VII CONGRESO INTERNACIONAL DE NAVEGACIÓN [1]

Cálculo completo del volumen total de la marea.—La aplicación de la fórmula (4) permite calcular el volumen total que pasa durante una marea en el flujo, por ejemplo, por una sección que llamaremos o.

Supongamos que las curvas de marea se hayan observado en n estaciones o — I — II ..... N — 1; divídase la duración T del flujo en p intervalos; el primero se contará á partir de la hora de baja mar en la estación O, los $p - 1$ primeros serán iguales entre sí, el último será igual al tiempo que quede entre el final del $(p - 1)'$ y la hora de la plea mar. De modo que podrá formarse un estado como sigue:

DESIGNACION DE LOS ENTRE-PERFILES	Entre la hora A de la baja mar en la estación O y la hora $A + \frac{T}{p}$	Entre las horas $A + \frac{T}{p}$ y $A + 2\frac{T}{p}$	......	Entre la hora $A + (n - 1)\frac{T}{p}$ y la hora de plea mar.
Desde el perfil O al perfil I ($D_1 = ...$)	....	....	......	....
....				
....				
Desde el perfil N 2 al perfil N — 1 ($D_{n-1} = ...$)..	....	....	......	....
TOTALES....	Q_1	Q_2	......	Qp
Gasto del río durante el tiempo $\frac{T}{p}$	X	X	......	X'
Volumen dado por la marea aguas arriba de la estación O durante el tiempo $\frac{T}{p}$	$Q'_1 = Q_1 - X$	$Q'_2 = Q_2 - X$	......	$Q'p = Qp$ X

Las casillas se irán llenando calculando las variaciones de volumen por medio de las fórmulas (1), (2) y (3). Estas variaciones tendrán el signo + para los puntos y las horas en que suba la marea, y el signo — en el caso contrario. El total será la suma algebráica, tomando siempre con signo — el gasto proporcionado por el río, ó sea el de agua dulce.

Estos cálculos son muy pesados, y pueden facilitarse por un artificio gráfico. Para eso se construirán una serie de perfiles longitudinales instantáneos, que den para las horas A; $A + \frac{T}{p}$..... los valores de las secciones mojadas medias; entonces, por medio del planímetro, ó determinando el área de cuadriláteros, muy semejantes á trapecios, se podrán obtener las cantidades que se han de inscribir en el estado anterior.

Gasto instantáneo y velocidades.—Dividiendo los volúmenes obtenidos por el número de segundos del intervalo $\frac{T}{p}$ se tendrán los gastos instantáneos medios durante estos intervalos. Si se toman estos gastos instantáneos medios como ordenadas y los tiempos como abcisas, los volúmenes durante los intervalos $\frac{T}{p}$ estarán representados por una serie de rectángulos, y por tanteos se podrá trazar una curva cuya área sea equivalente á esta sucesión de rectángulos, de modo que sus ordenadas serán los gastos instantáneos en la hora correspondiente.

Dividiendo los gastos medios sucesivos por la superficie mojada correspondiente á los mismos intervalos de tiempo, se tendrán las velocidades medias en estos intervalos. Se podrá del mismo modo obtener las medias de las cantidades Q' V y Q' V^2, correspondientes á los tiempos sucesivos y construyendo diagramas que representen estos valores medios en función del tiempo, se tendrán los elementos para trazar una curva de área equivalente que permita evaluar aproximadamente los valores instantáneos de la cantidad de movimiento y de la fuerza viva.

En la aplicación de este método á la cubicación de los volúmenes de agua que entran y salen en el Garona, los intervalos elementales menores han sido de $1/4$ de hora. La sustitución de variaciones infinitamente pequeñas á las variaciones finitas, no podría hacerse por este procedimiento, más que teniendo datos, para definir la curva de marea en cada punto, por una curva de la forma $f(h, t) = o$. En el Garona las curvas de marea tienen formas muy accidentadas y variables para poderse reducir á ecuaciones sencillas; si quisiera obtenerse una aproximación aceptable, las fórmulas serían tan complicadas, que el problema sería prácticamente insoluble.

Lo mismo puede decirse de las curvas de marea de la mayor parte de las rías algo extensas, y, por lo tanto, es general la adopción de intervalos de tiempo que, en general, son de una hora y rara vez desciende de 15 minutos, aun para los cálculos más precisos.

Simplificación de los cálculos.—Se pueden seguir varios métodos abreviados cuando no se desea una gran exactitud. La variación de la sección mojada de un perfil, para cada intervalo de tiempo $\triangle t$ es el producto de la variación de nivel en este intervalo, por el ancho medio de la ría, tomando entre los niveles del agua al principio y al final del tiempo $\triangle t$.

