

MAREÓGRAFO FONDEADO

POR EL

Ing. Civil Federico F. Weiss

Las exigencias crecientes de navegantes, hidrógrafos e ingenieros, debidas a la necesidad del mejor aprovechamiento del tiempo en la competencia comercial o el del terreno para la marina de guerra han ido agudizando sucesivamente la demanda por mayor grado de aproximación en la determinación de la altura de agua disponible bajo la quilla del barco. Problema éste que tiene sus raíces en una rama económica que rige la actividad más importante para nuestro país como lo es el comercio de importación y exportación, preocupa desde tiempo atrás, aunque con bien distinta finalidad, a los investigadores oceanográficos.

El progreso que en nuestro país se ha realizado en esta materia ha culminado en las publicaciones del Ministerio de Marina, cuyo Servicio Hidrográfico, fuera de los Anales, publica desde el año 1919 (*) un *Almanaque Astronómico* (**) y *Tablas de Mareas* en forma de anuario.

Para el futuro desarrollo de la mareología desde el punto de vista teórico es insuficiente la reunión de elementos de juicio, de las variaciones del nivel en la proximidad de las costas, puesto que las influencias que sobre la onda de marea ejerce la componente horizontal debida a los accidentes topográficos del litoral marítimo desfigura su aspecto intrínseco.

Como ha ocurrido y sigue ocurriendo, de las especulaciones teóricas, de las investigaciones de índole puramente científica, desvinculadas de un aprovechamiento eventual para la vida humana, derivan aplicaciones a menudo imprevistas y de sorprendente alcance.

Es por la causa apuntada que no puede ponerse en tela de

(*) Repetto, Tratado de mareas y de análisis armónico.

(**) El Almanaque Astronómico desde 1934.

juicio la utilidad más o menos inmediata que puede representar el estudio teórico de las mareas.

Las dificultades inherentes a la instalación y funcionamiento de mareómetros y mareógrafos han inducido a la creación de mareógrafos fondeados, con los cuales habrían de sortearse los inconvenientes propios de instalaciones a gran profundidad que radican en su elevado costo, exposición a la acción de las olas superficiales y eventualmente las de fondo, témpanos, etc.

El mareógrafo fondeado reposa sobre un principio sencillo: registra las variaciones de presión que sobre él ejerce la columna hidrostática; como ésta es función de las variaciones del nivel, en definitiva registra estas últimas.

De los esfuerzos realizados por los investigadores y los industriales en acción conjunta surgieron diversos tipos, basados preferentemente en el manómetro de Bourdon. Mas las taras inherentes a este tipo, en especial las variaciones térmicas y la histeresis elástica, variable también ella con el calor, y las de índole puramente constructiva, no permitieron hasta hace poco el empleo de un instrumento realmente práctico de confianza.

El nuevo mareógrafo de alta mar, cuya descripción se hará a continuación, ideado por el Dr. Rauschelbach, jefe de la Sección Mareológica del Servicio Hidrográfico Alemán, en Hamburgo, satisface, por su teoría, por su construcción y por su eficiencia, a las exigencias actuales del oceanógrafo y del ingeniero.

Entre las ventajas dignas de destacarse se halla la del período que abarca, que es de 31 días.

Por lo general suele bastar un período de observación de 14 días; en cambio es indispensable el período mensual en el caso en que se quiere practicar el análisis armónico de una zona portuaria.

El aparato del Dr. Rauschelbach constituye un valioso incremento del instrumental oceanográfico, ya que a su construcción robusta une una sensibilidad que es siempre superior a 1 : 2000 de la variación del nivel. La zona de aplicación del mareógrafo, en cuyo proyecto se consideraron en primera instancia las conveniencias del litoral marítimo alemán, o sea para profundidades variables entre 5 y 55 m, se extiende a una profundidad de 350 m. y más.

