VIOLENTAS PRESIONES ACCIDENTALES PRODUCIDAS POR LA ROTURA DE LAS OLAS

Por RAMON IRIBARREN CAVANILLES,
con la colaboración de
CASTO NOGALES Y OLANO,
Ingenieros de Caminos.

El pasado mes de junio ha tenido lugar en París la reunión del "Comité Internacional para el estudio de los esfuerzos del oleaje". El representante de España, Profesor D. Ramón Iribarren, que ha acudido a dicha reunión acompañado de D. Casto Nogales, ha presentado el interesante estudio, que publicamos a continuación, en el que se explican las posibles causas de las violentas, y hasta ahora misteriosas, presiones y velocidades moleculares accidentales producidas, en determinados casos, por el oleaje, aclarándose una cuestión que ha sido objeto últimamente de numerosos estudios de los técnicos mundiales que se ocupan de estos temas y a la que se había dado excesiva importancia en relación con el cálculo de las obras marítimas.

Es de gran interés para el proyecto de las obras marítimas la determinación de las presiones que puede producir el choque de la ola al romper contra el paramento de un muro.

Con el fin de determinarlas se han instalado diversos tipos de dinamómetros, que sería prolijo describir.

En los primitivos dinamómetros, de cierta superficie e inercia, se determinaron presiones máximas, del orden de 20 ó 30 toneladas por metro cuadrado, que podrían ser explicadas a base de las máximas velocidades moleculares de las olas al romper, pero a medida que se fué mejorando la sensibilidad, y disminuyendo la inercia de los dinamómetros, se fueron registrando presiones mucho mayores, del orden de las 70 ó 100 toneladas, cuya explicación fué difícil.

Estas violentas presiones accidentales se producían pocas veces, y frecuentemente las más intensas no correspondían a las mayores olas.

Desde hace varios años manifestamos nuestra opinión de que se había exagerado su importancia en relación con el cálculo de las obras marítimas, pues estimamos que se debía de tratar de presiones casi puntuales, tanto en el espacio, o mejor dicho superficie, como en el tiempo, por lo que, a pesar de su gran intensidad, su integración dentro de la reducida superficie afectada y durante su pequeño instante de duración, poca cantidad de movimiento podrían producir para afectar, en forma sensible, a la gran masa de las obras marítimas (*).

(*) Más concretamente: $\int^s \int^t P \, . \, d\, s \, d\, t = m\, v$, por lo que, siendo la superficie afectada s y el tiempo de duración t muy pequeños, y la masa m de la obra muy grande, resultaría la velocidad v, así como el límite superior del desplazamiento libre y total,

$$d = \frac{1}{2} \, \frac{v}{t} \, . \, t^2 = \frac{v\, t}{2},$$

despreciables en estas percusiones.

Efectivamente, cuando posteriormente se han instalado varios dinamómetros próximos, en lugar de uno solo, se ha comprobado que cuando uno de ellos es afectado por esta intensa presión accidental los próximos no la acusan.

Sobre este particular merece especial mención la interesante instalación dinamométrica establecida en el puerto de El Havre por nuestro colega M. Cot.

También los gráficos de los dinamómetros ultrasensibles han comprobado que la duración de estas intensas presiones accidentales es reducidísima, del orden de pocas centésimas de segundo, con lo que se acaba de comprobar su despreciable importancia para el cálculo de las obras marítimas, pues tratándose realmente de reducidas, aunque aparentemente violentas, percusiones no son tan siquiera capaces de desconchar el mortero de la superficie de las obras, que fácilmente puede resistir la carga de 7 ó 10 Kg./cm.^{2} que suponen las grandes presiones citadas anteriormente.

Falta explicar cuál pudiera ser su causa, así como la de las grandes velocidades moleculares verticales de los rociones, mucho mayores que las de la ola al romper, y puestas detalladamente de manifiesto por el interesante estudio cinematográfico desarrollado por nuestros colegas MM. de Rouville, Besson y Petry en la instalación del puerto de Dieppe, en la que midieron velocidades verticales superiores a los 70 m./seg.

Se ha pretendido explicar, tanto estas grandes velocidades verticales como las intensas presiones accidentales instantáneas, por la acción del colchón de aire envuelto por la ola, o entre ésta y la pared, pero así como aquéllas pudieran, en cierto modo, explicarse mediante la compresión y reviente superior de dicho colchón, la presencia de este elástico volumen gaseoso no puede aumentar, sino más bien dismiuir las presiones de choque.

Sin pretensión alguna de rigor científico, muy difícil o imposible en estos complejos temas, vamos a dar una explicación, más bien cualitativa que cuantitativa, de estas curiosas velocidades moleculares verticales y presiones accidentales que, repetimos, no interesa calcular para comprobar, técnicamente, la estabilidad de las obras.

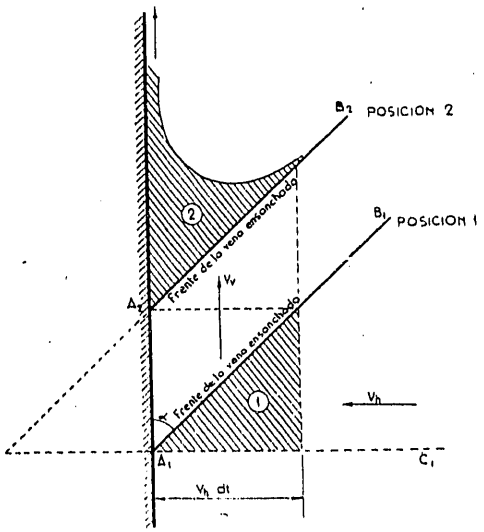


Figura 1.ª

Como es sabido, la ola rompe cuando la velocidad molecular llega a ser igual a su celeridad, transformándose así en una vena o chorro líquido.

