

MAREÓMETROS Y MAREÓGRAFOS DE SIFÓN

POR

EDUARDO MIER Y MIURA

PRIMERA PARTE

TEORÍA DE LOS MAREÓMETROS Y MAREÓGRAFOS DE SIFÓN

(CONTINUACIÓN)

Además, aun cuando existieran esos meniscos por usar diámetros inferiores, como influyen próximamente en el mismo sentido en ambas ramas, al hacer la resta de ambas lecturas, el mareómetro está en el mismo caso que el barómetro de Gay-Lussac, en el que generalmente se admite la compensación de esos errores, que, por otra parte, si en ello hay gusto, puesto que no existe conveniencia ni necesidad, pueden estimarse, tomándose el trabajo de medir las flechas de ambos meniscos y usando la conocida tabla de Delcros.

Tampoco hemos mencionado las correcciones que las lecturas han de sufrir por la influencia de la temperatura en las escalas, aumentando ó disminuyendo el valor de sus divisiones, porque verificándose estas variaciones de una manera simultánea en ambas, por sí solas desaparecen al hacer la resta que da el valor m empleado en los cálculos.

En las observaciones á que dan lugar los estudios astronómicos y los de la gravedad por medio del péndulo, admítase como corriente, que poniendo entre las dos rayas de una escala de Füss, que á veces distan entre sí un milímetro, otro trazo de unas cuantas décimas de milímetro de ancho, el observador estima á ojo en estas mismas reducidísimas unidades, la distancia que al eje de tal trazo separa de la inmediata raya, y no fuera, por lo tanto, caso maravilloso ni inaudito que pretendiéramos que á la simple vista pudieran estimarse las alturas de las columnas de mercurio en décimas de milímetro; pero mejor será, aun cuando esto aumente el precio de los aparatos, si se busca gran precisión en ellos, emplear en una y otra rama los conocidos nonios, que de ordinario se utilizan con análogo fin en los barómetros.

Podrá cometerse así un error de lectura en cada rama, inferior á una décima de milímetro, y claro es que, al restar ambas, según el signo de aquéllos sea, aparecerán restados ó sumados en el resultado.

Esto último supondremos, por creer que es el camino más seguro para evaluar debidamente la precisión de un instrumento, que aparece encubierta muchas veces bajo aparatosos resultados, cuando se acude al socorro de las repeticiones y al del cálculo de probabilidades. De ese modo, podremos afirmar que conocemos m con un error que no excede de 0,2mm, y podremos escribir:

$$\text{números exactos } a = m \cdot e + P \cdot e$$

$$\text{ídem aproximados } a \pm E = e(m \pm \epsilon) + P \cdot e; \epsilon < 0,2\text{mm};$$

despreciando por ahora el error de $P \cdot e$, del que ya hemos hablado bien largamente.

El error debido á las lecturas, será:

$$E = \pm \epsilon e < \pm 0,2\text{mm} e;$$

y como ya antes indicamos que en todas las costas de nuestra Península:

$$e < 13,448,$$

resultará que:

$$E < 0^m,0002 \times 13,448 = 0^m,0026976,$$

luego no excederá seguramente el máximo error cometido de 2,7mm de altura de agua, número que por su pequeñez es absolutamente despreciable, dada la naturaleza de la cantidad medida, aun sin compararla con los errores veinte veces mayores que los mareógrafos ordinarios dan.

10.—Reducción de las dos lecturas de los mareómetros á una sola, y ampliación de la escala.