El caldero *a* (fig. 1) es de hierro forjado, constituido por dos piezas ajustables herméticamente mediante arandela de goma. Está probado a una presión de 35 kg/cm²., y no tiene otra comunicación con el exterior que la del orificio correspondiente al tubo del manómetro, orificio señalado con *p* en la fig. 1.

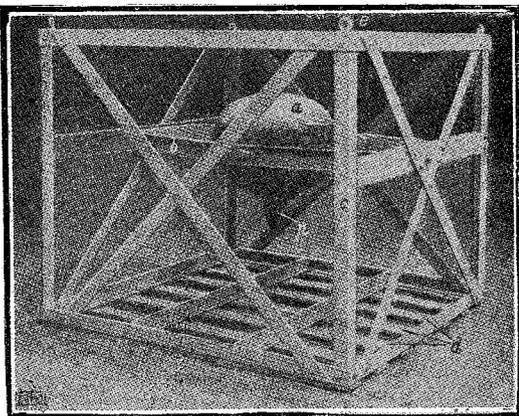


Fig. 1

El instrumento se halla sujeto mediante suspensión cardánica en un marco de acero *b* fijado a una jaula de cantoneras, *c*, que puede maniobrase mediante los ojos *e*. Con el dispositivo descrito se logra que el orificio *p* se mantenga a 50 cm. del fondo del mar, y para evitar un hundimiento excesivo se ha dispuesto un enlatamiento en la base que se halla fijado a las cantoneras en forma tal que se elimine el riesgo de que por causa de la penetración de la base en el fango y consecuente adherencia pudiesen cortarse los ojos o los cables de izar. Llegado a ese extremo, las latas se desprenden de las cantoneras por el esfuerzo de adherencia al fondo. El área de la base es de 2,25 m², de manera que permite emplazar el aparato en fondo fangoso o de mucha pendiente sin riesgo alguno.

En el citado caldero *a* se aloja todo el instrumental compuesto, en síntesis, por un manómetro, un termómetro metálico, un cronógrafo y el registrador.

El procedimiento manométrico se ilustra en el esquema repre-

sentado por la fig. 2, y está basado sobre la comparación de un volumen conocido, V_0 , de aire, a presión atmosférica, p_0 , y temperatura conocida t_0 , convirtiéndole en otro volumen V_1 a la presión $p_1 =$ presión atmosférica $p_0 +$ presión de la columna hidrostática S_1 comprendida entre el borde inferior del orificio de medición hasta la superficie del agua, rigiendo la temperatura t_1 que reina en el caldero a .

Designando con α al coeficiente de dilatación del aire, y partiendo de la ecuación fundamental de los gases:

$$\frac{p_0 \quad v_0}{1 + \alpha \quad t_0} = \frac{p_1 \quad v_1}{1 + \alpha \quad t_1} \quad (1)$$

se puede deducir

$$p_1 = p_0 \frac{v_0}{v_1} \frac{1 + \alpha \quad t_1}{1 + \alpha \quad t_0} \quad (2)$$

Si se admite el valor de la presión del aire en la superficie del agua, p_0 , igual a 10 m de columna de agua, y se deja sin considerar, provisoriamente, las variaciones del volumen del aire producidas por las de temperatura, se obtiene el valor de la columna de agua que actúa sobre el manómetro:

$$S_1 = \left(\frac{v_0}{v_1} - 1 \right) 10 \text{ m col. agua} \quad (3)$$

La elección adecuada de la relación $\frac{v_0}{v_1}$ permite graduar el alcance del mareógrafo a las profundidades y amplitudes $S_2 - S_1$ que se deseen.

Los límites de medición admitidos por el aparato pueden deducirse del esquema dado por la fig. 2, en la que d representa el recipiente del aire que ha de ser sometido a la presión de la columna de agua que penetra por el orificio p , protegido por una fina malla metálica, llena la antecámara o y pasa al tubo manométrico c constituido por un cilindro hueco, de cristal, de 200 mm.

de longitud y 30 mm. de espesor y acoplado al citado recipiente *d* de aire.