Si, aunque no rigurosamente exacto, como es general en estos chorros o venas, no se admiten retrocesos de velocidades y ha de cumplirse la condición de continuidad, o de conservación de volumen del líquido, en una vena de forma especial, ensanchada hacia atrás, representada en la figura 1.ª, y que choca contra un muro, también en ella representado, al cabo de cierto tiempo, $d\,t$, el volumen rayado, 1, ha de pasar a la parte, también rayada, 2, situada sobre la recta $A_2\,B_2$ que limita la vena en su posición final. La figura representa una sección transversal del muro y de la vena, cuyo frente es plano y normal a dicha figura.

El paso del volumen del líquido sobre la recta $A_2\,B_2$ implica la creación de una velocidad vertical, V_v, mayor que la velocidad del punto A_1, de contacto del frente de la vena con el muro; luego

$$V_v > V_h \cot \alpha .$$

La cantidad de movimiento vertical, así creada durante el tiempo $d\,t$, valdrá, siendo ρ la masa específica del líquido (*):

$$\rho \times \frac{V_h\,d\,t \times V_h\,d\,t \cot \alpha}{2} \times V_v .$$

Esta cantidad de movimiento ha de ser igual al producto del tiempo $d\,t$ por la fuerza $P_i\,d\,s$, siendo P_i la presión instantánea accidental buscada, y $d\,s = V_h \times \times d\,t$, la sección sobre la que actúa.

No es necesario aclarar que estos cálculos se refieren a la anchura unidad en el sentido normal a la figura.

Igualando ambas expresiones y sustituyendo V_v por su límite inferior $V_h \cot \alpha$ obtenemos:

$$P_i\,V_h\,d\,t^2 > 1/2\,\rho\,V_h^3\,d\,t^2 \cot^2 \alpha ;$$

luego la presión accidental instantánea valdrá:

$$P_i > 1/2\,\rho\,V_h^2 \cot^2 \alpha ,$$

y su altura de líquido representativa:

$$\frac{P_i}{\rho g} > \frac{V_h^2}{2g} \cot^2 \alpha ,$$

que va aumentando a medida que el ángulo α disminuye, y que teórica aunque no realmente por estar frenada por la viscosidad y otras causas, llegaría al valor infinito, para $\alpha = 0$.

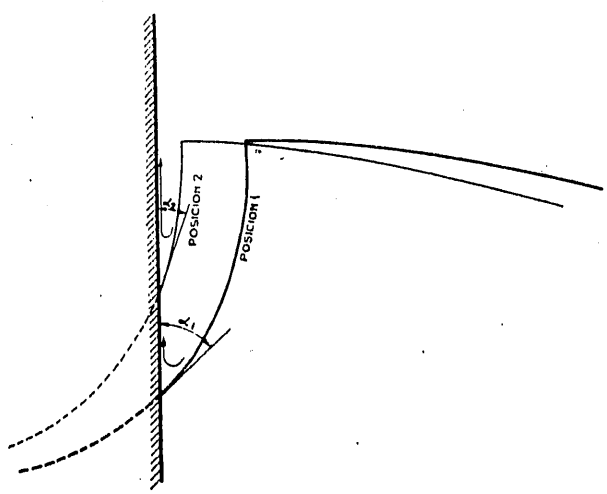


Figura 2.ª

Teniendo la ola, al romper, la forma indicada en la

(*) No es preciso aclarar que esta componente vertical de la cantidad de movimiento provocada, principalmente, de la gran masa de la vena líquida y no solamente de su frente inclinado.

figura 2.ª, el ángulo α va disminuyendo, lo que explica el aumento sucesivo de velocidades verticales, puesto de manifiesto por las películas de Dieppe.

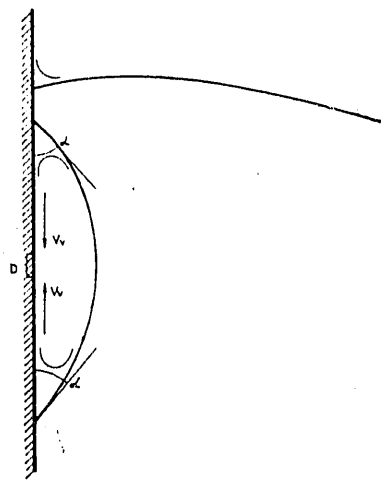


Figura 3.ª

Siendo también la velocidad de paso de estas presiones a lo largo de la vertical de la pared $V_v > V_h$ cot α, es muy grande para los pequeños valores de α que producen las intensas presiones accidentales, por lo que éstas resultan instantáneas como se había supuesto.

En realidad, más que las presiones, lo que pasa muy velozmente a lo largo de la vertical de la pared, es el líquido, pero basta cualquier rugosidad de la pared, o del dinamómetro, para que estas violentas presiones se pongan de manifiesto, especialmente en el caso indicado en la figura 3.ª, en la que el líquido, animado de grandes velocidades verticales, hacia arriba y hacia abajo, chocase frente al punto D, en el que estuviese situado el dinamómetro.

Fácilmente se comprende que estas condiciones en las que el ángulo α sea muy pequeño se produzcan pocas veces, pues basta con que la ola rompa un poco antes o muy poco después para que esto no suceda.

No es preciso aclarar tampoco que la vena cilíndrica situada en cada instante y después de él, por bajo de la horizontal A_1 C_1 de la figura 1.ª es la que origina las presiones ordinarias, fáciles de determinar, y de mayor duración e interés para el cálculo de las obras.

Con lo expuesto, estimamos haber explicado suficientemente, aunque sin pretensiones de rigor, dichos curiosos fenómenos accidentales, cuyo interés es, como suponíamos, más aparente que real para el cálculo y proyecto de las obras marítimas.