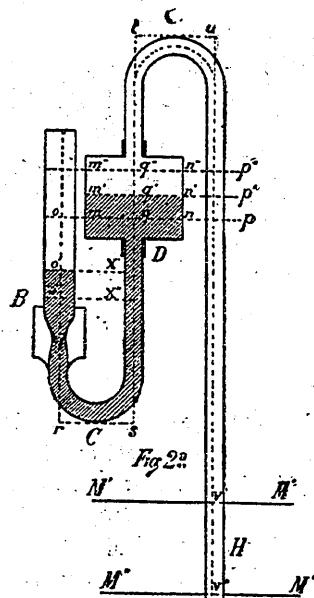
Como es condición inseparable de nuestra naturaleza el acoger con prevención todo lo nuevo, esmerándonos en encontrar defectos, sin cuidarnos de los que existan en lo que por buenos han dado y como tal hemos aceptado, podrá quizás decirse que la lectura única de los mareómetros ordinarios venimos á sustituirla por dos, haciendo de este modo más enojosa la observación, y podrá también afirmarse que la escala con que las variaciones del nivel del líquido se acusan en ambas columnas de mercurio, que se acerca á $\frac{1}{27}$, es excesivamente grande, y aun cuando en todo lo que precede queda demostrado que, con esta escala y todo, las condiciones de precisión son excelentes, y aunque el uso de dos lecturas, á las compensaciones que entre sí establecen unen la comprobación recíproca que dan, con todo y con eso, demostraremos que esa escala de las lecturas puede reducirse enormemente y que también es hacadero sustituir por una sola ambas observaciones.

Las consideraciones por las cuales hemos llegado á la igualdad:

$$a = m \cdot e + P \cdot e$$

son completamente independientes de la forma y de las dimensiones que las dos ramas del tubo en u tengan, así es que seguirán verificándose cuando demos á éstas la forma que tienen en la figura 2.^a, en la que suponemos la existencia de una ancha cubeta, D , en la rama que comunica con el mar.

El mercurio, cuando el mareómetro está sin cargar, tiene la posición de equilibrio, en la que las dos superficies o y mn vie-



nen á ser prolongación la una de la otra, y una vez cargado, siendo $M'M'$ el nivel de las aguas del mar, toman aquéllas la situación o' y mn' , cambiándose éstas por las $m''n'$ y o'' cuando las aguas descienden á $M''M''$; pero en todas las posiciones, las columnas de azogue de alturas $q'x'$, $q''x''$... equilibran á las correspondientes de agua de mar $p'v'$, $p''v''$..., pudiéndose escribir que:

$$a = p'v' = q'x' \cdot e + P \cdot e = (q'q + qx') e + P \cdot e = (q'q + oo') e + P \cdot e$$

$$a = p''v'' = q''x'' \cdot e + P \cdot e = (q''q + qx'') e + P \cdot e = (q''q + oo'') e + P \cdot e,$$

puesto que en todas las posiciones, las alturas de mercurio ro' , ro'' ... se hacen equilibrio con las sx' , sx'' ...; las de agua tq' , tq'' ... con las up' , up'' ... y las $q''x'$, $q''x''$... de mercurio, con los de agua $p'v$, $p''v''$; siendo lícito, por lo tanto, escribir la fórmula general:

$$a = (q'q + oo')e + Pe;$$

y observar que, indefectiblemente, como la cantidad de mercurio en que disminuye la rama AB es precisamente la misma en que aumenta la cubeta si designamos por R el radio de ésta y por r el de aquélla:

$$oo' \cdot \pi r^2 = qq' \cdot \pi R^2 \text{ o } qq' = oo' \frac{r^2}{R^2}$$

valor que llevado a la expresión general, la convierte en:

$$a = \left(oo' + oo' \frac{r^2}{R^2} \right) e + Pe = oo' \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right) e + Pe,$$

y como la suma calculada entre paréntesis es una cantidad fija, resulta que la escala aparece multiplicada en realidad por una constante, transformándose por lo tanto.

Con tal de que $r = 1 \text{ cm}$ y $R = 4$, aparecerá que:

$$a = oo' \left(1 + \frac{1}{16} \right) e + Pe = oo' \frac{17}{16} e + Pe,$$

que para el valor medio de e 13,3 da

$$a = oo' \cdot 14,13 + Pe,$$

indicando las oscilaciones de oo' no ya la fracción $\frac{1}{26,6}$ de las que experimenta el agua del mar, sino la $\frac{1}{14,13}$, próximamente.

