

Coeficientes de frotamiento en albañilerías

EN la continuación del magistral estudio de don Jorge Lira Orrego sobre «Rompeolas verticales» (o sea, la exposición de las teorías para el cálculo y las comprobaciones experimentales ya obtenidas), que está publicándose en los «ANALES del Instituto de Ingenieros», se ha deslizado en el último número (7/8), recién aparecido, un acápite que merece alguna aclaración, pues promueve, en forma enteramente incidental, una discusión condenatoria (con apariencias de experimental) de los coeficientes de frotamiento que se han usado durante casi un siglo, desde las experiencias de Coulomb y de Morin sobre diversas clases de superficies.

En efecto, en la página 312, refiriéndose al primer accidente ocurrido en 1928 al molo de Antofagasta, dice: «Al estudiar sus efectos el Departamento de Obras Marítimas hizo efectuar en Antofagasta experiencias para conocer el coeficiente que corresponde a los bloques empleados en esa obra y llegó a la conclusión de que la cifra 0,6 generalmente admitida es fuerte y que conviene reemplazarla por una no superior a 0,5».

Leyendo descuidadamente ese acápite, cualquiera entendería—con cierta lógica—que el coeficiente 0,6 «es fuerte» «para los bloques empleados en esa obra» y debe ser, para ellos, «no superior a 0,5».

Pero en la página 316, refiriéndose al accidente de Catania (1933) insiste así en su opinión: «la resistencia al deslizamiento, considerando el coeficiente 0,6, superior a mi juicio al que debiera adoptarse, sería de 75 tons., cifra muy inferior al empuje solicitante que explica perfectamente que esa parte del muro fuera arrastrado por las olas» y aunque no se dice si se determinó también el coeficiente de los bloques de Catania, ni qué resultado dieron, queda flotante la idea de que los coeficientes hasta ahora usados son altos y deben rectificarse con el consiguiente mayor costo de las obras.

Sería por esto muy interesante que el señor Lira no terminase su publicación sin explicarnos si en lo citado se refiere exclusivamente a los bloques de Antofagasta y de la Catania o si considera que, en general, el coeficiente de frotamiento de concreto sobre concreto no pasa de 0,5 y en qué experiencias se basa para aconsejar el abandono de los coeficientes 0,7 que indicaba el profesor Koning en su curso de Resistencia de Materiales, (II Parte, pág. 11. 1900).

El asunto tiene gran importancia económica, puesto que un muro que calculado con 0,7 necesitaba, por ejemplo, 7 metros de espesor, con 0,6 necesitaría 8 metros, y 10 metros con el nuevo coeficiente 0,5. Habrá, pues, un mayor gasto

de 25 a 30% en albañilerías, según el caso, y este mismo exceso de material habrá de emplearse no sólo en los molos sino también en malecones, muros de sostenimiento, diques, etc., y rectificarse así todos los cálculos hechos hasta ahora.

No se trata, pues, de un asunto secundario que pueda mencionarse incidentalmente a propósito de la teoría de cálculo de los Molos Verticales, sino de un punto fundamental de los cálculos de Resistencia de Materiales que ya se consideraba definitivamente establecido desde el siglo pasado.

No he podido aún desencajonar mis libros modernos de ingeniería que mi larga actuación en obras marítimas me obligó a llevar fuera de Santiago, pero en los libros antiguos que conservaba aquí, encuentro, tal vez, mejores informaciones sobre coeficientes de frotamiento, pues he observado que de autor en autor los coeficientes originales se han ido copiando con errores de imprenta que, aunque saltan a la vista, no han sido corregidos por los autores.

Encuentro en estos libros los datos que copiaré a continuación, cuya rectificación no recuerdo haber visto propuesta en ninguna obra más moderna. Naturalmente que entre ellos no figuran coeficientes para concreto, cuyo empleo en ingeniería comenzó mucho después, pero su comparación aparece fácil con superficies tan conocidas como las que vamos a anotar:

OSLET Y CHAIX en su «*Traité des fondations, mortiers et maçonneries*» y E. BOIS en su «*Estabilidad de las construcciones de mampostería*» (1889) dan los mismos coeficientes que figuran:

Naturaleza de los materiales y enlucidos	Autor de la experiencia	Coficiente
Arenisca lisa sobre arenisca lisa, en seco.....	Rennie	0,71

Arenisca lisa sobre arenisca lisa con mortero fresco	»	0,66
Granito bien labrado sobre granito cincelado.	»	0,66
Granito bien labrado sobre granito cincelado, con mortero fresco.....	»	0,49
Caliza canteada sobre caliza canteada.....	Boistard	0,78
Caliza dura pulimentada sobre la misma.	Rondelet	0,58

No figuran experiencias bajo agua, pero se ve que la interposición del mortero húmedo y untuoso disminuye el coeficiente solamente en 0,05 para superficies ásperas y en 0,17 para superficies pulidas.

MORIN en su «*Cours de Mecanique*» (1887) indica unos 120 coeficientes de Morin de los cuales tomamos los siguientes para superficies sin enlucido:

Piedra calcárea oolítica sobre sobre calcárea oolítica, de plano	0,74
Piedra calcárea colítica sobre muschelkalk, de cabeza.....	0,75
Piedra calcárea dura llamada muschelkalk sobre oolítica de plano.....	0,75
Piedra calcárea dura llamada sobre sí misma, de cabeza.	0,70
Fierro sobre calcárea colítica, de cabeza.	0,49
Fierro sobre muschelkalk, de cabeza.....	0,42

Como se ve, la adopción de un coeficiente no superior a 0,5 supone que una de las superficies en contacto sea tan lisa y dura como el fierro, lo que parece un poco exagerado para cualquier concreto que sea.