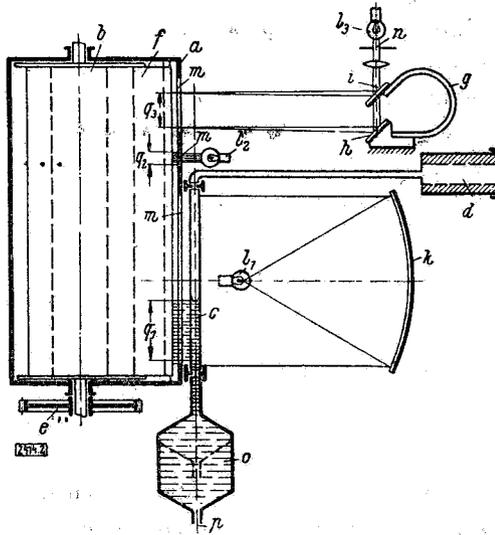


Fig. 2

- a* = cápsula hermética
- b* = tambores de reserva y de tracción
- c* = tubo de nivel del agua
- d* = cámara hermética de compresión
- e* = accionamiento de ltambor tractor
- f* = papel sensible
- g* = termómetro metálico
- h, i, k* = espejos
- l₁, l₂, l₃* = lámparas incandescentes
- m, n* = rendija
- o* = antecámara
- p* = orificio de entrada
- q₁* = trazo de la presión o profundidad
- q₂* = trazo de tiempo
- q₃* = trazo de temperatura

La amplitud de la zona de medición se corresponde con las profundidades

$$S_1 = \frac{o}{d + c} \cdot 10 \text{ m. col. agua} \quad (4)$$

$$S_2 = \frac{c + o}{d} \cdot 10 \text{ m. col. agua} \quad (5)$$

o sean las que provocan el desplazamiento de la columna en c hasta que su menisco llegue a los bordes inferior y superior, respectivamente.

Para adaptar el aparato a las condiciones variables, procederáse previamente a sondear la profundidad del mar; mediante repuestos adecuados cambianse los volúmenes c y de d , adaptándolos al caso y con ello se garantiza el correcto registro de las variaciones del nivel de la superficie.

Así, por ejemplo, para un determinado aparato se proveyeron accesorios con las relaciones volumétricas

$$\begin{aligned} 1,25 &< a/c < 29,25 \\ 1,5 &< d/c < 5,5 \end{aligned}$$

Mediante ellos es posible registrar las fluctuaciones mareográficas en 5 escalonamientos, de amplitudes de 10 m. cada uno, o sea de 5 a 15 m; de 10 a 20 m; de 15 a 25 m y así sucesivamente, con una reducción en relación de 1 : 50.

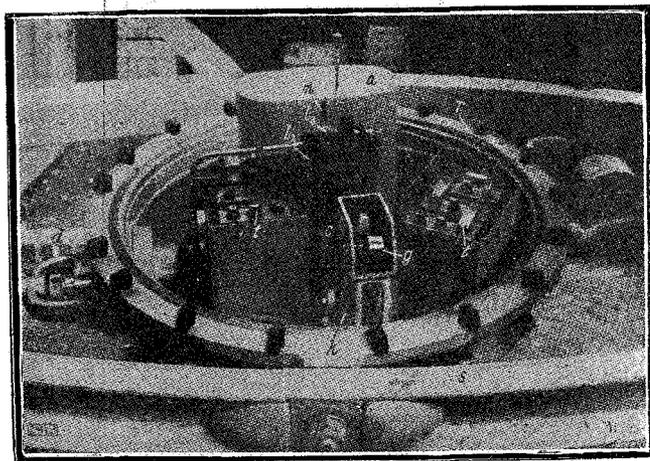


Fig. 3

- | | |
|------------------------------------|--|
| a = cápsula hermética | l_3 = lámpara del termómetro |
| c = tubo del nivel del agua | m = rendija frente al papel sensible |
| d = cám. hermética de compresión | r = sección inferior del caldero |
| g = termómetro metálico | s = aro de suspensión del caldero |
| k = espejo del tubo de nivel | t = batería de acumuladores |
| l_2 = lámpara horaria | |