11.—Conversión de las lecturas mareométricas en cotas.

Para deducir de esos valores de a los correspondientes a las cotas del mar, observaremos que tomando el plano $omnp$ como superficie de comparación, las diversas cotas $p'v'$, $p'v''$... son los resultados de las restas $p'v' - pp'$, $p'v'' - pp''$... pudiendo escribir en general:

$$c = a - pp' = a - oo' \frac{r^2}{R^2},$$

y aquí conviene observar que eligiendo a r suficientemente pequeño con relación a R , pueden construirse mareómetros en que esa corrección $oo' \frac{r^2}{R^2}$ sea completamente despreciable.

En uno de los mareómetros de cubeta que hemos construido, tiene ésta un diámetro de 150 mm., mientras que es de 3,5 el del tubo en que se leen las oscilaciones, y con arreglo a estos datos:

$$\frac{r^2}{R^2} = \frac{3,5^2}{150^2} = \frac{1}{1.837},$$

de modo que, aun cuando oo' llegara a valer 0^m,5, resultaría una corrección despreciable de $\frac{0,5}{18,37}$ 0^m,0003, pudiendo adoptarse

los valores de a como cotas, con la plena seguridad de que jamás se llega a cometer por esto un error de 3 décimas de milímetro en el nivel deducido para el agua.

12.—Aumento de la escala por medio de tubos auxiliares.

De la expresión general:

$$a = oo \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right) e + Pe,$$

se deduce que sean los que quieran los valores de r y R , jamás podrá conseguirse observar en la rama AB del mareómetro oscilaciones que lleguen a valer siquiera $\frac{a}{e}$, y como e es siempre superior a 13, parece que no es fácil aumentar la escala en que los líquidos del mareómetro den sus indicaciones, y así es, en efecto, si éstos no sufren alguna variación.

Pero unamos a la rama libre A' del aparato otro segundo tubo, en U, A'', figura 3, llenándole en parte con otro líquido distinto del mercurio, y con esa sencilla transformación podremos disponer de la escala que se nos antoje, dentro de muy apartados límites.

Para la posición que indica la figura, en que el nivel del líquido auxiliar llega a A'', fácil es ver, que haciéndose equilibrio las dos columnas de agua de mar que están sobre la horizontal aa' y las dos del líquido indicador que están por cima de A'' l, así como las de mercurio que resultan en la parte inferior y las otras dos que quedan por debajo de A'' l, solamente restan: la columna de agua de mar aa', la de mercurio de altura mm' y la del líquido auxiliar ll', que entre sí equilibran sus esfuerzos, compensando una parte del que a aa' corresponde el que en sentido contrario establece la mm', y la otra parte restante el que es propio de la ll', cuya acción se suma con la del mercurio.

De un modo general, si d_m , d_a y d_l representan respectivamente las densidades del mercurio, del agua y del líquido auxiliar, claro es que la parte x de aa' que equilibra la altura de mercurio mm', estará dada por la proporción inversa:

$$\frac{x}{mm'} = \frac{d_m}{d_a}, \text{ de donde } x = mm' \frac{d_m}{d_a};$$

así como la parte y que a ll' corresponde se deducirá de la

$$\frac{y}{ll'} = \frac{d_l}{d_a}, \text{ que da } y = ll' \frac{d_l}{d_a},$$

valores de x e y que sumados dan:

$$aa' = x + y = mm' \frac{d_m}{d_a} + ll' \frac{d_l}{d_a};$$

y para otra posición distinta:

$$a_1 a'_1 = m_1 m'_1 \frac{d_m}{d_a} + l_1 l'_1 \frac{d_l}{d_a},$$

que restada miembro a miembro de la anterior produce la igualdad:

$$(aa' - a_1 a'_1) = (mm' - m_1 m'_1) \frac{d_m}{d_a} + (ll' - l_1 l'_1) \frac{d_l}{d_a},$$