Si la forma de las orillas es tal que se puede tomar para este valor medio una cantidad constante L, durante una serie de intervalos consecutivos, ó mejor durante toda la marea, no habrá más variable que la altura del agua. De modo que si se admite un valor de L aplicable á una región de la ría, durante toda la marea, bastará trazar, para cada intervalo de tiempo, perfiles longitudinales instantáneos de la superficie del agua. Para obtener las variaciones de volumen que se producen en un entreperfil entre dos instantes dados, se multiplicará por el ancho L aplicable á este entreperfil, la superficie comprendida entre las dos ordenadas extremas y las dos porciones de los perfiles instantáneos, correspondientes á los dos instantes que se consideran.

Este procedimiento evita tener que trazar las curvas $s = f(t)$, y presenta además la ventaja de que sin obligar á un trabajo material extraordinario, se puede llegar á una exactitud suficiente, estableciendo un número de perfiles que permita aceptar la hipótesis de que el ancho medio varía en proporción lineal.

Cálculo del gasto total.—Con frecuencia se desea comparar solamente los volúmenes totales, que en diversas

(1) Véase el número 1.215.

mareas pasan aguas arriba ó aguas abajo de un perfil determinado. Basta para esto considerar para cada marea los dos perfiles instantáneos de los valores de la sección mojada en las horas de plea y baja mar. Cuando se supone que los anchos en cada punto son constantes y se hace uso de los perfiles instantáneos de la superficie del agua, se pueden suprimir las operaciones sucesivas, que tienen por objeto multiplicar las superficies de cada entreperfil por el ancho medio correspondiente. Basta trazar un contorno poligonal que tenga por abcisas las distancias entre las estaciones, y por ordenadas el producto de la amplitud de la marea en cada punto, por el ancho medio en el mismo.

Determinando el área de esta curva, se obtiene de una vez el volumen total que pasa en el flujo ó en el reflujo.

También puede suprimirse el trazado de esta curva, eligiendo estaciones de observación equidistantes.

Entonces se tomarán como abcisas unas á continuación de otras, los valores de las amplitudes en cada punto, y como ordenadas en el origen de cada abcisa, el ancho aplicable al intervalo correspondiente; el área de la curva así obtenida dará un número, que multiplicado por la equidistancia elegida, representará el volumen que se busca.

Este procedimiento, abreviado, puede prestar grandes servicios para comparar los volúmenes de un gran número de mareas. Basta para ello que se haya determinado con bastante exactitud, para cada punto de observación, el ancho medio de la sección mojada, para todas las mareas que se consideren. Como la amplitud varía, en general, lentamente, su determinación en puntos fijos es menos necesaria, de modo que se puede deducir la correspondiente á los perfiles intermedios de la observada en las estaciones inmediatas, merced á una interpolación lineal. Cualquiera que sea el procedimiento empleado, deberá siempre deducirse el gasto debido á la región fluvial.

El cálculo de los volúmenes totales que entran durante el flujo, permite obtener una velocidad media general de introducción dividiendo el volumen por el área media y por el número de segundos comprendidos entre las estoas de baja y plea mar. Se tendrá así una expresión aproximada de la cantidad de movimiento y fuerza viva total de la marea.

Los resultados obtenidos diferirán, en general, bastante de los hallados como media aritmética, de las mismas cantidades para intervalos de tiempo sucesivos é iguales, pero aun así es útil conocer en globo la intensidad de la fuerza disponible.

En vez de calcular numéricamente los términos de la fórmula (4), se pueden obtener por procedimientos gráficos de las curvas experimentales $h = f(t)$ y $s = f_2(t)$ otros que representen cada uno de los términos de la fórmula en función del tiempo. Se podrá entonces hallar cuantos puntos se deseen en todas las curvas que se obtengan, y las variaciones del gasto instantáneo se tendrán con la aproximación que se quiera.

Las operaciones pueden hacerse por el método siguiente: dividiendo todos los términos de la fórmula (4) por $\triangle t$ y haciendo decrecer indefinidamente $\triangle t$, se tendrá:

$$\text{(5)} \quad \frac{dQ'}{dt} = \int_{1}^{l-1} \frac{dq_m}{dt} + \frac{dq_l}{dt} + \int_{l+1}^{n-1} \frac{dq_m}{dt} + \frac{dq_n}{dt} + \int_{n+1}^{r} \frac{dq_m}{dt} \pm X$$

