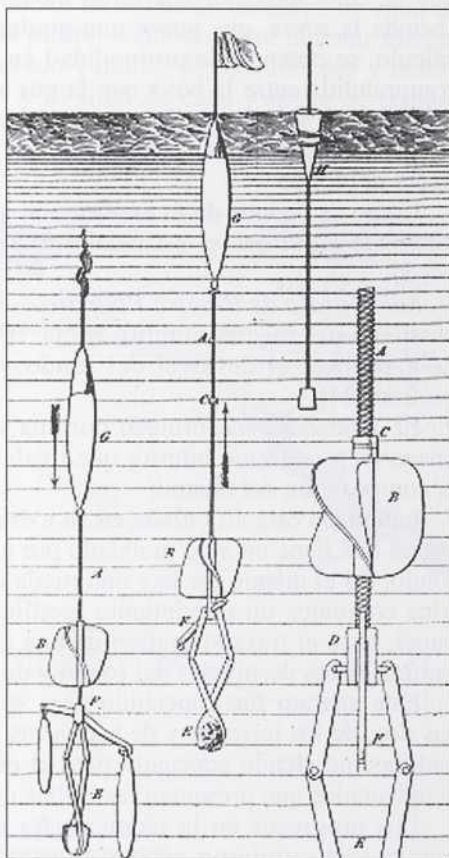
Este procedimiento del tubo químico dejó pronto de tener partidarios por la necesidad de emplear uno en cada medición.

En el año 1870, Lord Kelvin llevó a cabo una serie de experimentos con un dispositivo que reaccionaba a los cambios de presión del agua, para comprobar si tendría aplicación en la medición de profundidades.

Este prototipo experimental evolucionó para convertirse en el aparato de sondeo Kelvin Mark 4, que se usó en la Armada británica hasta el estallido de la Segunda Guerra Mundial (22).

Uno de los problemas que se presentaba al utilizar los escandallos era determinar el momento en que el plomo tocaba fondo, lo cual era causa de no pocos errores. Esto dio lugar al desarrollo de varios tipos de escandallos que permitieron mejorar la precisión de las medidas.

Entre estos instrumentos merece especial mención el ideado por un tal Truman-Hotchkiss, del cual se hace eco el Anuario de la Dirección de Hidrografía del año 1875 (23). Su descripción y funcionamiento es el siguiente:



Aparato de sondeo Truman-Hotchkiss.

Consta de una varilla tornillo (A) de bronce o acero a lo largo de la cual puede subir o bajar una hélice (B); una tuerca (C), llamada mensajero o indicador, que recibe el movimiento de la hélice cuando el escandallo baja, y permanece en el punto más alto a que haya llegado cuando el aparato suba a la superficie, al recoger la boya de corcho a que está sujeto; cuello o tubo (D) colocado de firme en la parte inferior de la varilla (A), al cual se sujeta por medio de un perno la tenaza (E); dicho perno sirve al mismo tiempo de eje a un balancín o palanca de brazos (F) muy desiguales, que terminan en dos pesos de tamaño diferente y que al tocar el fondo abren y cierran respectivamente la tenaza; boya (G) a la que se hace firme la sondaleza; boya-baliza (H) con su ancla.

Su funcionamiento es muy simple. Se fondea la boya-baliza con su bandera y se echa la sonda, debiendo siempre anotar el tiempo que transcurre desde que se echa hasta su aparición en la superficie. La hélice en su descenso acciona la rosca, que posee una graduación por la que, gracias a un sencillo cálculo, se obtendrá la profundidad en brazas. La observación de la distancia comprendida entre la boya con la que se balizó la sondaleza y el sitio en que ésta volvió a la superficie suministrará información sobre las corrientes submarinas de la zona. Finalmente, las tenazas recogerán muestras de las calidades del fondo.

Como se deduce de la explicación anterior, no sólo hay que estar atento al momento en el que el escandallo toque fondo, sino que la lectura se hace a bordo.

Sondógrafo de Pereira Pinheiro.—Inventado por el teniente de la Marina brasileña del mismo nombre hacia 1875, se compone de un indicador, que da a conocer el desnivel del fondo y un registrador, que deja un trazado gráfico (24).

El indicador está formado por una varilla o listón de madera con un disco hueco en su extremo inferior que rueda por el fondo y que recoge muestras de la composición del mismo.

