

que se procurará llenar de una vez a todo lo largo, o interrumpiendo las longitudinales en los puntos al cuarto de la luz; es decir, sobre las vigas riostras; después de las vigas se llenará el tablero superior, procurando llevar forjados y voladizos a todo lo ancho del puente.

Para la cimentación de los tabiques, proyectar o macizo continuo o zapata de hormigón armado, corrida en toda la longitud de aquéllos.

En cuanto a los estribos, se proyectan definitivamente para cada modelo, habiendo adoptado la sección que se indica en la figura; es decir, dos macizos paralelepípedicos, uno para el cuerpo de estribos y

otro para el macizo de cimentación, avanzando éste con respecto a aquél únicamente por la cara interior, para centrar la resultante de modo a conseguir la transmisión de una carga centrada al terreno de apoyo. El espesor del cuerpo de estribo está calculado con la condición de que la resultante, en el caso más desfavorable, pase por el extremo del núcleo central y el del macizo de cimientos para centrar la resultante que le transmite aquél; únicamente cuando el terreno de cimentación exija una carga unitaria muy reducida será preciso ensanchar la base, mediante escalonamiento simétrico, a los dos lados, en una altura no inferior a la anchura suplementaria.

Carlos FERNANDEZ CASADO
Ingeniero de Caminos

Diques y marejada

Se sabe hoy calcular bastante bien el empuje que sufre un dique vertical que hace de barrera contra las olas. En el largo camino que se ha seguido desde lo poco que se sabía ayer hasta llegar a los conocimientos que hoy se tienen, ocupan lugar preferente Gaillard, Barré de Saint Venant, Flamant, y más recientemente Benezit, Sainflou y Lira. Es digno de especial mención el último folleto de Jorge Lira que lleva por título *Rompeolas verticales*; estudia las averías de Antofagasta, Valencia y Catania; aplica en cada caso el procedimiento de cálculo de Sainflou y el suyo, y deduce que se debe seguir el de Sainflou. No se puede dudar que en Lira se junta un alto mérito ingenieril con unas excelsas cualidades personales.

Ese estudio de Lira tan preciso, y esos diques que han estado a punto de resistir, nos dicen que ya no falta mucho para saber calcular la sección de un dique vertical. Van poco a poco desapareciendo las frases vagas tan repetidas sobre la fuerza incalculable del mar, y van dejando el puesto a fórmulas y trazados, en los que cada día se puede tener más confianza; tanta, por lo menos, como la que se tiene al calcular un muro de sostenimiento de tierras.

Ultimamente Penna y d'Arrigo han publicado un estudio sumamente interesante sobre las vibraciones de los diques verticales, del que me propongo dar un día detallada cuenta. Las olas que rítmicamente golpean un muro producen un efecto de resonancia que merece detenido estudio y atención; salta a la vista la importancia de ese estudio para las torres de los faros batidas por el mar. Cada día se va despejando más el horizonte. La impresión que antes se sentía ante el espectáculo del mar embravecido era la de que había que perder toda esperanza de descifrar lo que allí estaba ocurriendo; hoy ya es otra cosa; y aunque al mismo tiempo que se aprende, se va sabiendo lo mucho que falta que saber, la ingeniería marítima va siendo cada vez más digna de llevar ese nombre.

Aunque se ha llegado a saber bastante bien cuál es el empuje de las olas contra un dique, no se debe creer que las cosas ocurren como si dentro del agua en reposo se moviese un ariete o catapulta que golpease al muro. El agua está en movimiento y eso cambia los datos del problema.

Si el paramento frente al mar tiene altura bastante y la ola se refleja en él, el agua pierde su movimiento orbitario y se mueve en un continuo subir y bajar que da origen a las características ondas inmóviles del *Clapotis*; mientras una gota de agua sube verticalmente de *b* a *a*, otra baja de *c* a *d*. La superficie del mar va presentando la serie de curvas que hay entre *ad* y *bs*. Recordemos el cálculo del dique; la altura *ab* es el doble de la altura de la ola, cuando *af* es vertical; si

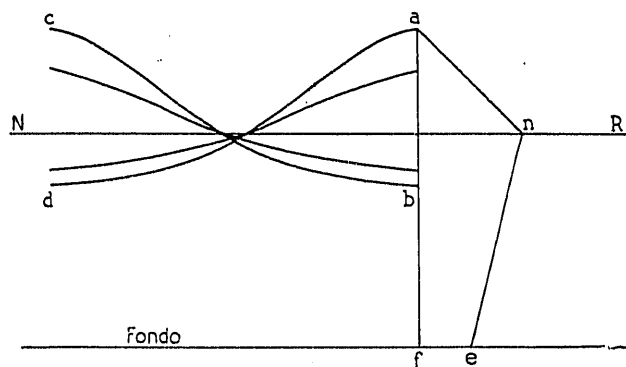


Fig. A.