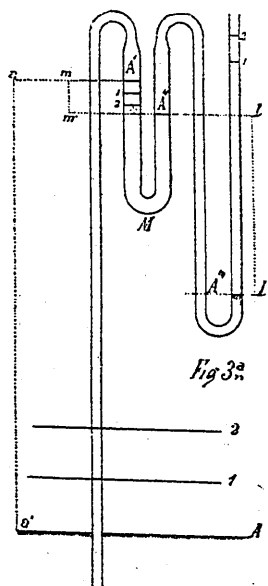
que liga las variaciones de la altura de la columna de agua de mar con las de mercurio y con las del líquido auxiliar. Para relacionar estas últimas variaciones con las primeras será preciso eliminar las que corresponden al mercurio ($mm' - m_1 m'_1$) y para ello basta con fijar algo la atención, sobre la figura 3., en lo que sucede cuando varía el nivel a' A de las aguas del mar.

Supongamos, por ejemplo, que ese nivel sube. Como consecuencia inmediata de esta subida, bajará el mercurio en el tubo A', ascenderá en el A'' y el líquido auxiliar también subirá en A'', ó en otros términos, habrá bajado la horizontal a A' y habrán subido las m' l y A'' l'.

Si atribuimos, para simplificar los cálculos, igual diámetro á los tubos A' y A'' , claro es que el nivel del mercurio en el primero habrá bajado tanto como haya subido en el segundo, y la variación de altura experimentada por la columna de mercurio, $mm' - m_1m'_1$ será el doble de uno de aquellos dos cambios de nivel, que representaremos por α ; de modo que:

$$(mm' - m_1m'_1) = 2\alpha.$$

Por otra parte, la altura de la columna de líquido auxiliar si designamos por β lo que haya subido el nivel en el tubo A''' ,



cuando la horizontal A'' ha subido también la altura α , habrá experimentado un cambio representado por $\beta - \alpha$, y podremos establecer que:

$$ll' - l_1l'_1 = \beta - \alpha.$$

Y como precisamente la cantidad de líquido auxiliar que ha desaparecido del tubo A'' es la misma que ha pasado al A''' , si r y R son los radios respectivos de esos tubos, evidente es que:

$$\beta\pi r^2 = \alpha\pi R^2 \quad \text{ó} \quad \alpha = \beta \frac{r^2}{R^2}.$$

Este valor de α sustituido en las igualdades anteriores da:

$$(mm' - m_1m'_1) = 2\beta \frac{r^2}{R^2},$$

$$(ll' - l_1l'_1) = \beta \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right),$$

que á su vez producen la:

$$\begin{aligned} (aa' - a_1a'_1) &= \beta \left(2 \frac{r^2}{R^2} \cdot \frac{d_m}{d_a} - \frac{r^2}{R^2} \frac{d_l}{d_a} + \frac{d_l}{d_a}\right) \\ &= \beta \left(\frac{r^2}{R^2} \left(2 \frac{d_m}{d_a} - \frac{d_l}{d_a}\right) + \frac{d_l}{d_a}\right), \end{aligned}$$

y si se designa por v la variación de nivel que ha experimentado el agua del mar, como:

$$(aa' - a_1a'_1) = v + \alpha = v + \beta \frac{r^2}{R^2},$$

se tendrá, finalmente:

$$\beta = v \left(\frac{r^2}{R^2} \left(2 \frac{d_m}{d_a} - \frac{d_l}{d_a} \right) + \frac{d_l}{d_a} \right),$$

que relaciona las variaciones del nivel en el mar con las del líquido auxiliar en el tubo A''' , expresando la proporcionalidad entre ambas.

Se llegaría á obtener el valor 1 para la escala, cuando todos los líquidos tuvieran idéntica densidad, hecho que, si bien comprueba la bondad de la fórmula, en realidad no cabe aprovechar para nada útil, toda vez que si se usara el instrumento como mareómetro, se descargaría desde luego, y si se colocara muy bajo, para que esto no sucediera, tratando de darle otras aplicaciones especiales, quedaría reducido su papel al que pudiera desempeñar un sencillo tubo, indicador de nivel.