El dispositivo intercambiable permite además mayores fluctuaciones a igual profundidad media; se obvia así el inconveniente de que por ignorancia de la profundidad ocurra que la columna de agua dentro del tubo *c* oscile fuera de los límites admisibles. El límite citado arriba, o sea 10 m, puede ser extendido fácilmente a 20 m, a 50 m y hasta a 100 m; naturalmente implica ello una reducción en la sensibilidad. Mas como ésta puede ser mantenida hasta de 1 : 2000 de la amplitud entre límites de registro, resulta que aún son registrables las variaciones de nivel comprendidas entre 2 cm. y 3 cm. para una amplitud de registro de 50 m.

El mareógrafo de Rauschelbach difícilmente puede ser alcanzado por otro tipo, en lo que atañe a adaptabilidad y exactitud.

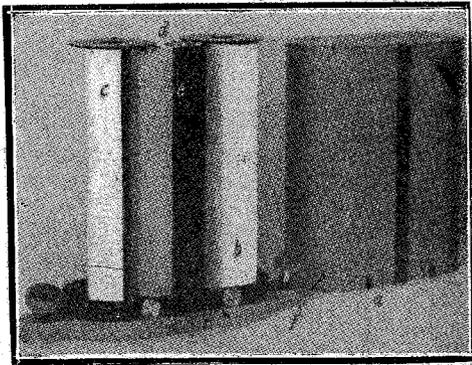


Fig. 4

Otra característica consiste en que puede ser construído para profundidades mucho mayores; por lo general el límite está dado en los 400 a 500 m. puesto que ya se requerirían dispositivos de registro de mayor amplitud. Por otra parte se tiene el incremento de dificultades de maniobra para arriar, anclar, señalar e izar.

Las variaciones del nivel de agua en el tubo *c*, función de la columna hidrostática, son registradas en una banda de papel fotográfico, coordinando las impresiones de la onda, del tiempo y de la temperatura.

A dicho efecto dispone el aparato de un chasis, representado en la fig. 4.

El dispositivo, que durante el funcionamiento se halla cubierto por la tapa *a*, consta de un cilindro que contiene el papel sensible listo para ser utilizado, señalado con *b*; el cilindro *c* desempeña las funciones del enrollador y el que señala con *d* ejerce la tracción. La tablilla opaca *e* contiene tres ranuras o rendijas estrechas que son las que habrán de impresionar la película sensible. Las orejas laterales *f* corresponden a los tornillos de fijación de la caperuza *a* a la base.

El proceso del funcionamiento puede apreciarse mediante la figura 2, y el resultado es el que representa la figura 5. Con referencia a las indicaciones de la fig. 2 se tiene el siguiente proceso:

El espejo cóncavo *k*, cuyas dimensiones son de 50 mm. de ancho por 200 mm. de alto, refleja la luz que recibe del foco luminoso *l*₁ y esa luz atraviesa el tubo *c* que tendrá, salvo en los extremos de que la amplitud de la onda (cresta y seno) coincidan con los extremos de la rendija, (*) una parte de su altura ocupada por el agua y el resto por el aire. Los rayos luminosos atraviesan dicho tubo con diferente intensidad según que sean absorbidos parcialmente por la zona con aire o que sean concentrados por el efecto óptico de la lente cilíndrica llena de agua; luego pasan por la ranura que en la fig. 2 se señala con *m* y que en la fig. 4 lleva la ietra *e* e impresionan la película sensible. Esa impresión se verifica cada 5 minutos. Para lograrlo contiene el aparato un dispositivo tal que al intervalo dicho corresponde un contacto que, gobernado por un reloj, cierra el circuito eléctrico entre la batería de acumuladores de que está provisto y la lámpara incandescente.

