

EQUIPOS DE SONDAJE EN EL SIGLO PASADO

JOSE MANUEL DE LA PEÑA OLIVAS (*)

JUAN MANUEL PRADA ESPADA (**)

RESUMEN. El presente artículo muestra los diferentes aparatos de sondeo utilizados durante el siglo pasado para el levantamiento batimétrico de las costas y mares, base de las actuales cartas náuticas que son utilizadas hoy en día por todo profesional dedicado a las ciencias y técnicas marinas.

ABSTRACT. *The present article shows the different sounding machines which have been used during the last century for drawing of nautical map which are nowadays used by all professional devoted to the sea technics and sciences at the present.*

INTRODUCCION

Si nos fijamos en muchos de los planos topográficos y cartas náuticas utilizadas en la actualidad, se puede observar que éstos son los mismos que se levantaron durante el siglo pasado o están basados en ellos con más o menos correcciones. Este hecho pone de manifiesto la calidad y fiabilidad de los trabajos realizados con aquellos preciosos aparatos, hoy sólo valiosas piezas de museo, y que al compararlos con los resultados obtenidos empleando los sofisticados sistemas de posicionamiento y sondeo actuales, vemos que muchos de aquellos datos aún mantienen vigencia hoy en día. Ejemplo de lo dicho anteriormente son las cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina, de uso habitual, que pasamos a comentar seguidamente.

Las figuras 1.A y 1.B son las cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina, antigua Dirección de Hidrografía, correspondiente, la primera de ellas, al levantamiento de la Rada de Villajoyosa realizado para la Comisión Hidrográfica en 1876 por el Capitán de Fragata **Rafael Pardo de Figueroa**. La segunda de las figuras, del puerto de Villajoyosa, es, como indica la propia carta náutica, la anterior (figura 1.A) con correcciones hasta 1961 y validez para el Aviso a los Navegantes hasta 1973. Si analizamos someramente dichas correcciones se puede apreciar que éstas son mínimas, coincidiendo todos los puntos de sondeo, salvo los situados en la zona interior del puerto, unas ligeras modificaciones de la línea de playa y la declinación magnética.

Las figuras 2.A y 2.B corresponden ambas a la Ensenada de Benidorm. La 2.A, levantada por el entonces Teniente de Navío de Primera Clase **Rafael Pardo de Figueroa**, en 1876 (1), y la 2.B es la anterior con correcciones hasta 1970 y validez para el Aviso a los Navegantes hasta 1976. Las únicas correcciones que se aprecian son las correspondientes a la Punta de Canfali (2) y la declinación magnética.

Para terminar y no caer en la reiteración analizamos las figuras 3.A (1897) y 3.B (1974) que corresponden al Puerto de San Antonio en la Isla de Ibiza, comprobando que no hay ninguna variación sustancial entre las batimetrías que aparecen en ambas cartas, apreciándose unos cuantos puntos de sondeo con resultados diferentes dentro del Puerto.

La calidad y fiabilidad de los datos obtenidos durante el siglo pasado incita a documentarse sobre los aparatos y técnicas que se emplearon en la realización de aquellos trabajos. El presente artículo muestra los diferentes equipos y técnicas empleadas en el transcurso del siglo pasado en la determinación de las profundidades eosteras y oceanográficas.

APARATOS DE SONDA

El sondeo en las costas se practicaba por medio de una cuerda delgada llamada **sondaleza**, dividida en brazas o en metros. De su extremo pendía una plomada en forma cónica, llamada **escandallo**, en cuya base se dejaba una

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos e Ingeniero técnico de obras públicas; jefe de la división de estudios litorales, del sector de costas del Centro de Estudios de Puertos y Costas.

(**) Ingeniero técnico de obras públicas; analista funcional de la división de estructuras marítimas del sector de experimentación del Centro de Estudios de Puertos y Costas.

(1) N. autores: Es evidente que en 1876 don Rafael Pardo de Figueroa ascendió de teniente de navío de primera clase a capitán de fragata, posiblemente debido al impecable levantamiento de la ensenada de Benidorm.

(2) N. autores: La variación de la forma en la punta de Canfali que se observa entre ambas cartas se debe a que fue utilizada durante algún tiempo como cañera.

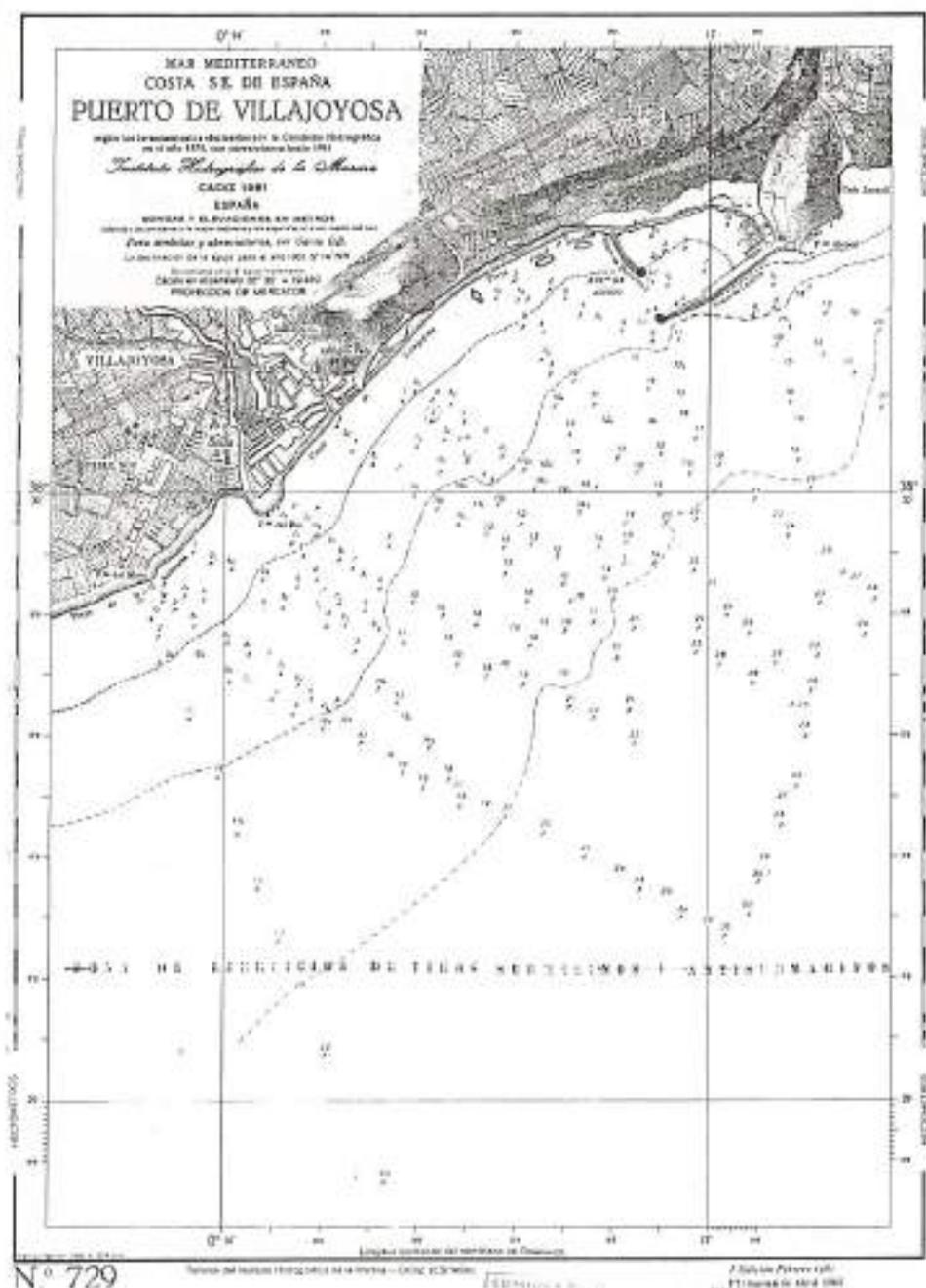


FIGURA 1B.