La varilla está articulada en su extremo superior, alrededor de un eje horizontal que tiene un arco graduado por el que podemos conocer el desnivel del fondo. En el mismo eje hay una rueda dentada que por un piñón y una excéntrica comunica un movimiento rectilíneo a un estilete que, sobre un fajo de papel, hace el trazado gráfico de una curva continua, que expresa la relación gráfica de los desniveles del fondo y de los tiempos de la marcha.

Este aparato fue concebido para su empleo en el estudio hidrográfico de los ríos, de los terrenos y de las barras que se forman en ellos o en sus embocaduras, no siendo adecuado para el estudio de fondos de roca, bruscamente accidentados que presentan las orillas de las costas.

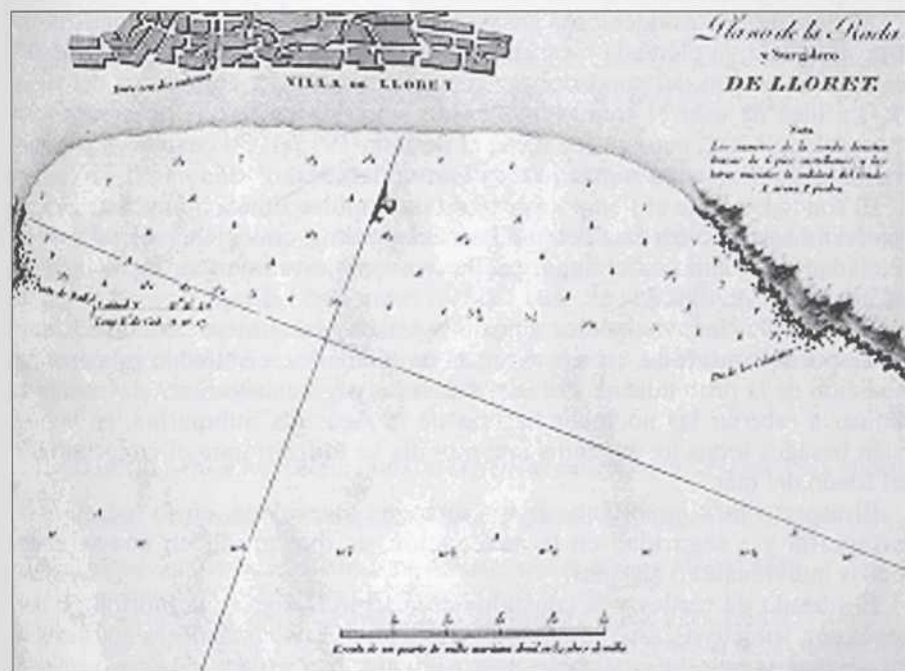
Los progresos en la técnica para medir profundidades que hasta ahora hemos visto vinieron en parte propiciados por el deseo de tender cables submarinos de telégrafos en la segunda mitad del siglo XIX; así fue posible

que Mathew Fountain Mauri, del Observatorio Naval de los Estados Unidos, acumulara suficientes datos de profundidades como para poder publicar una primera carta de Veriles del océano Atlántico (25).

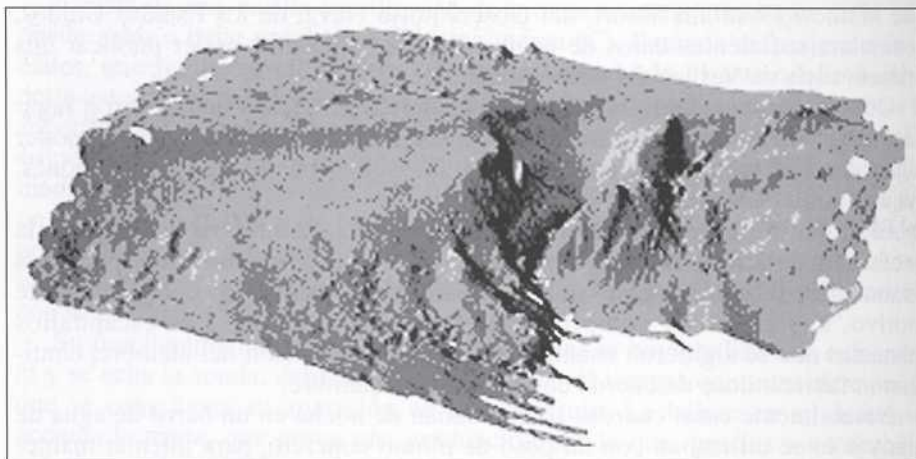
Otro factor muy importante que potenció los progresos que tuvieron lugar desde la vara de medir hasta los escandallos más avanzados fue el poder obviar los obstáculos de la meteorología, que retrasaba mucho las mediciones, cuando no llegaba a impedir efectuarlas.