Pero, al mismo tiempo, evidencia esa fórmula la verdad de cuanto precedentemente asegurábamos, al sostener que, por medio de tubos auxiliares podría conseguirse observar oscilaciones en los mareómetros muy superiores á $\frac{1}{13}$ de las que el nivel de las aguas experimentara, porque claro es que empleando líquidos auxiliares de mínima densidad, y dando convenientes valores á r y R , el coeficiente de la escala, por el que aparece multiplicada β , en la fórmula anterior, puede llegar á tener valores muy inferiores á 13.

Si en la rama A''' (fig. 3.^a) echáramos suficiente líquido auxiliar, evidente es que podríamos conseguir que siempre, por baja que estuviere la superficie de nivel del mercurio, resultara más alta que ella la del líquido auxiliar A''' .

En este caso, en vez de equilibrar la columna aa' de agua á las de mercurio y de líquido auxiliar, se sumaría la acción de esta última con la de la primera, para compensar el efecto de la segunda, pudiendo llegarse por análogas consideraciones á las antes expuestas á establecer las igualdades

$$aa' = mm' \frac{d_m}{d_a} - ll' \frac{d_l}{d_a},$$

$$a_1a'_1 = m_1m'_1 \frac{d_m}{d_a} - l_1l'_1 \frac{d_l}{d_a},$$

$$(aa' - a_1a'_1) = (mm' - m_1m'_1) \frac{d_m}{d_a} - (ll' - l_1l'_1) \frac{d_l}{d_a},$$

Y designando como antes, por α el cambio de nivel del mercurio en uno de los dos tubos A' ó A'' , supuestos de igual radio, para una bajada de nivel del agua

$$mm' - m_1m'_1 = 2\alpha,$$

así como representando por β el descenso de nivel en el tubo auxiliar:

$$ll' - l_1l'_1 = \alpha - \beta,$$

que nos conducirían á la misma relación antes hallada entre v y β , toda vez que esta última diferencia $ll' - l_1l'_1$, habria de restarse, en vez de sumarse, como antes.

En general, por lo tanto, las variaciones de nivel están enlazadas entre sí por la relación:

$$v + \alpha = 2\alpha \frac{d_m}{d_l} + (\beta - \alpha) \frac{d_l}{d_a},$$

que con la

$$\beta r^2 = \alpha R^2$$

permite eliminar β ó α , según convenga, y referir las variaciones de nivel del agua á las del líquido auxiliar ó á las del mercurio.

13.—Aplicación de los tubos auxiliares en un caso especial.

Para hacer resaltar más fácilmente cuanto acabamos de indicar, hagamos la hipótesis de que el líquido auxiliar sea también agua del mar ($d_l = d_a$), aunque no sea favorable, y en tales condiciones como:

$$v = \left\{ 2 \frac{r^2}{R^2} \left(\frac{d_m}{d_a} - 1 \right) + 1 \right\} \beta$$

asignando á $\frac{d_m}{d_a}$ el valor medio 13,3, resultará que:

$$v = \left(24,6 \frac{r^2}{R^2} + 1 \right) \beta.$$

Para que las variaciones de nivel en el mareómetro sean la $\frac{1}{n}$ parte de las que experimente el agua del mar, bastará con que r y R sean tales que:

$$24,6 \frac{r^2}{R^2} + 1 = n,$$

ó sea que

$$24,6 \frac{r^2}{R^2} = n - 1 \quad \text{ó} \quad R^2 = \frac{24,6}{n - 1} r^2,$$

$$R = r \sqrt{\frac{24,6}{n - 1}}.$$

fórmula que aplicada, por ejemplo, al caso en que se deseara obtener en el mareómetro variaciones tres veces menores, nada más, que en el mar, nos daría la relación

$$R = 3,51 r;$$

es decir, que si r vale, por ejemplo, 1 cm., bastaría con que el radio del tubo más grueso, que contiene el mercurio, tuviera un diámetro de 7 cm. próximamente.