Y también

$$\text{(6)} \quad \frac{dq_m}{dt} = \left(\frac{ds_{m-1}}{dt} + \frac{ds_m}{dt} \right) \frac{D_m}{2}.$$

$$\text{(7)} \quad \frac{dq_l}{dt} = \left\{ \frac{ds_{l-1}}{dt} (t - T_{l-1}) + \frac{ds_l}{dt} (T_l - t) + \Sigma_l - \Sigma_{l-1} \right\} \frac{D_n}{2 (T_l - T_{l-1})}.$$

$$\text{(8)} \quad \frac{dq}{dt} = \left\{ \frac{ds_{n-1}}{dt} (t - t_{n-1}) + \frac{ds_n}{dt} (t_n - t) + \sigma_{n-1} - \sigma_n \right\} \frac{D_n}{2 (t_n - t_{n-1})}.$$

Si se construye una serie de curvas en número igual á $\iota + 1$ y de la forma

$$I_m = \frac{dq_m}{dt} \qquad I_e = \frac{dq_e}{dt}$$

$$I_n = \frac{dq_n}{dt} \qquad I x = X$$

La curva que tenga por ordenada $Y = \frac{d\,Q'}{dt}$ será precisamente la que represente los gastos instantáneos. Vamos á indicar cómo pueden construirse las curvas correspondientes á las fórmulas (6) y (8), por ejemplo, la primera relativa al gasto instantáneo entre dos estaciones en las cuales sube ó baja la marea en ambas y la (8) relativa al gasto instantáneo de dos estaciones entre las cuales se verifica la baja mar.

En la curva

$$I_m = \frac{dq_m}{dt} = \left(\frac{ds_{m-1}}{dt} + \frac{ds_m}{dt} \right) \frac{D_m}{2}$$

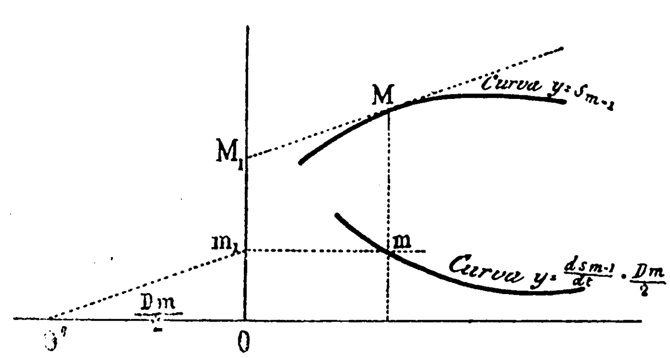
cada una de sus ordenadas es la suma de las ordenadas de dos curvas de la forma

$$I_{m_1} = \frac{ds_{m-1}}{dt} \frac{D_m}{2}\,; \quad \text{y} \quad I_{m_2} = \frac{ds_m}{dt} \frac{D_m}{2}$$

Basta construir estas últimas curvas, una sobre otra y debajo del eje las abcisas, que será el de los tiempos; la longitud de las ordenadas comprendidas entre estas curvas, serán los valores de I_m.

Trácese sobre el eje de abcisas (fig. 3.ª) y en una escala la conveniente, la curva de las superficies mojadas instantáneas S_{n-1}. En un punto M de esta curva se tira la tangente M M_1, y por el punto O', tomado sobre Ot, á una

FIG.ª 3.ª



distancia $\frac{D_m}{2}$ del origen, se traza la paralela O′ m_1 á M_1; el punto m tomado sobre la ordenada de M á distancia O m_1 del eje de los tiempos será el punto de la curva

$$I_{m_1} = \frac{ds_{m-1}}{dt} \frac{D_m}{2}$$

correspondiente á la hora de la ordenada M m. Del mismo modo se construirán los demás puntos que se deseen y simultáneamente por debajo de O t los de la curva I_{m_2}, prolongando la construcción, hasta la hora que la plea ó baja mar se produzcan en la sección considerada.

En lo que se refiere á la curva (8) bastará notar que ordenada es la suma algebráica de las ordenadas de las cuatro curvas siguientes:

$$I_{n_1} = \frac{d\,s_{n-1}}{dt} \cdot \frac{D_n}{2} \frac{t - t_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}; \quad I_{n_3} = \sigma_{n-1} \frac{D_n}{2} \frac{1}{t_n - t_{n-1}}$$

$$I_{n_2} = \frac{ds_n}{dt} \frac{D_n}{2} \frac{t_n - t}{t_n - t_{n-1}}; \quad I_{n_4} = \sigma_n \frac{D_n}{2} \frac{1}{t_n - t_{n-1}}$$

(*Se continuará.*)

FERNANDO G. ARENAL.

REVISTA EXTRANJERA

Puentes de fábrica articulados (1).

Capítulo I.—Comparación de los puentes de triple articulación con los empotrados en los arranques.