El origen de la implantación del alambre para realizar mediciones fue la necesidad de paliar la considerable tendencia a estirarse de los primeros escandallos, fabricados con cuerda de cáñamo o manila, los cuales, por este motivo, habían de ser comprobados varias veces al día. Los escandallos manuales que se siguieron usando después de la aparición del alambre, continuaron fabricándose de cuerda con un alma de alambre.

Normalmente estas cuerdas se guardaban de noche en un barril de agua de mar y sólo se utilizaban con un peso de plomo concreto, para intentar mantener una tensión uniforme y evitar un grado variable de estiramiento y deformación. Se comprobaban al comienzo y al final de cada jornada de trabajo para asegurarse de que no superaban una tolerancia establecida entre el 1-2 por 100.



Sondas aisladas. Plano de la rada y surgidero de Lloret (26).



Modelo digital del terreno cinco millas al SW de punta Camarinal (27).

Es necesario decir que sondear aguas profundas no fue una opción práctica hasta que se generalizó el uso de alambres de gran longitud.

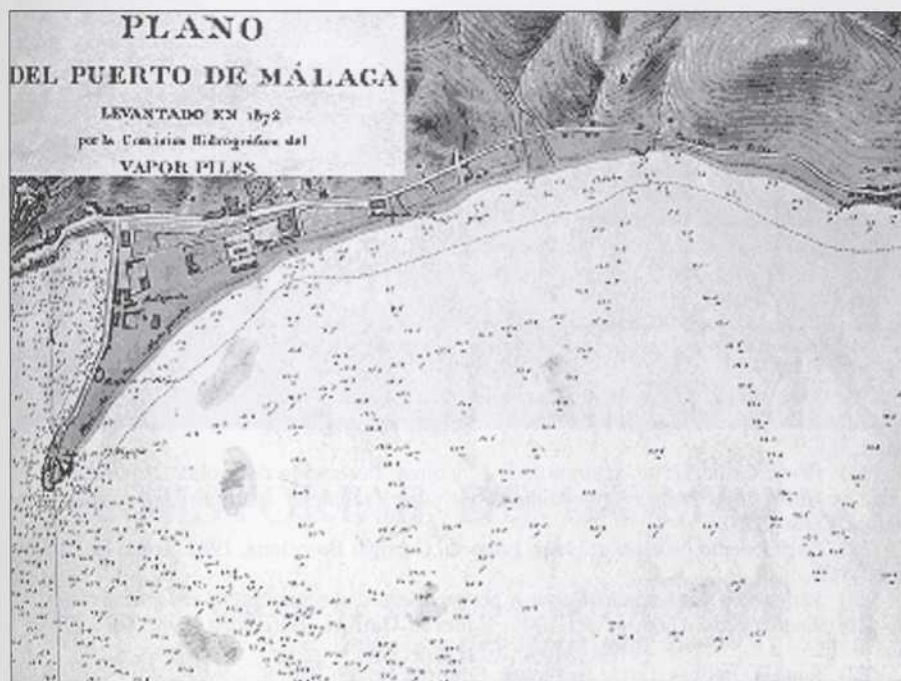
A pesar de varios ingeniosos ensayos para obtener otros medios para medir la profundidad, la plomada o escandallo siguió siendo el método fundamental hasta la invención del sondador acústico o ecosonda, a comienzos del siglo XX. La idea de usar el sonido había sido sugerida en varias ocasiones a lo largo del siglo XIX, pero no fue hasta el periodo 1915-1930 cuando se produjo el desarrollo de versiones prácticas de los sondadores.

El sondador mide el tiempo que tarda un impulso de energía acústica en ir y volver desde la superficie del mar hasta el fondo y, conociendo el valor de la velocidad del sonido en el agua, puede convertir este intervalo de tiempo en medida de profundidad.

Hacia 1935, los sondadores acústicos estaban bastante extendidos y, hoy día se puede considerar, en sus diversas modalidades, el método principal de medición de la profundidad. Por esta razón las páginas siguientes las vamos a dedicar a esbozar las nociones básicas de la Acústica Submarina, en la que están basados todos los ingenios que hoy día se utilizan para el conocimiento del fondo del mar.

El aspecto más importante de los métodos mecánicos, en lo tocante a la cartografía y a seguridad en la navegación, es que producen una serie de sondas individuales o aisladas.