14.—Mareómetros para grandes profundidades.

Las anteriores fórmulas se prestan á una curiosa discusión acerca de los valores y signos de las cantidades que en ellas intervienen, que omitimos, tanto por creer que no es de resultados más prácticos que las consideraciones ya apuntadas, cuanto por el deseo de abreviar este trabajo.

Y por eso mismo aquí daríamos fin á este estudio teórico si no quisiéramos salir al reparo de alguna objeción que, con visos de fundada, pudiera hacerse acerca de la utilidad de los mareómetros de sifón.

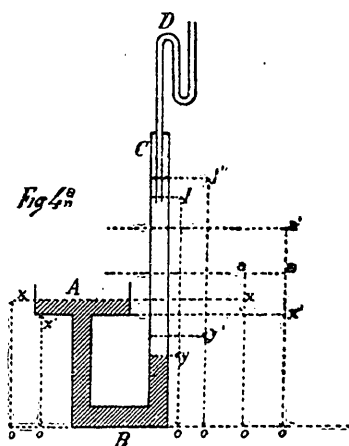
No sería difícil encontrar quien dijera que los mareómetros eran aparatos sencillos, baratos y muy precisos; siendo una verdadera lástima que el propio modo de ser de las cosas limitara su empleo en tales términos que, sólo en contados lugares pudieran establecerse, ya que su teoría exige que la parte más alta del sifón no pueda estar sobre las aguas arriba de unos 10 metros.

Basta con esta altura, como hemos demostrado, dando preferencia al estudio del mareómetro de Santander, por esa misma razón, para que los mareómetros de sifón puedan emplearse en todas nuestras costas, tal y como los hemos descrito; pero aun prescindiendo de esta consideración, para destruir por completo la censura antes apuntada, bueno será que demos que utilizando el principio de los citados mareómetros y sin más que uno ó varios tubos, del mismo ó diferente diámetro, y un poco de mercurio, pueden medirse los desniveles de un líquido, esté á la profundidad que quiera, y aunque resulte la parte más alta del sifón, no ya 10 metros sobre las más bajas aguas, sino 20, 30 ó más; demostración que haremos á la ligera por considerarla de interés casi nulo para el establecimiento de mareógrafos en España.

Sumerjamos en el mar un tubo ABC (fig. 4.^a) provisto de una cubeta A , y lleno en su parte inferior de mercurio, y situémosle á tal profundidad que las más bajas aguas no lleguen, ni con mucho, á descubrir la boca de aquélla; echemos agua en el tubo estrecho CB , ú otro líquido de poca densidad y obtendremos un

mareómetro sencillo y barato, que puede usarse cualquiera que sea la profundidad de la bajamar.

La teoría y cálculo de los resultados de esos aparatos son análogos á los que ya hemos expuesto, quizás con sobrada pesadez; así es que analizaremos los que corresponden al tipo de cubeta que hemos empleado, siguiendo un procedimiento algo distinto en la forma, siquiera para conseguir alguna variedad, al par que de este modo resulte demostrada la facilidad con que estos estudios pueden tratarse.



Siendo, como siempre, d_m la densidad del mercurio, d_a la del agua del mar y d_l la del líquido auxiliar, B' la presión barométrica en aa , superficie del mar, y B la que en l existe, y tomando como origen el plano oo' , podremos establecer para la posición de equilibrio de las superficies a, x, y, l :

$$B' + ax \frac{d_a}{d_l} + ox \frac{d_m}{d_l} - B - oy \frac{d_m}{d_l} - ly \frac{d_l}{d_l} = 0,$$