NR es el nivel de reposo del mar, nivel que podemos determinar con exactitud, se puede trazar la línea *ane*, en la que *an* es una recta inclinada a 45° , y *fe* es el límite de los semiejes mayores de las órbitas elípticas descritas por la gota de agua, cuando, en el fondo, se convierten en una recta. Esta distancia *fe* es aproximadamente igual a

$$\frac{2h}{1 + \frac{\pi^2 H^2}{2L^2}}$$

fórmula en la que $2h$ es la altura de la ola, $2L$ es su longitud y H es la profundidad del mar. La línea *ane* nos da los empujes a las diferentes alturas del mar. Si todo el muro fuese un solo monolito, el área total *ane* sería la medida del empuje, que habría que aplicar a una altura sobre el fondo igual a lo que del fondo dista el centro de gravedad de ese cuadrilátero.

Ese empuje, compuesto con el peso del muro, da

la magnitud de la resultante y el punto donde esa resultante encuentra a la base; de ahí se deduce la presión transmitida al fondo o al cimiento. Ese mismo empuje servirá para obtener el momento al vuelco, que hay que comparar con el momento del peso; y ese

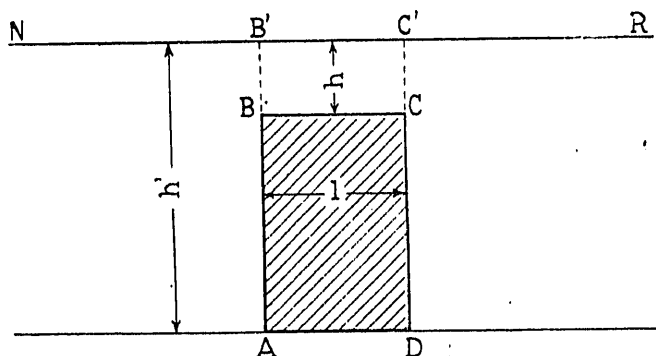


Fig. B.

empuje, por último, comparado con el producto del peso por un coeficiente de rozamiento, que se admite, mientras cosa mejor no se sepa, que es 0,50, nos da las condiciones de estabilidad al deslizamiento, lo que tiene mucha más importancia que la que generalmente se le da.

En todos los cálculos entran dos fuerzas: el empuje de la ola y el peso del muro; para tener éste, se parte de la densidad 2,2 del hormigón o de la mampostería, y esta cifra se reduce a 1,2 para tener en cuenta la pérdida de peso por estar el muro sumergido.

Esto no es tan cierto que pueda admitirse sin detenido examen.

Supongamos un muro ABCD y un agua en reposo, cuyo nivel superior es NR. Es el caso de un muro a medio hacer. En la cara BC la presión es h ; en la AD la presión es h' ; la pérdida de peso está dada por $h' - h$ siempre en el supuesto de que el agua esté en reposo.

Supongamos que el agua sobre BC no está quieta, sino que se mueve con una velocidad grande, y que

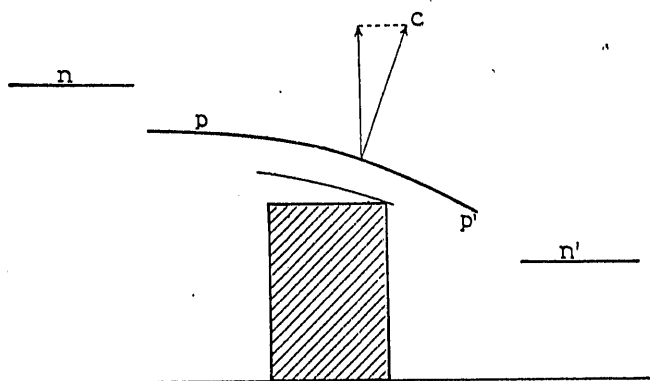


Fig. C.

además cae, para bajar desde el nivel n fuera del puerto, al nivel n' dentro de él. Este movimiento produce una variación en el peso del agua; con el agua quieta el peso era el del prisma $BCBC'$; pero cuando las gotas de agua describen las parábolas pp' el peso

es menor; el agua que pasa de prisa no pesa sobre BC; el valor de h se reduce; la diferencia $h' - h$ aumenta, y al final se llega a un aumento de la subpresión.