Debido a la concentración de luz producida por el cilindro de agua la intensidad de aquella es mucho mayor que la del rayo o faja que atraviesa la zona con aire del tubo *c*, de tal suerte que como la duración de la exposición es de 0,5 seg a 0,75 seg no alcanza a impresionarse sino la primera de esas fajas, o sea la *q*₁ de la fig. 2.

(*) Ya se ha visto que el caso es evitable.

Simultáneamente con la l_1 se enciende la l_3 que registra la temperatura que está dada por el termómetro metálico g , termómetro que está tarado entre 0°C y 30°C con una aproximación de $0,25^\circ\text{C}$. La lectura se realiza midiendo la distancia que media entre el punto representativo del espejo fijo h y el del espejo móvil i y que en la fig. 2 está señalada con q_3 .

Para la coordinación horaria de temperatura y columna de agua se imprime en q_2 un corto trazo mediante un contacto horario gobernado por el mismo juego de relojería que cierra los circuitos de las lámparas l_1 y l_3 .

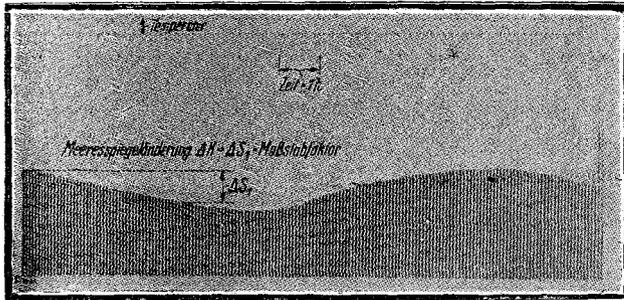


Fig. 5.

Zeit significa tiempo; *Temperaturunterschied* significa diferencia de temperatura; *Meeresspiegeländerung* significa variación del nivel del mar; *Maasstabfaktor* significa factor de la escala, de modo que la inscripción relativa a la fluctuación del nivel significa lo siguiente:

Variación del nivel del mar, $\Delta H = \Delta S_1 \times \text{factor de la escala}$.

La banda de papel fotográfico se desplaza delante de las ranuras m , fig. 2, con una velocidad de 0.6 mm/min mediante el movimiento de relojería e , fig. 2, y su longitud es de 28 m . con una duración de 31 días; los relojes llevan cuerda para 35 días de marcha, y según sea la calidad del trabajo deseado puede instalarse, ya sea un reloj compensado, cuyo error está dentro de los 2 min en 14 días, ya un cronómetro cuya cuerda da, automáticamente y a hora fija todos los días, un pequeño electromotor incluido en el aparato.

La fuente de energía eléctrica la constituyen dos baterías de

acumuladores, hierro-níquel que no forman gases, con una capacidad de 34 Ah y una tensión de 5,5 V.

Las humedades provenientes de las diferencias de temperatura son absorbidas por cloruro de calcio colocado convenientemente en el interior del caldero.

La fig. 5 reproduce un fragmento de una banda registradora del mareógrafo del Dr. Rauschelbach.

En la porción de banda de la fig. 5, que abarca un lapso de 14 horas, puede determinarse la fluctuación del nivel del agua, mediante las ordenadas registradas en ella, corregidas, según la ecuación (2), por la temperatura que señala la misma banda y por la presión atmosférica p_0 que debe determinarse por medio de observaciones meteorológicas en el lugar y tiempo correspondientes y que en el caso de la ecuación (3) se admitió provisoriamente igual a 10 m de columna de agua.

Al efectuar la colocación del instrumento es menester señalar cuidadosamente la superficie del mar. En todos los casos debe determinarse la posición, marcándola en la carta.