ó sea, suponiendo para abreviar, $d_a = d_l$

$$(ao - xo) = ly - (ox - oy) \frac{d_m}{d_a} + B - B',$$

para otra posición de equilibrio a', x', y', l' , se obtendría

$$(a'o - x'o) = l'y' - (ox' - oy') \frac{d_m}{d_a} + B - B',$$

de la cual, restando miembro á miembro la anterior, se deduce, teniendo en cuenta que $l'y' = ly$, por no variar la cantidad de líquido poco denso del tubo C ,

$$(a'o - ao) + (xo - x'o) = \{ (ox - ox') + (oy' - oy) \} \frac{d_m}{d_a}$$

ó

$$a'a + xx' = xx' \cdot e + yy' \cdot e,$$

y como

$$xx' \pi R^2 = yy' \pi r^2 \quad (R : \text{radio de } A; r \text{ el de } C),$$

$$aa' = \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right) yy' \cdot e = ll' \cdot e \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right).$$

despreciando la corrección xx' , que, como ya demostramos, puede hacerse completamente inofensiva.

Esa última fórmula, igual, como debía ser, á la que obtuvimos para los mareómetros de cubeta, demuestra que las fluctuaciones de la superficie l son proporcionales á las del nivel a y marca la escala de proporcionalidad.

Todo el razonamiento que hemos hecho es en su fondo independiente de la altura constante ly ; de modo que teóricamente puede establecerse el mareómetro á la profundidad que se quiera, y sin otras limitaciones en la práctica que las que en sí lleven las dimensiones de los tubos empleados.

El hecho es que por medio de la disposición ABC (figura 4.^a) ú otra análoga, las variaciones de los niveles $a, a', \dots$ se refieren á las de los $l, l', \dots$ y situando aquí, cual la figura indica, mareómetros de los descritos, podrá hacerse la necesaria lectura, en

uno de sifón, siendo evidente que, en vez de disponer, cual se ha supuesto, para facilitar la explicación, que el tubo inferior del mareómetro penetre en el C, pueden y deben constituir ambos un solo tubo.

Para hacer un estudio detenido, tanto de las diversas formas que la parte sumergida de los mareómetros puede tener, como de los distintos fluidos auxiliares (líquidos y gases) que es posible emplear, así como de las combinaciones diversas á que se prestan las distintas disposiciones que, tanto dentro, como fuera del agua, pueden emplearse, necesitamos llenar páginas y páginas, en las que después de todo ni se encontrarían grandes

utilidades para la instalación de mareómetros en España, ni novedades de importancia, ya que el caso de los mareómetros su mergidos es en su fondo igual al de los expresados en este escrito con toda prolijidad, pudiendo generalizarse para ellos las fórmulas establecidas.

De algunas variantes de poca importancia, que en la disposición de los mareómetros indicadores pueden establecerse en casos particulares, nos ocuparemos brevemente al describir algunos de los diversos tipos de aparatos que la aplicación de esta teoría permite idear fácilmente.

15.—Mareómetros de tubo en U.

La figura 5.^a representa un indicador de nivel de tubo en U, que hemos construido como aparato de demostración; puede verse en ella el tubo en U, lleno en parte de mercurio y fijo á una tabla, en la que están aseguradas las reglas que sirven para efectuar las lecturas. La rama del tubo en U, que comunica con el líquido, lo verifica por medio de un tubo de caucho, que va á enchufarse con otro de cristal, que atraviesa, con rozamiento duro, un tapón de dos orificios, puesto en

la boca de un frasco, y llega hasta cerca del fondo de este último.

Elevando ó bajando el frasco, se simulan los movimientos de las mareas, y efectuando esto á lo largo de una regla dividida, puede apreciarse la correspondencia entre los niveles del agua y los del mercurio.

Una ampliación de este modelo son los mareómetros ordinarios, sin otra diferencia que sustituir el tubo de caucho por otro de plomo, que va á sumergirse en el mar, quedando su boca por debajo de las bajamares más vivas que puedan temerse. En la parte más alta de ese tubo de plomo se suelda, en la forma que indica la figura 7.^a, que se refiere á un mareómetro de cubeta, un corto trozo de tubo de plomo, de 15 ó 20 centímetros de largo, que ha de servir para efectuar la carga.