Puedo agregar como una experiencia doméstica fácil de repetir que el coeficiente de una plancha de mármol sobre

otra es de 0,25 por sus caras bruñidas y de 0,50 por sus reversos sin bruñir.

Las experiencias hechas en Antofagasta necesitan una discusión especial a la cual puedo aportar las siguientes observaciones personales.

Hace poco más de 10 años tuve que pasar varias veces por Antofagasta en viajes a Bolivia y cada vez, como ingeniero de puertos que era entonces, fui invitado por algún colega a visitar las obras marítimas de allá e inmediatamente fui sorprendido por el aspecto del piso de la cancha de bloques de color negro lustroso que recordaba el basalto bruñido; hermoso aspecto que se repetía, naturalmente, en la cara inferior de los bloques.

Comprendí inmediatamente que esto se debía a que, para evitar la pegadura de los bloques con el piso de concreto de la cancha se pintaba éste con petróleo crudo, procedimiento que a mí también se me había ocurrido en San Antonio por ser el material grasoso, más barato de que uno puede disponer; pero, inmediatamente que levantamos los primeros bloques y vimos la superficie lustrosa que presentaban, me atemoriqué por la disminución del frotamiento y abandoné en el acto el sistema.

Después de un ensayo infructuoso de espolvorear arena cuarzosa sobre el piso, arena que el golpe del concreto aventaba, ocasionándonos pegaduras en unas partes y en otras oquedades arenosas, logramos éxito recubriendo el piso con algunas hojas de papel de diarios viejos que impedían la adherencia y daban a la superficie inferior la misma aspereza del piso de la cancha que se moldeaba perfectamente a través del papel.

Observé al colega que me acompañaba que en semejantes condiciones el coeficiente de frotamiento de esos bloques no sería ya el con que estaban cal-

culadas las obras, pero se me contestó que todas las superficies de asiento presentaban salientes e indentaciones que reemplazaban el frotamiento y exigían superficies muy exactas y pulidas para calzar unos con otros, lo que me tranquilizó al respecto, aunque sin quedar conforme con tal contraposición de condiciones. Solamente cuando ocurrieron los accidentes vine a saber que todo aquello era exacto para las filas superiores de bloques, pero que la superficie de contacto entre la fila del fondo y la superpuesta a ella era enteramente lisa y no tenía las salientes de las demás y fué ésta precisamente la que deslizó en las dos ocasiones.

Supongo que las experiencias de frotamiento que dieron al Depto. de Obras Marítimas coeficientes no superiores a 0,5 serían entre la cara superior de un bloque del fondo (cuya superficie no sería pulida por ser la que resulta del pisonado y emparejamiento a pala del concreto vaciado) con la cara inferior de un bloque de la fila superpuesta a la del fondo, cara amoldada sobre el piso acitado de la cancha y, por tanto, enteramente lustrosa.

Me atrevo a suponer que si la experiencia se hiciera entre dos bloques de éstos, invirtiendo uno de ellos para obtener el contacto de las dos superficies lustrosas, el coeficiente habría bajado a 0,4, pero haciendo la experiencia con las dos caras opuestas (las superiores del molde por donde se vacía el concreto) el coeficiente habría subido acerca de 0,6 como habitualmente se lo estima aún para superficies mojadas, experiencia fácil de realizar.

Ignoro cuál sería el aspecto y la manera de amoldar de los bloques de Catania, donde también el señor Lira estima exagerado el coeficiente 0,6; pero la razón que nos da en la página 316 para

el accidente puede aplicarse también a un coeficiente 0,7 y aun 0,75 (máximo que indica Flamant en su «Resistencia»), pues las resistencias al deslizamiento resultarían de 87 y 94 tons. mientras el empuje solicitante era de 97 tons. aplicando el método de Sainflou.

Creo que antes de aconsejarse modificar el actual sistema de cálculos rebajando a menos de 0,5 los coeficientes de frotamientos habituales, sería conveniente que el Depto. de Obras Marítimas prosiguiera sus experiencias con los bloques fabricados en Valparaíso y San Antonio, tanto por sus caras superiores e inferiores (amoldada sobre la cancha y apisonada al aire libre) como por sus caras laterales fraguadas contra los moldes.

Es muy posible que con estos resultados se pudiera aconsejar mejor la fabricación de bloques de superficies ásperas y no pulidas, capaces de dar en vez de 0,5 los más altos coeficientes de frotamiento y ahorrar así del 25 al 30% de las albañilerías en igual forma, como mediante una adecuada composición granulométrica de la arena y del ripio, se ha logrado economizar cemento a igual-

dad de resistencias o se logrado obtener concretos filtrantes para drenes o impermeables para estanques y cañerías.

Así como se ha empleado bolones desplazadores para economizar concreto podría emplearse, por ejemplo, un concreto más arenoso en el fondo de los moldes y rellenar el resto con la dosis normal.

Todo esto sin contar con el buen efecto demostrado en Antofagasta por las ensambladuras entre los bloques que hicieron moverse como un conjunto solidario todas las hiladas superiores sin quebraduras, ni dislocamientos al deslizarse sobre la hilada del fondo que tampoco se movió, adherida al enrocado menudo en que se asentaba el molo.

Creemos, por esto, que son del mayor interés las explicaciones que el señor Lira Orrego quiera darnos en su artículo sobre los fundamentos de su opinión en contra de los coeficiente actuales de frotamiento y sobre las experiencias realizadas para la determinación del nuevo coeficiente 0,5.

Santiago, Noviembre 16 de 1936.