El trazado de veriles y la consiguiente interpretación de la morfología del fondo son subjetivos, sin garantías de veracidad. Los sondadores acústicos y sus derivados, que se analizarán más adelante, han producido una creciente densidad en cuanto al número de datos, mejorando así la fiabilidad de la inter-



Sondas rectas en el plano del puerto de Málaga 1872 (28).

pretación. De hecho los sistemas modernos, como ya veremos, pueden proporcionar una insonificación total del fondo.

Otro aspecto muy importante para la interpretación de cómo es el fondo del mar es que es necesario tener un patrón regular de sondas. No era fácil conseguir líneas o perfiles de sondas rectas a base de velas y remos, así que la introducción del vapor y luego de los buques a motor mejoró considerablemente la capacidad de tener líneas rectas, que ayudan mucho mejor a definir los veriles y al conocimiento de la morfología del fondo.

(1) GARCÍA DE PALACIOS, Diego: *Instrucción Náutica para navegar*. México, 1587. Museo Naval.

(2) CEREZO MARTÍNEZ, R.: *Cartografía Náutica Española de los siglos XIV, XV y XVI*. CSIC. Madrid, 1994.

(3) DE GUEVARA, A. VDA. DE MELCHOR ALEGRE: *Arte de Marear*. Madrid, 1673.

(4) Vara castellana = 83,5 cm, y pie de Burgos = 27,86 cm.

(5) TOFIÑO DE SAN MIGUEL, Vicente: *Atlas Marítimo de España*. 1787. Tomo I.

(6) Todas las fechas que se están dando se refieren al caso concreto de la cartografía náutica española publicada por la Dirección de Hidrografía. En la cartografía de otros países puede haber alguna variación en las fechas.

- (7) *El Mar. Camino de Ciencia y de Cultura*. Museo Investigación. Mayo, 2001.
- (8) PÉREZ CARRILLO DE ALBORNOZ, F. J., y otros: *Dispositivos utilizados en Hidrografía para el levantamiento de cartas náuticas*. Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz, 2000.
- (9) INGHAN, A. E.: *Hydrography for the Surveyor and Engineer*. Third edition. 1992.
- (10) Profundidades del agua en lugar y tiempo determinado.
- (11) Archivo fotográfico del Instituto Hidrográfico de la Marina.
- (12) Archivo fotográfico del Instituto Hidrográfico de la Marina. Sección de Oceanografía.
- (13) *Enciclopedia General del Mar*. Editorial Garriga. Barcelona, 1982. Tomo III, página 1.309.
- (14) Grabado de Cruikshank. *Enciclopedia General del Mar*. Editorial Garriga. Barcelona, 1982. Tomo III, pág. 1.309.
- (15) Darle vueltas en el aire, cogiendo la sonda a una distancia del escandallo, a fin de lanzarlo lejos. *Enciclopedia General del Mar*. Tomo III. Editorial Garriga. Barcelona, 1982. Página 1.310.
- (16) Archivo fotográfico del Instituto Hidrográfico de la Marina. Servicio Histórico.
- (17) *Enciclopedia General del Mar*. Editorial Garriga. Barcelona, 1982. Tomo III. Página 1.311.
- (18) 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.
- (19) *Enciclopedia General del Mar*. Editorial Garriga. Barcelona, 1982. Tomo III. Página 1.312.
- (20) Pertenecen a la empresa Kelvin y era preciso utilizar material de esa misma marca.
- (21) *Enciclopedia General del Mar*. Editorial Garriga. Barcelona, 1982. Tomo III. Página 1.313.
- (22) Sondas Gráficas. David Redhouse. Editorial Noray. Pág. 8.
- (23) *Anuario de la Dirección de Hidrografía*. Año XIII. Madrid, 1875. Pp. 398 y 399.
- (24) *Anuario de la Dirección de Hidrografía*. Año XVII. Depósito Hidrográfico. Madrid, 1879.
- (25) COOK, Peter J., y CARLETON, Chris M.: *Continental Shelf Limits*. Oxford University Press. Página 124.
- (26) *Portulano de la Península de España*. Cuaderno 1º. Cataluña. Dirección de Hidrografía. Madrid, 1813.
- (27) Levantamiento efectuado por el BH *Rigel*. Año 2001.
- (28) Manuscrito de la Carta del Puerto de Málaga (123/DTO.O). Instituto Hidrográfico de la Marina. Servicio Histórico.