2. *Métodos de cálculo.*—Cuando los ingenieros consideran necesario comprobar la estabilidad de los puentes que proyectan, emplean preferentemente, aun en la actualidad, el método de Méry, fundado en el trazado de curvas de presiones enteramente *hipotéticas*. Consiste, como es sabido, en admitir *arbitrariamente* las dimensiones de la bóveda, y en *suponer* que la curva de presiones pasa por dos puntos dados, uno en la clave, situado á una distancia del trasdós igual al tercio de aquella junta y otro en la junta de rotura, á una distancia del intradós igual al tercio del espesor de esta última junta. Las intensidades del empuje y de las presiones soportadas por la bóveda en sus diferentes regiones se deducen del trazado de la curva de presiones y de la repartición del peso según la cuerda del arco. Estas intensidades no pueden menos de ser, según esto, puramente hipotéticas también, lo mismo que los datos de los cuales han sido deducidas. Sea de ello lo que quiera, la conocida ley del trapecio obliga á duplicar los esfuerzos medios de compresión hallados por este método, puesto que las fuerzas que los originan se aproximan á la arista de la sección hasta una distancia igual al tercio de su espesor. Esta circunstancia, unida á la incertidumbre del procedimiento de cálculo, conduce á dimensiones exageradas, y sin embargo, insuficientes en ciertos casos, por razones sobre las cuales insistiremos más adelante.

De todos modos, la experiencia ha demostrado la existencia de defectos en bóvedas reconocidas como estables por el método de Méry. Este método, ya anticuado, debe, por lo tanto, ser considerado como insuficiente para lograr el objeto que se persigue al calcular una bóveda.

Lo mismo puede decirse del método de A. Durand-Claye y de todos los demás que han sido propuestos para mejorar los procedimientos de Méry, porque en todos ellos subsiste la misma indeterminación respecto á la intensidad y al punto de aplicación del empuje.

El nuevo método, debido al Ingeniero Jefe Sr. Résal, salva esta indeterminación, es cierto; dada una bóveda con la distribución de los pesos que obran sobre ella, permite este procedimiento trazar la curva de las presiones efectivas y calcular con exactitud el trabajo de las fábricas en todos los puntos de la obra; así, es perfecto, al menos teóricamente. Sin embargo, no se puede negar que este método exige largos cálculos con figuras de difícil ejecución, y que los principios en que se funda no son tan sencillos que puedan ser considerados como accesibles para todos los constructores. Tiene, además, como todos los demás procedimientos, el inconveniente de no poderse aplicar más que á la comprobación de la estabilidad de una bóveda trazada arbitrariamente, cuyas dimensiones todas se suponen conocidas de antemano. Resulta de todo esto que, cuando se trata de un proyecto nuevo y de disposiciones acerca de las cuales no se poseen resultados prácticos, es indispensable proceder por tanteos enojosos, á causa de lo largo de los cálculos que cada uno de ellos requiere. En estas condiciones, el calculador se ve obligado á contentarse con la primera combinación admisible, descuidando la investigación de las disposiciones más perfectas y más económicas; porque el problema es indeterminado, y si bien admite gran número de soluciones, una solamente de ellas responde al costo mínimo.

En fin, como se demostrará en el párrafo siguiente, las hipótesis adoptadas por J. Résal para la aplicación de su método no siempre se realizan en la práctica, y los cálculos, á pesar de su rigor teórico, no responden siempre á la realidad.

Todos estos inconvenientes ó imperfecciones desaparecen con el sistema de la triple articulación.

En todas las hipótesis de la distribución de las cargas permanentes ó móviles, la intensidad y el punto de aplicación del empuje son conocidos, las curvas de presiones correspondientes, que pasan siempre por las tres articulaciones, pueden ser representadas inmediatamente por ecuaciones, y todas las partes del problema que se trata de resolver se encuentran determinadas (1).

En el caso de la carga uniformemente repartida según la horizontal á lo largo de todo el arco, la curva es una parábola de eje vertical, cuyo parámetro se puede calcular fácilmente. Dividiendo el peso uniformemente repartido por el doble de este parámetro, se obtiene la intensidad del empuje, que es constante, y determina la de la resultante, puesto que ésta se halla aplicada tangencialmente á la curva de presiones y el empuje es su proyección horizontal. Se poseen, pues, los elementos del cálculo de las diversas secciones de la bóveda y de su representación gráfica. La operación es sencillísima, y sólo exige algunos minutos.

Lo mismo sucede cuando la sobrecarga está repartida uniformemente en la mitad de la bóveda. Se puede, como en el caso anterior, trazar la recta y la parábola de eje vertical que representan la curva de presiones correspondientes á esta repartición, y calcular el empuje y las resultantes en magnitud y dirección para todos los puntos de esta curva.

Aunque algo más largo, el cálculo no es más difícil en el caso

(1) Véase el número anterior.

(1) El autor se refiere en los siguientes párrafos á una de las notas que acompañan á esta memoria.