El Almirantazgo Inglés utilizó este tipo de sondaje, siendo la sondaleza una cuerda de cáñamo de 7 milímetros de diámetro, con una bala de cañón de media tonelada para el escandullo. Los EE.UU. de América tenían estipulado, para mantener tenso el cable, un peso de 50 kg por cada 1.000 brazas de sondaleza, así como 8 minutos el tiempo estimado para largar 1000 m y 10,5 minutos para recoger la misma longitud de cabo.

Para evitar que la cuerda, después de alcanzar el fondo, continuase desenrollándose, el marino anglo-

americano **Brooke** inventó un aparato de sondeo consistente, ver figura 4, en una bala de cañón agujerada y atravesada por un pasador, a cuya extremidad superior iba unido un paralelogramo articulado con dos ganchos, de los cuales se suspendía el peso por medio de ramales unidos a la placa anular. Al alcanzar el pasador el fondo, el peso se desprendió y cesaba de actuar sobre el carrete, midiéndose en ese momento la profundidad existente.

Posteriormente se modificó este sistema, como se

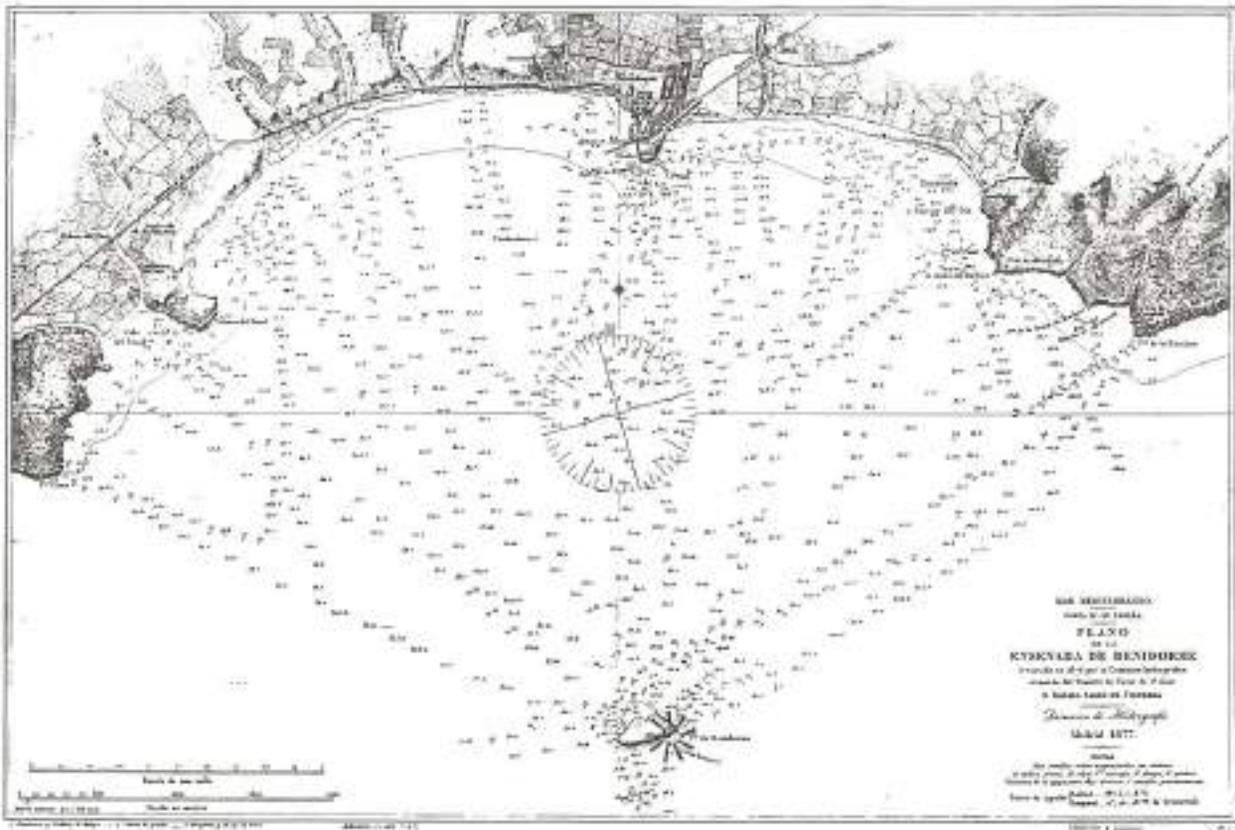


FIGURA 2A.

puede apreciar en la figura 5, simplificándolo; la cuerda de suspensión pasaba por el interior de la bala y venía a engancharse al pasador, debajo del anillo, al cual se ataba la cuerda de la sonda. En el extremo de su pasador tenía un tubo con su válvula para recoger muestras del suelo marino.

Como todo aparato innovador, el de Brooke fue sucesivamente perfeccionado, simplificando y complementando la idea básica del autor. Así Skead empleó una palanca, ver figura 6, en cuya extremidad iba enganchado el escandallo y en la opuesta un contrapeso, el cual actuaba liberando el peso cuando el escandallo tocaba fondo. Bondici diseñó otro mecanismo para soltar el peso, figura 7, consistente en una especie de tenaza que aprisionaba el anillo del que iba provisto el escandallo y que lo liberaba al tocar fondo debido a unos contrapesos que a tal fin estaban situados en los brazos de aquella.

El **Challenger**, buque de sondeo de la Armada inglesa, utilizó en sus trabajos un escandallo, figura 8, diseñado por el teniente de navío Baillie, que consistía en un tubo de hierro agujereado para permitir el libre paso del agua; este tubo llevaba enroscado un tomamuestras con dos válvulas en su extremo inferior para

captar muestras del suelo marino. El tubo tenía dos ranuras en su parte superior sobre las que se deslizaba una pieza en forma de cruz con una argolla en su parte superior que la unía a la sondaleza. El peso de forma toroidal estaba sostenido por una placa anular y dos alambres que se unían a la cruz. Cuando el tubo tocaba el fondo, la cruz se deslizaba por las ranuras destensando el alambre y liberando el peso.

El escandallo que empleaba el barco de la Armada francesa **Talisman** para sus sondeos, figura 9, no difería mucho del inglés. El tubo, de cabeza ojival, estaba dividido verticalmente en dos partes por un diafragma horizontal. La cabeza poseía una ranura que permitía el paso de otra pieza, llamada alma, en la cual se reemplazaba la cruz por un tope. La válvula inferior del tubo se movía alrededor de un eje por medio de dos palancas acodadas. Los lastres podían ser variables según la profundidad a la que se sondaba y llevaban, lateralmente, ranuras para dejar paso a los alambres de suspensión unidos a la cabeza del alma. Este aparato era conocido entre los marineros como «el muerto» porque al tocar fondo desprendía el cuerpo (muerto) y ascendía el alma al recoger la sondaleza. Su funcionamiento era similar al del teniente Baillie.