Al llegar aquí, necesito que vengan en mi auxilio las recientes conferencias dadas en la Escuela de Caminos por Peña Boeuf, tan mercedoras de alabanza. A una de ellas acudo. Estamos en el caso del puente sin tramo citado por Peña. BC es el tramo que falta; y el tren es la gota de agua que pasa velozmente sobre un muro para caer al lado del puerto sin producir carga aparente.

La parábola descrita por una gota de agua tiene por ecuación

$$y = \frac{gx^2}{2v^2}$$

Si x es igual al ancho BC, al que llamamos 1, y será igual a $\frac{gl^2}{2v^2}$, en donde todo es conocido. Para

la anchura de 10 metros y la velocidad de 20 m por segundo tendremos $y = 1,22$; es decir, que si en B saliese el agua a 1,22 m de altura, no se mojaría la superficie BC; señal de que no ejerce allí peso ninguno. Las gotas de agua, al describir las parábolas de la caída, están sometidas a una fuerza centrífuga que va dirigida hacia arriba, según las normales C a las trayectorias. Si se calcula el promedio de todas esas fuerzas centrífugas, y se proyecta sobre la vertical, tendremos una fuerza contraria al peso, y que del peso hay que restar. Esto altera fundamentalmente las condiciones de estabilidad del macizo. Siguiendo a Peña, vamos a terminar este cálculo. Llamemos P_e al peso del agua quieta sobre el muro; a la carga estática.

La fuerza centrífuga medida en la normal a la parábola es

$$F = \frac{P_e v^2}{g} \times \frac{1}{l} = \frac{P_e v^2}{g} \times \frac{1}{\frac{v^2}{g} \left(1 + \frac{l^2 g^2}{4v^4}\right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{P_e}{\left(1 + \frac{l^2 g^2}{4v^4}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

Esta fuerza tiene una componente vertical $F \sin \alpha$, cuyo valor medio es

$$F \sin \alpha_1 = \frac{F v^2}{\sqrt{v^4 + g^2 \frac{l^2}{4}}} = \frac{2F v^2}{\sqrt{4v^4 + g^2 l^2}}$$

El peso reducido será

$$P_r = P_e - F \sin \alpha_1 = P_e - \frac{2v^2}{\sqrt{4v^4 + g^2 l^2}} \times \frac{P_e}{\left(1 + \frac{l^2 g^2}{4v^4}\right)^{\frac{3}{2}}} = P_e \left(1 - \frac{16v^8}{(4v^4 + g^2 l^2)^2}\right)$$

Esta es la fórmula final. Apliquémosla a unos ejemplos. Si l es 10 y h es 5 m, el peso P_e , que cuando el agua está en reposo es $lh = 50$ ton, se reduce así:

Para $v = 5$ metros por segundo, el peso reducido $P_r = 48$ ton. Para $v = 10$, $P_r = 18$ ton; y para $v = 20$, $P_r = 0,2$. Estos pesos equivalen a haber reducido los 5 metros de altura a 4,80, a 1,80 y a 0,20. Lo que quiere decir que si h' es 15, la pérdida de peso por la sumersión no es 10, sino 10,2 ó 13,20 ó 14,80, según sea la velocidad. El peso del muro de hormigón

que en el aire sería $10 \times 10 \times 2 \ 220 = 220$ toneladas, no basta con que se reduzca en los cálculos a 120 por hallarse sumergido, sino que hay que rebajarlo hasta 72, si el agua se moviera con la velocidad de 20 m por segundo. Para el deslizamiento el peso resistente no sería más que de 36 ton. Este cálculo explica la opinión de los constructores que aconsejan que no se dejen los diques a media altura cuando se terminan las campañas de verano y se interrumpen los trabajos; así se hace a veces por creer que están más seguros cuando su altura es menor y están fuera de la zona de los grandes empujes de las olas. Esta opinión, recientemente expuesta en un trabajo admirablemente hecho por Miché, tiene, con el cálculo que antecede, completa justificación.