(Se continuará.)

USO DEL CLORURO DE CALCIO

PARA PREVENIR LA HELADA DEL HORMIGÓN

Se sabe que las soluciones salinas se congelan más difícilmente que el agua pura; es así que una solución de cloruro de sodio al 20 por 100 no se hiea más que á -14°C ., y que una

solución de cloruro de calcio lo realiza á -18°C ., por esta razón se emplean frecuentemente estas dos sales para evitar la helada de los morteros y hormigones. Pero además de hacer bajar el grado de congelación, el cloruro de calcio tiene todavía una ventaja sobre el cloruro de sodio, y es que su unión al mortero aumenta el grado de impermeabilidad al agua.

Para darse cuenta de la acción del cloruro de calcio en la resistencia del mortero, M. Richard Meade ha efectuado un cierto número de ensayos, de los que se da razón en un número reciente del *Engineering Record*. M. Meade confeccionó un cierto número de probetas con morteros, dosificados á razón de 1 de cemento americano, por 2 ó 3 de arena, y con adiciones de cloruro de calcio de 0, 2, 4 y 6 por 100.

Una vez hechas estas probetas, se expusieron al aire libre, y á la acción del viento Norte, con una temperatura próxima de -15°C ., y que descendió en la noche siguiente á -18°C .. Algunas probetas, sin cloruro de calcio, se conservaron en el laboratorio; todas fueron rotas al cabo de siete y veintiocho días.

Otras probetas fueron expuestas al aire libre durante la noche, y á una temperatura que descendió á -16°C ., y llevadas al día siguiente al laboratorio, á $+22^{\circ}\text{C}$., y lo mismo durante los siete y veintiocho días sucesivos.

En uno y otro caso los experimentos han demostrado claramente que el máximo de resistencia de las probetas sometidas al aire libre tenía lugar con la adición de un 2 por 100 de cloruro de calcio, como se puede ver en la tabla siguiente, que da las medias de las resistencias obtenidas en las mismas series de ensayos para morteros de 1 : 3. Estas resistencias están expresadas en libras por pulgada cuadrada.

(0^k,0704 por centímetro cuadrado.)

Exposición continua.			Exposición intermitente.	
CaCl ²	7 días.	28 días.	7 días.	28 días.
0 por 100.....	185	225	239	308
2 idem	225	367	329	398
4 idem	208	338	316	360
6 idem	183	267	312	342

Como se pone de 10 á 15 por 100 de agua para constituir el mortero, esto equivale, con una adición del 2 por 100 de cloruro de calcio, á amasar con un agua que contiene de 13 á 20 por 100 de cloruro, lo que hace descender el punto de congelación del agua á -10°C . y -18°C .

Es de observar que una parte, que una adición de cloruro superior al 2 por 100 aumenta la rapidez del fraguado, y que por otra parte los cementos son tanto menos resistentes cuanto la rapidez de fraguado es más grande.

Para comprobar el aumento de la impermeabilidad del mortero por la adición del cloruro de calcio, M. Meade hizo secar en el aire pequeñas placas de mortero de 1 : 3 durante dos semanas, después las colocó en un vaso conteniendo agua y las dejó veinticuatro horas. Pesadas efectuadas antes y después de esta inmersión acusaron la cantidad de agua absorbida. M. Meade encontró que el mortero sin adición de cloruro absorbió 7,5 por 100 de agua, en tanto que el mortero con 2 por 100 de cloruro no absorbió más que 3,7 por 100, es decir, una mitad menos.

Placas de mortero que contenían 4 y 6 por 100 de cloruro de calcio, presentaron efflorescencias, lo que no ocurrió con la proporción del 2 por 100 solamente. Hay que advertir que, á causa de la afinidad del cloruro de calcio, por el agua, el mortero adicionado de esta sal se seca más difícilmente que un mortero puro.—O.