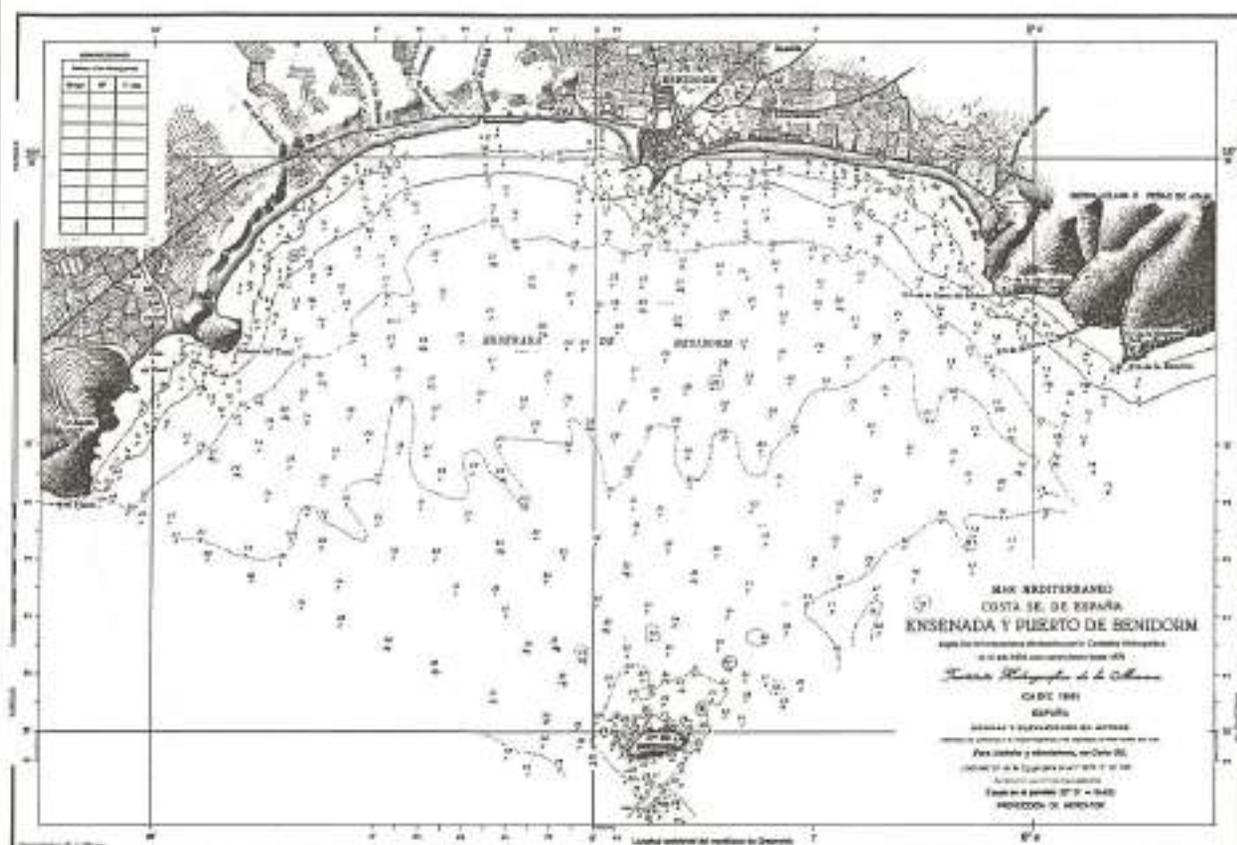


FIGURA 2B.

Todos los escandallos descritos anteriormente tenían el inconveniente de que podían soltar los lastres durante el descenso debido a cualquier obstáculo.

El comandante Siegsbee, de la Armada anglo-americana diseñó un escandallo para evitar los problemas expuestos en el párrafo anterior, figura 10. Este consistía en una bala de cañón perforada, como lastre, que arrastraba la sondaleza, a su través pasaba un tubo recogemuestras con una válvula en la base inferior y unas aberturas en la superior para la salida del aire y del agua; de esta parte superior arrancaba un vástago que penetraba en el tubo de la válvula y que, con un resorte, la mantenía cerrada. Este vástago se prolongaba fuera de la bala de cañón e iba suspendido del sistema de escape. Este sistema consistía en un gancho en equilibrio entre el esfuerzo de un resorte y el peso de la bala de cañón, manteniéndose cerrado mientras no se desequilibrase. La base superior del lastre se cerraba con una cubierta en forma de campana con unas aberturas para el paso del agua.

Mientras el peso descendía, el gancho permanecía fijo, pero cuando se alcanzaba el fondo, la válvula vencía la fuerza del resorte interno y se abría, dejando en-

trar una muestra de suelo dentro del tubo y liberando el peso que quedaba abandonado en el fondo; al mismo tiempo, el tubo subía, alcanzando la cubierta superior, en forma de campana, que taponaba las aberturas que facilitaron el paso del agua durante el descenso, para evitar así la pérdida de material durante la ascensión del equipo.

EQUIPOS DE SUPERFICIE

En el último cuarto del siglo pasado se sondaba ya indistintamente con un peso fijo o con un peso que se desprendiese al tocar el fondo, pues gracias al equipo de superficie diseñado por sir William Thomson se podía conocer con seguridad completa cuándo el escandallo tocaba fondo. Este equipo, modificado en diferentes detalles, fue adoptado por todas las naciones y la elección de peso móvil o fijo en el escandallo pasó a depender del estado del mar, de la profundidad o de otras circunstancias.

El equipo de superficie de sir William presentaba cierto número de innovaciones substanciales respecto de los equipos anteriores. Una de las innovaciones más importantes de su aparato fue sustituir la cuerda por

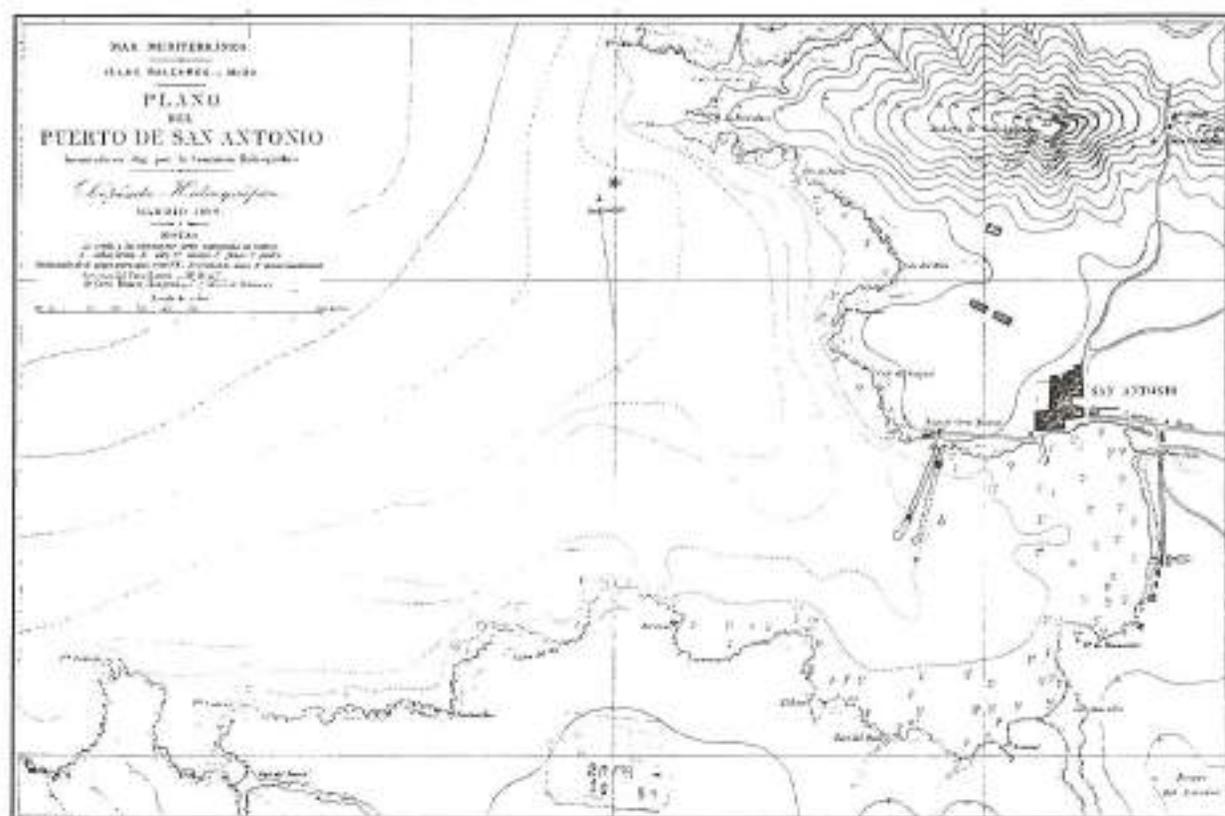


FIGURA 3A.

alambre de piano de 3/4 de mm de diámetro, número 22 Birmingham, lo que disminuía de forma considerable el volumen del tambor, aumentaba la resistencia y oponía menor rozamiento al agua.