Viene a mi memoria un hecho que es ahora digno de comentario. Hace ya años fui testigo de la destrucción de un dique muro; en pocas horas la mar se fué llevando, uno tras otro, cinco grandes monolitos. El dique no estaba terminado; no estaba aún construída la estructura sobre los cajones y éstos quedaban enrasados un poco bajo la bajamar de aquel día de temporal que tantos daños causó en el puerto. Recuerdo bien que más de una vez vi los monolitos en movimiento; esto quiere decir que no iban envueltos por la ola, sino que eran arrastrados cuando se hallaban en el fondo de la depresión. Atribuí aquello a la succión que al paso de la ola se produciría al lado del puerto; en un escrito de entonces, al explicar la avería, decía que parecía como si el monolito fuese sorbido por la ola; que no era empujado, sino que tras de ella corría como si estuviese flotando y las olas lo moviesen sin esfuerzo. Así era, en efecto; uno de aquellos monolitos, que estaba cimentado a ocho metros sobre el fondo, anduvo catorce metros en el sentido horizontal; es decir, que sobró fuerza para quitarlo de su sitio.

Enlazo este recuerdo con el cálculo que antecede, para llegar a la conclusión de que el agua en movimiento cambia más de lo que se cree las condiciones del problema.

El dique *D* no está en el mismo caso cuando se halla en un agua en calma que llega al nivel *NR*, que cuando está en el fondo de la ola *cd*. No hay que olvidar

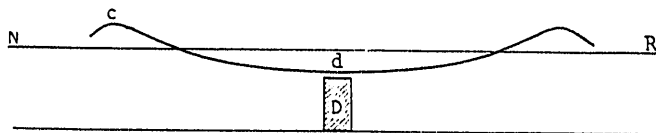


Fig. D.

que para calcular los diques muros se toman los empujes del agua como si estuviese al nivel de la cresta, y es fácil ver que muchas veces, y sin llegar a casos extremos, puede presentarse el caso que hace poco venía a mi memoria, y que el muro entero flote, sin que haya que tomarse demasiada licencia de lenguaje al emplear esta palabra.

De lo que queda dicho se deduce el medio de calcular la pérdida de peso de un dique envuelto por la marejada, o cuya parte superior asoma a veces entre las crestas de dos olas; el cálculo es sencillo; basta conocer la altura de la ola, su longitud y su período, datos siempre necesarios para cualquier cálculo de estabilidad de un dique de abrigo.

Al final se saca una consecuencia tan evidente que no necesitaba de cálculo ninguno. La de que se obra con ligereza o con imprudencia al aplicar el principio de Arquímedes a un líquido que no está en reposo y cuya superficie no es la horizontal de la mar en calma, sino la sucesión de crestas y depresiones del mar embravecido.

Eduardo J. DE CASTRO
Profesor de Puertos de la Escuela
de Caminos

El nuevo Plan nacional de Obras hidráulicas

La labor memorable del Cuerpo de Ingenieros de Caminos en favor de la política hidráulica

Una visita a la Exposición del Plan nacional de Obras hidráulicas que se exhibe en el Palacio de la Música y la lectura rápida de los tomos en que más detenidamente se explica me sugieren algunas consideraciones que juzgo oportuno consignar en la REVISTA.

Si sólo se tratara de una simple labor de propaganda a favor de esta política hidráulica, casi desconocida en España hace cuarenta años, y que gracias al esfuerzo de muchos ha podido vencer los obstáculos y las resistencias que en su origen y durante bastantes años se le opusieron, hasta el punto de ser hoy reconocida por todos como esencial para nuestra economía, si ése sólo fuera su objeto, no regatearía ciertamente mis alabanzas, porque se trata de una presentación insuperable, propia para cautivar y para predisponer favorablemente el espíritu del gran público.

Pero el Plan pretende ser algo más que eso: aspira a convertirse en ley y a iniciar una nueva era, rompiendo con el pasado, que se censura con acritud y sin justicia, para fundar sobre sus ruinas las normas que en lo sucesivo hayan de regir sobre estas materias.

Y no es que yo crea tampoco que lo hecho hasta ahora sea perfecto, y que el estado presente no admita mejora; a ninguna obra humana podría exigírsele eso, y menos al Plan provisional de Obras hidráulicas de 25 de abril de 1902, a cuya génesis asistí y en cuya formación colaboré bajo la dirección del inolvidable D. Antonio Arévalo.

Como la inmensa mayoría de los ingenieros de hoy no alcanzaron aquella fecha, sino a lo sumo en la Escuela, y algunos en las primeras letras, no estará de más recordar en qué condiciones se realizó aquel trabajo, cuál fué su objeto y cuál se pensó que había de ser su ulterior desarrollo.

Acababan de perderse en desastrosa guerra los últimos restos de nuestro imperio colonial; la nación