El aparato consistía en un tambor de hierro galvanizado de 2 m de circunferencia en el cual se arrollaba el alambre de la sondaleza (figura 11); sobre el eje iba montado un contador de vueltas, el tambor tenía un canal circular por el que pasaba una cuerda fijada al bastidor por un extremo y con un contrapeso de 5 kg en el otro y cuyo rozamiento servía para regular el descenso. Al alcanzar fondo el escandallo, de 12,5 kg de peso, el contrapeso frenaba al tambor evitando que se siguiera largando cable, dando la medida exacta del número de vueltas del tambor. El equipo estaba montado sobre carriles y cuando se terminaba el sondeo se pasaba el tambor al interior del buque, haciendo pasar el alambre por las poleas inferiores dando dos vueltas a la más alejada de la borda. La operación de recoger el alambre se verificaba por cuatro hombres, dos al tambor y dos a la polea arrastre, pues las sacudidas del alambre por los movimientos del mar, con mar algo agitada, hacían imposible el uso del vapor.

Como quiera que la longitud del cable arrollado por vuelta varía a medida que la sondaleza se va largando

se cometía un error que se subsanaba con el gráfico de la figura 12. Al recuperar la sondaleza se hacía pasar el alambre por una polea de 2 m que llevaba un contador; el del tambor también actuaba al mismo tiempo; la diferencia entre unas y otras daba la corrección.

La forma de conocer la longitud exacta sondada era la siguiente: supongamos N el número de vueltas arrolladas en el tambor, n el número de vueltas desenrolladas del mismo, C la corrección de la longitud del hilo y c la corrección que da el gráfico de la figura 2. La longitud total de cable usado será:

$$2 [(N+C) - (N-n+c)] = 2 [n+(C-c)]$$

Thomson intentó mejorar su diseño aplicando dinamómetros, como se ve en la figura 13, para obtener la tensión debida en la cuerda que sirve de freno, pero los abandonó porque daban grandes errores.

Como las oscilaciones del barco debidas al oleaje, por pequeña entidad que éste tuviese, producían en el alambre sacudidas que podían romperlo y forzaban al tambor a una marcha irregular, se idearon diferentes medios para atenuarlas.

En la Marina francesa y diseñado por el ingeniero **M. Thibaudier**, el equipo de superficie (figura 14), empleó

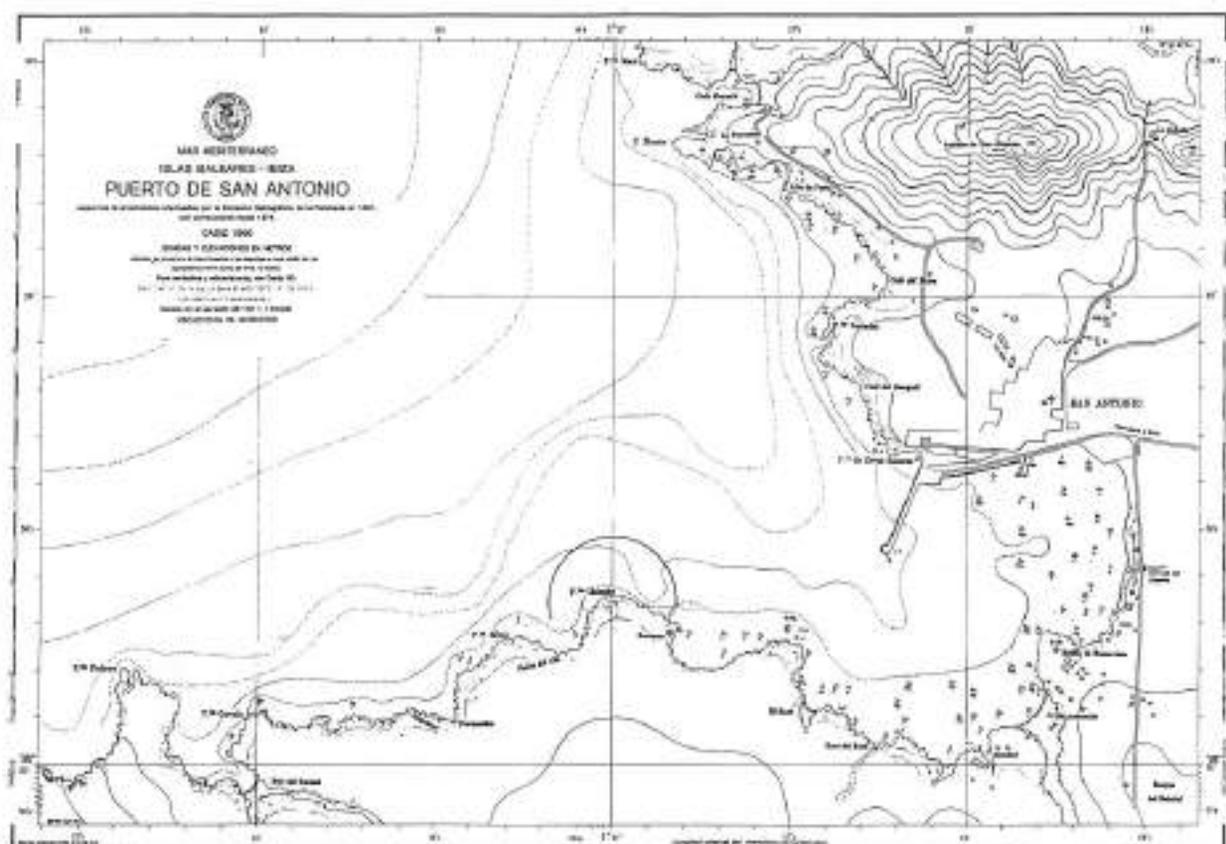


FIGURA 3B.

un contrapeso unido al alambre que actuaba, tensándolo o largándolo, según el buque se inclinaba hacia afuera o hacia dentro.

En la Marina de los Estados Unidos de Norteamérica para el mismo fin se empleaba un resorte llamado acumulador que funcionaba igual que el contrapeso, tiraba del alambre cuando se aflojaba y lo largaba cuando se tensaba.

Estos dos mecanismos de regulación de la marcha del tambor permitieron la aplicación del vapor en los equipos de superficie facilitando todas las operaciones de sondeo.

En la figura 14 se puede observar el diseño francés, empleado en el buque *Talisman*; el hilo pasa de una locomóvil al tambor y de éste a una polea, con cuantavuelas y de 1 m de circunferencia; de ésta al bastidor que lleva el contrapeso, con un peso dos veces superior al del alambre que se va a largar, y que resbala sobre los rodillos según el balanceo del barco; de aquél a las poleas y por un anillo guía. El bastidor va unido a una palanca de freno mediante una cuerda que actúa sobre el tambor según los movimientos del buque y cuando el escandallo toca fondo.

El equipo de superficie inventado por el oficial de

marina *Siegsbee* y empleado por los Estados Unidos, se puede ver en las figuras 15 y 16, era más portátil que los anteriores pero más sofisticado. Constaba de un tambor de hierro con contador, de una polea de 1 m de circunferencia con cuantavuelas que estaba sujeta a una armadura suspendida entre dos montantes articulados por los que se podía deslizar. La armadura se sujetaba mediante unas cadenas a unos resortes o acumuladores situados en la parte inferior del interior de los montantes. La polea de 1 m se sujetaba por su parte inferior mediante un cabo de cuerda al dinamómetro más próximo a los montantes y pasaba por las roldanas atándose a una cabilla. La cuerda de fricción (freno del tambor) une a los dinamómetros, móvil el más próximo a los montantes y fijo el otro.

El acumulador funcionaba como el contrapeso del equipo francés; si el alambre afloja, el acumulador tira de la polea y ésta del alambre y del dinamómetro móvil, lo que hace actuar al freno, disminuyendo la velocidad del tambor. Si aumenta la tensión de la sondaleza, la polea baja y la cuerda de freno disminuye su rozamiento sobre el tambor, facilitando la largada.

Para recoger el alambre se hace uso de una polea auxiliar, unida a la rueda motriz de la máquina de va-

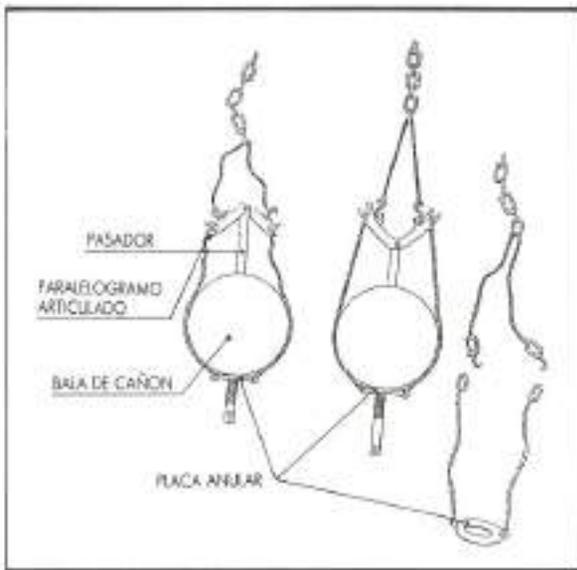


FIGURA 4. Aparato de Brooke.

por, a fin de disminuir el enorme esfuerzo de las espiras arrolladas al tambor.

Con posterioridad se suprimió la polea auxiliar al mejorar los materiales del tambor, construyéndose de acero o de bronce reforzado convenientemente. La unión con la máquina de vapor se hacía por medio de una cuerda que pasaba por una acanaladura del tambor (figura 17) y por la polea motriz de la máquina de vapor. Para regular la tensión de la cuerda motriz se em-



FIGURA 5. Aparato de Brooke modificado.

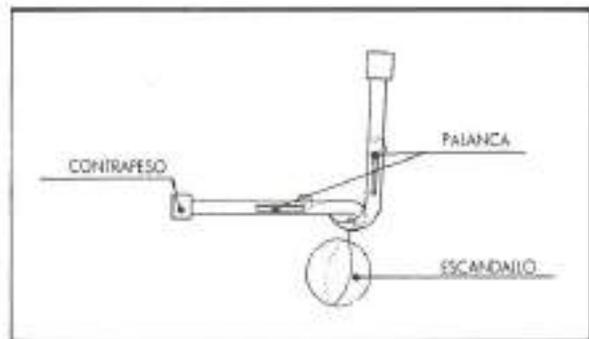


FIGURA 6. Aparato de Skeed.

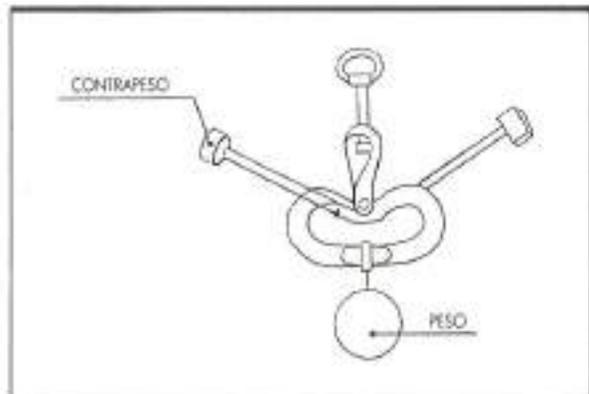


FIGURA 7. Aparato de Bondi.

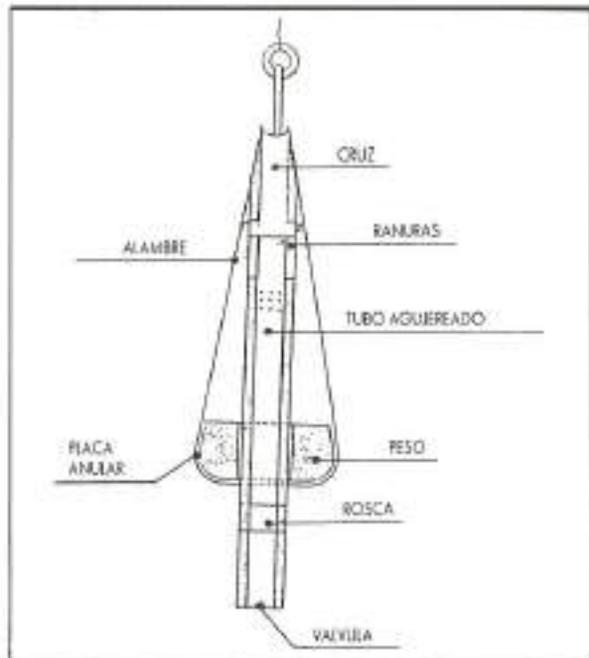


FIGURA 8. Aparato de Bailie.

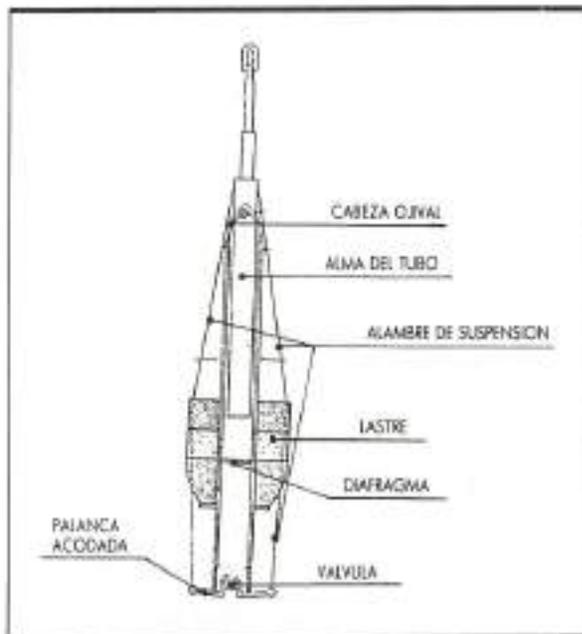


FIGURA 9. Aparato del buque Takman.

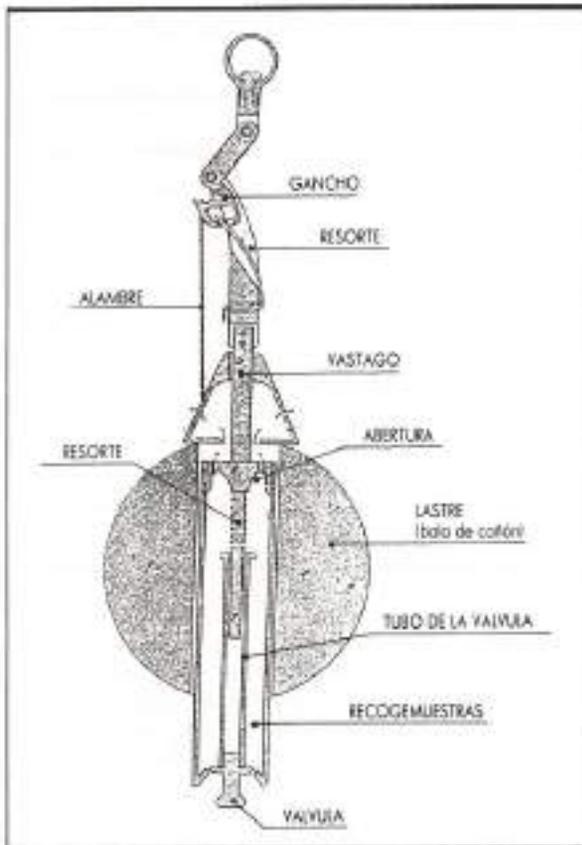


FIGURA 10. Aparato de Siegbel.

pleaba una polea montada sobre un rodillo que subía o bajaba en el eje por medio de un resorte.

Para sujetar el alambre de la sonda, se usaban unas pinzas (figura 18) formadas por dos maderas entre las que pasaba el alambre; las maderas iban atravesadas por un tornillo con espiras en sentidos opuestos. Bastaba apretar los tornillos para tener el alambre sujeto.

OTROS METODOS DE SONDEO

Otro método para calcular la profundidad del mar era medir el tiempo que empleaba una sonda en llegar al fondo. Se basaba este método en que la velocidad de descenso de una sonda después de un corto recorrido se mantiene constante, 2 m/sg.

Este método lo perfeccionó Aimé durante los sondeos realizados en el Mediterráneo, aplicando a la sonda un molinete (figura 19) que accionaba un cuentavueeltas. El aparato se graduaba dando mayor o menor inclinación a las aspas del molinete y se impedía el giro en sentido contrario mediante un tope.

También se utilizaron manómetros para medir la profundidad del mar. Su fundamento era la relación de presiones entre la ejercida por la columna agua a cierta profundidad y la del aire comprimido dentro de un tubo de 2 m de longitud. El tubo, cerrado por uno de sus extremos, contenía un colorante sensible al contacto con el agua de mar, marcando el punto en el que se igualaban las presiones.

Sir William Thompson prescindió del colorante, cerrando el tubo con dos válvulas, una en el extremo superior y otra en el inferior, de forma que al llegar al fondo la inferior permitiese el paso del agua hasta igualar presiones. Una vez fuera del mar se media la columna de agua y se calculaba la presión alcanzada y por ende la profundidad.

Siemens inventó un instrumento llamado bathómetro, basado en la disminución de la fuerza de gravedad a medida que un cuerpo se aproxima al centro de la Tierra. Este instrumento era muy delicado pues debía medir, por ejemplo, variaciones de la gravedad de 0,00004 por cada 500 m de profundidad.

Se intentó, también, aplicar la electricidad a las sondas, con el fin de determinar el instante en que el escandallo tocaba fondo, pero se abandonó la idea pues no representaba ninguna ventaja sobre el equipo de Thompson, cuya sencillez y exactitud lo hacía preferible a todos los demás.

SONDEO POR ECO

Actualmente los trabajos de sondaje se realizan, en la mayoría de los casos, mediante sondadores acústicos, ultrasonoros y desde satélites en órbita alrededor de la Tierra.

Los primeros escarceos con el sonido, utilizado como sonda, fueron aquellos trabajos en los que se arrojaban bombas desde la superficie, cuya velocidad de descenso

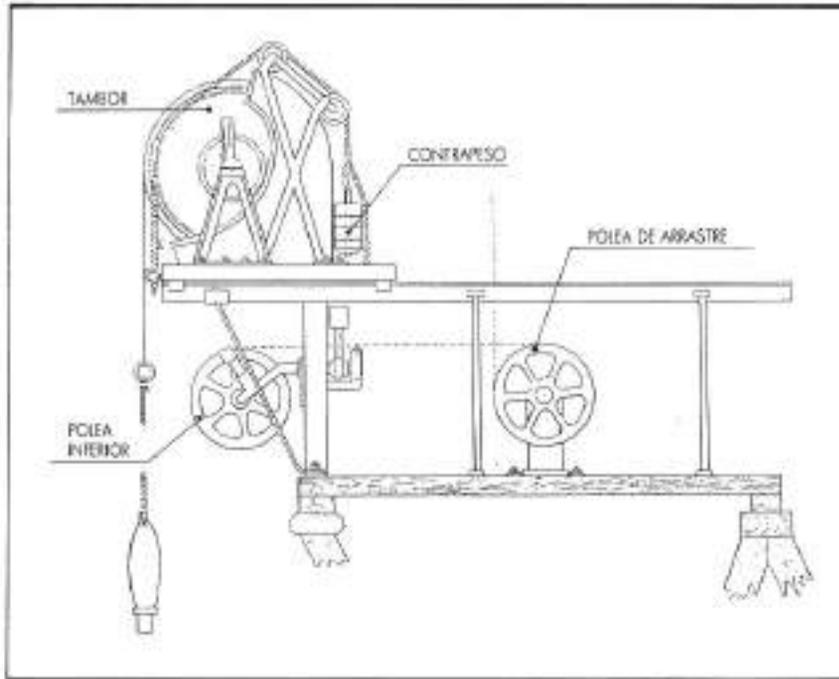


FIGURA 11. Equipo de superficie de sonda de Wilton Thorsen.

se conocía y que estallaban al tocar el fondo. El tiempo que tardaba en llegar el sonido a la superficie se despreciaba pues en profundidades de 200 o 300 m no se producían errores de importancia.

«Atlas Werke», de Bremen, fundándose en aquellas experiencias construyó unas bombas encapsuladas de 15 cm de longitud, 120 gr de peso y de forma similar a las bombas de aviación (figura 20), que se lanzaban al

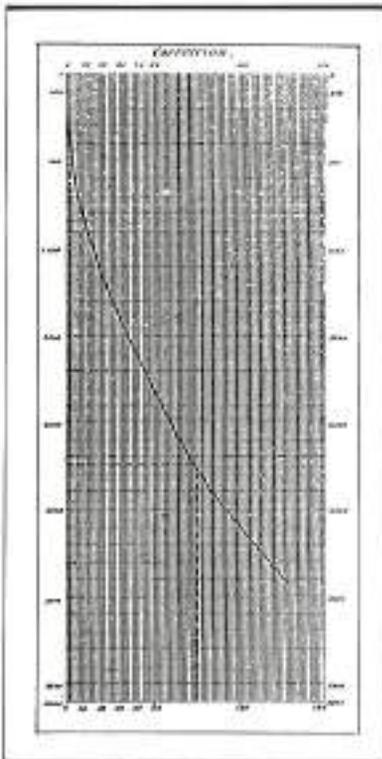


FIGURA 12.

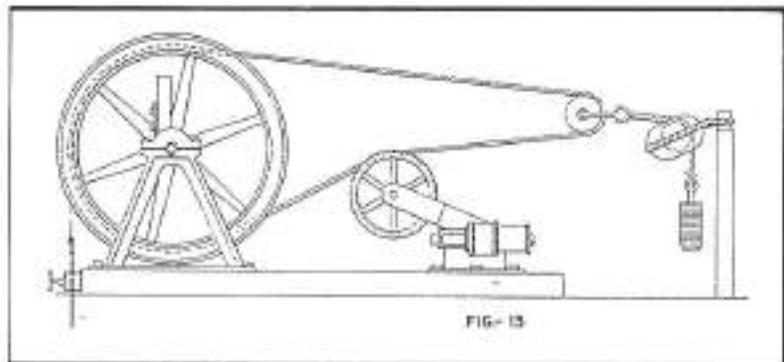


FIGURA 13.

agua por un tubo diseñado a tal efecto con el fin de disminuir el riesgo de accidentes. El tiempo que tardaba la cápsula en llegar a la superficie del agua se despreciaba pues no constituía un error grave; hasta los 25 m la explosión se escuchaba bien, para fondos mayores era necesario emplear hidrófonos. El principal inconveniente de este sistema era su coste.

El primer intento de sondear por eco, aunque fallido, lo realizó **Matthew Fontaine Maury** en 1855, pero hasta 1912 con el ingeniero **Behm** no se resolvió la

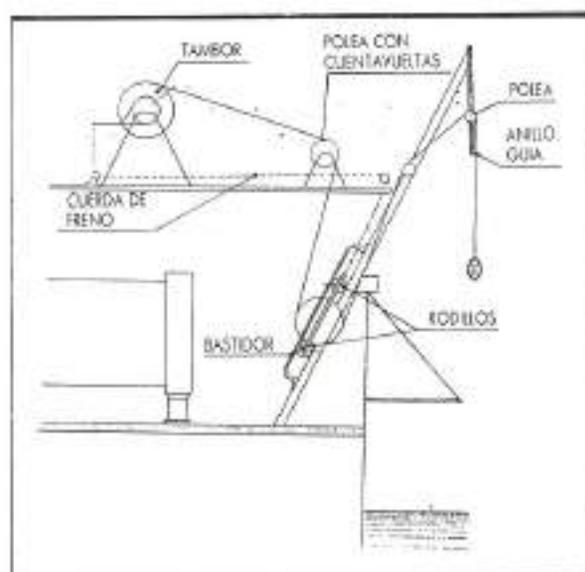


FIGURA 14. Equipo de M. Thibaudier.

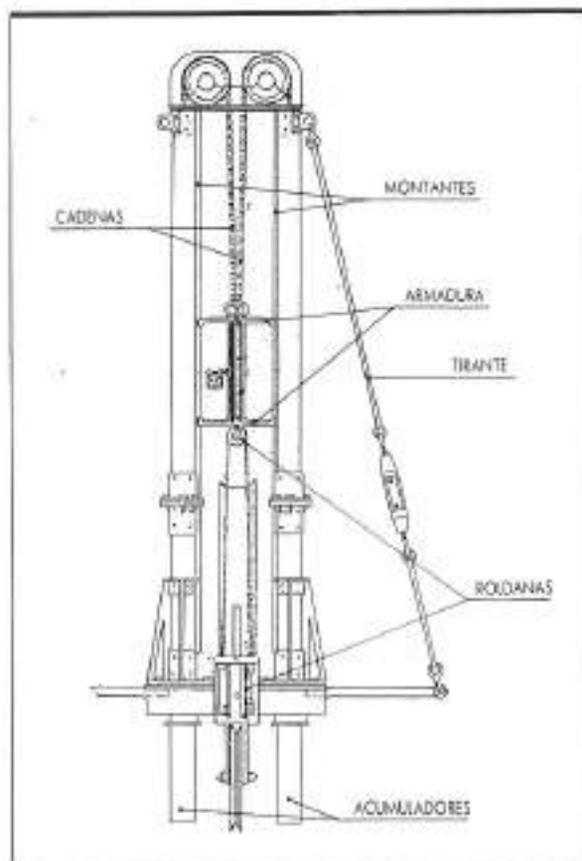


FIGURA 16. Equipo de Siegsbee.

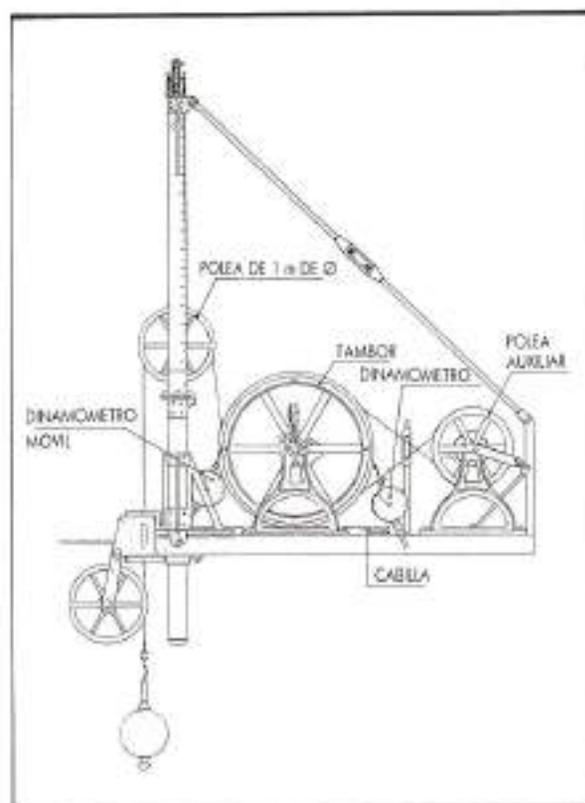


FIGURA 15. Equipo de Siegsbee.

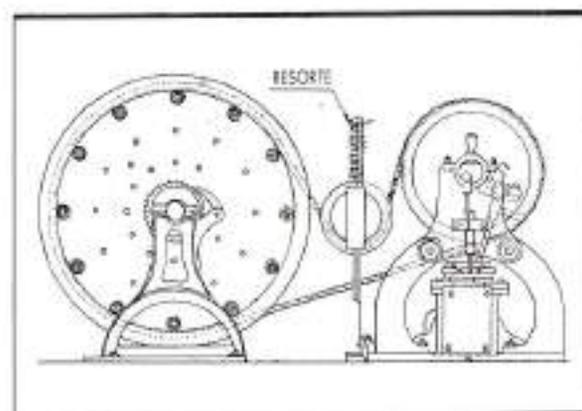


FIGURA 17.

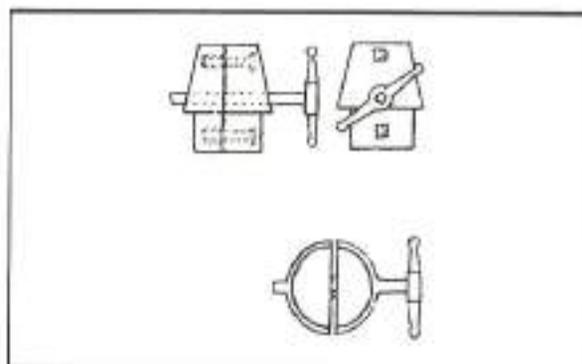


FIGURA 18.

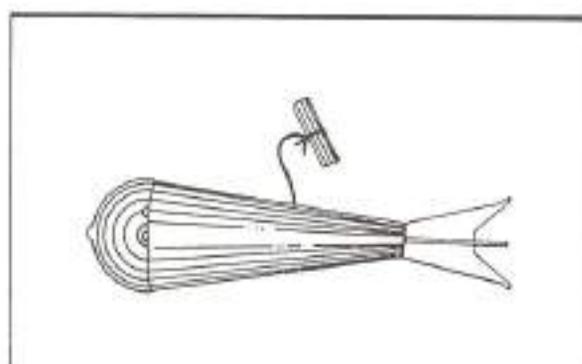


FIGURA 20. Cápsula dilatorada «Atlas-Workers».

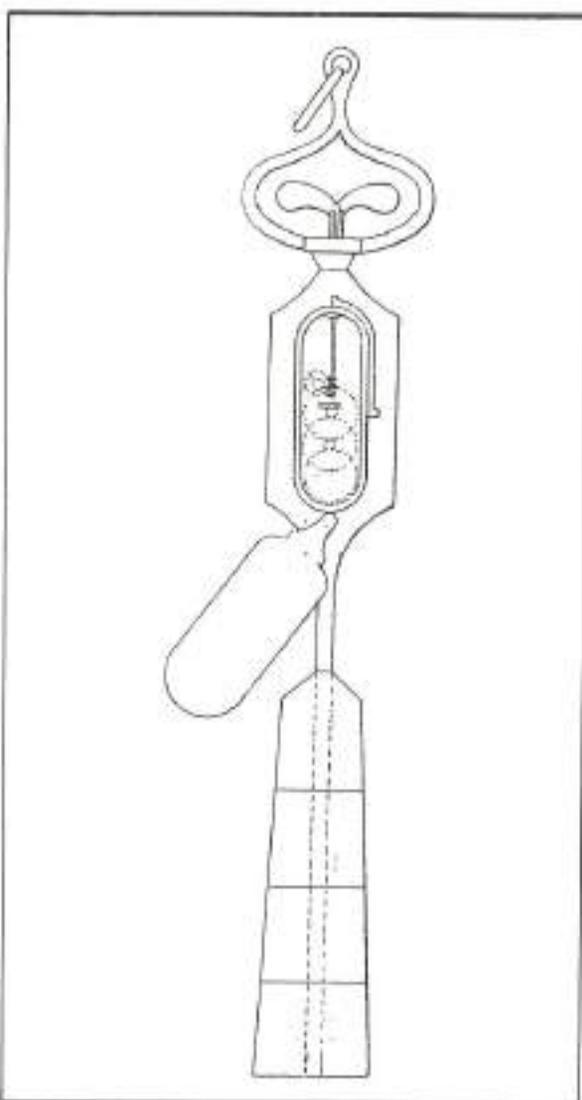


FIGURA 19. Sonda de Aimé.

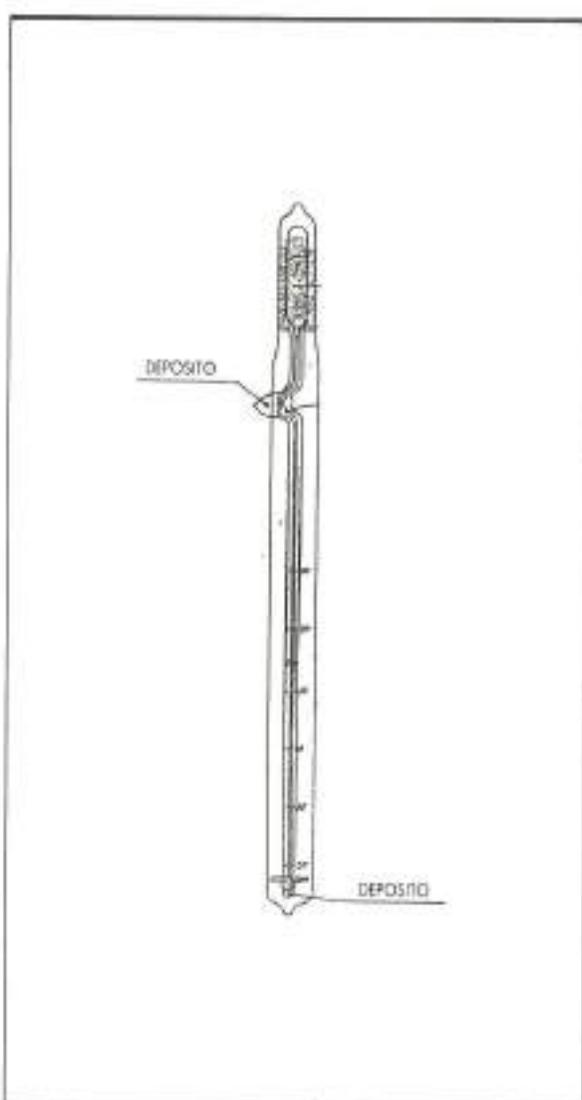


FIGURA 21. Termómetro de Negretti y Zambra.

parte técnica del proyecto, bautizando este nuevo método con el nombre de sondeo por eco.

TECNICAS AUXILIARES DE LOS SONDEOS

Los trabajos de sondaje no tenían por objeto conocer únicamente la profundidad de los mares, los resultados batimétricos se acompañaban habitualmente con datos sobre la biología de la zona así como de geografía física, temperatura y muestras de aguas a diferentes profundidades, y de la naturaleza geológica del fondo.

Para la toma de muestras biológicas se empleaban bolsas, redes o cajas denominadas dragas, que se mantenían abiertas a la profundidad deseada o mientras se arrastraban por el terreno y que se cerraban al llevarlas. El cable que se utilizaba, de 9 a 10 milímetros de diámetro, era mixto de cuerda y acero, formado por 6 cabos; cada uno de 7 hilos de acero galvanizado, agrupados alrededor de un alma de cáñamo de 0,30 a 0,35 kg por metro lineal. El cable se sometía, en pruebas, a esfuerzos a tracción de 4.500 kg. La draga se suspendía del cable por una cabria con su aparejo y el extremo de ésta se unía a un acumulador a fin de regular el esfuerzo del mismo.

Para medir las temperaturas a diferentes profundidades se utilizaron diversos tipos de termómetros, todos ellos resistentes a las presiones que debían soportar. El más sencillo de los empleados (figura 21) fue el diseñado por Negretti y Zambra; era un termómetro ordinario cuya columna estaba dividida en dos mediante un codo situado en un punto superior al de la temperatura más baja que podía registrar, rematándose en el otro extremo con un pequeño depósito. Para evitar la corrección por presión se rodeaba el termómetro por un cristal resistente a aquélla.

Para la toma de muestra de agua a diversas profundidades se empleaban botellas especiales que consistían en un tubo de latón (figura 22) con válvulas en su parte superior e inferior, unidas por un vástago, que permitían el paso del agua mientras el tubo descendía, cerrándose éstas por presión en el ascenso.

La toma de muestras geológicas se realizaba, como se dijo en el apartado de aparatos de sonda, mediante diferentes mecanismos situados en el escandallo.

GRANDES PROFUNDIDADES SONDADAS EN EL SIGLO PASADO

Durante el siglo XIX la inmensa mayoría de los mares y océanos fueron sondados gracias a la labor de los intrépidos precursores de las ciencias y técnicas oceanográficas actuales. Alguno de aquellos personajes ha sido citado a lo largo del presente artículo, así como los buques empleados en tales acciones científicas. A continuación se muestran las zonas de actuación de diferentes buques así como las simas más profundas por ellos sondadas.

El océano Pacífico fue estudiado en su zona norte por el buque de los EE.UU. Tuscanora, midiendo una

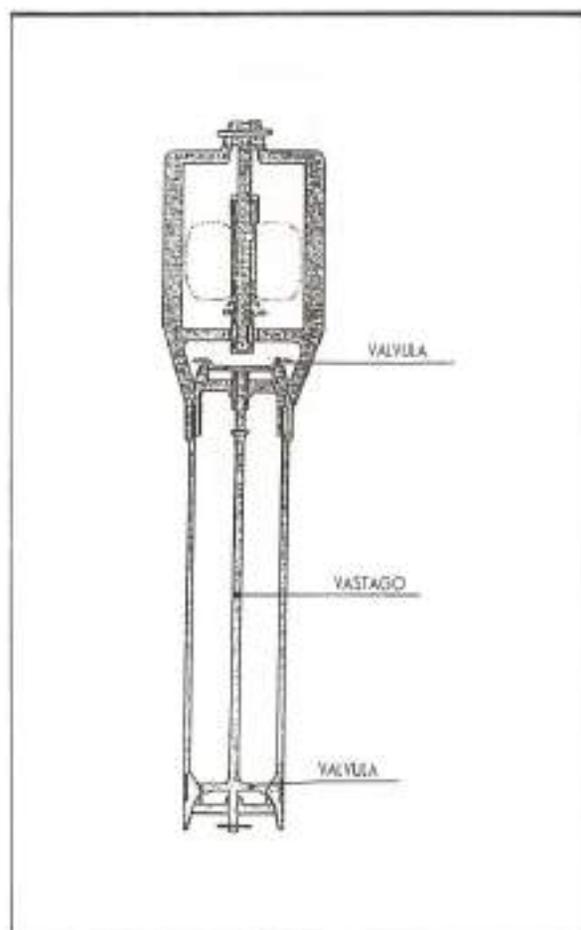


FIGURA 22.

sima de 8.513 m. El Challenger, inglés, sondó una sima de 8.367 m en la zona oeste de este mismo océano. Completó el estudio el buque Alaska, que barró la zona sur del Pacífico encontrando una sima de 6.270 m.

La zona norte del océano Atlántico fue estudiada por tres barcos. El Talisman, francés, registró una profundidad máxima de 6.067 m. Los buques de la armada inglesa Challenger y Essex sondaron 7.086 m y 6.006 m, respectivamente.

En el mar de las Antillas el Blake alcanzó la cota de 6.270 m. El mar de las Célebes y el de Sulú fue estudiado por el Sofía midiendo 4.755 m y 4.668 m en cada uno de ellos. En el Mediterráneo el Pomerania alcanzó los 3.968 m y el Blake, en el Golfo de Méjico, los 3.875 m.

El buque Challenger merece un lugar destacado en la historia de las medidas oceanográficas, pues además de estudiar el Pacífico y el Atlántico norte, sondó el océano Índico (3.612 m y 3.060 m), el mar de Banda (5.120 m), el mar del Coral (4.850 m) y el mar de China (3.240 m).