

Tomando como caso más sencillo el de una cadena simple (el estudio se extiende después sin dificultad al caso de cadena compuesta), Campos demostró, que la condición necesaria y suficiente para que dicha cadena sea cerrada es, que el movimiento relativo definido geoméricamente por el enlace o par geométrico que liga a dos elementos contiguos sea igual y contrario al movimiento resultante de todos los demás pares; o en otros términos: que el movimiento definido por un par pueda descomponerse en todos los demás que constituyen la cadena.

Y como el caso más general a considerar es el de una cadena cuyos pares geométricos definen movimientos helicoidales, y la descomposición en este caso no es posible, según demostró Campos, si no existen siete pares en la cadena, la proposición fundamental base de toda la teoría de los mecanismos ha de formularse así:

«Para que una cadena cinemática simple formada de pares helicoidales sea cerrada ha de contener siete de éstos. Si tiene más, la cadena es abierta o desligada, sus movimientos son indeterminados, a no ser que se la superponga otra u otras que los determinen; si tiene menos, la cadena será, en general, indeformable, pero podrá ser cerrada para posiciones de los ejes y valores de las características especiales.»

También demostró Campos que «un par geométrico equivale a cinco obstáculos bilaterales—o seis unilaterales—, y la supresión, por tanto, de obstáculos en un par conduce a dar a los cuerpos grados distintos de libertad en sus movimientos relativos, lo que permite poder constituir cadenas reducidas ce-

rradas siempre que los pares se formen suprimiendo entre todos ellos tantos obstáculos bilaterales como elementos faltan en la cadena para ser completa».

En estas dos proposiciones se basa toda la teoría general de los mecanismos. Campos la desarrolla ampliamente y la aplica a todos los casos prácticos que pueden presentarse.

Sería fatigoso continuar por este camino; basta lo dicho para afirmar que si Reuleaux dió la idea, Campos la desarrolló y la completó, realizando de un modo concluyente lo que para Reuleaux era una aspiración que no logró en su libro: explicar con rigor científico la constitución de los mecanismos conocidos y tener una guía segura que conduzca al descubrimiento de otros nuevos.

Con menos motivos ciertos procedimientos de exposición y de enseñanza peculiares de un país han merecido la alta distinción de formar escuela; ¿no podría legítimamente decirse que esta enseñanza de los mecanismos es de *escuela española*?

Hay un motivo más para que así se dijese: la clasificación clásica de los mecanismos, la que prevaleció entre otras muchas que se han hecho y se sigue utilizando, fué propuesta por Lanz y Betancourt, autores de un *Ensayo sobre la composición de las máquinas*, ambos españoles, e ilustre fundador de nuestra Escuela el segundo.

La enseñanza, en suma, de los mecanismos tiene en España y en la Escuela de Caminos un historial glorioso: comienza con Betancourt y termina con Campos; al primero se debe la verdadera clasificación; al segundo, la exacta teoría.

Carlos de ORDUÑA

Profesor-Secretario de la E. de C.

## DIQUES DE ABRIGO.--ROMPEOLAS

### XIV Congreso de Navegación

Como continuación de artículos anteriormente publicados, se empezará con éste a tratar de la segunda parte del primer asunto propuesto en aquel Congreso celebrado en El Cairo, en la sección relativa a la Navegación marítima, y que ha sido el estudio de los *Rompeolas o diques de abrigo en mares sin marea. Su coste*, asunto del cual se muestra el gran interés para el ingeniero de Puertos, solamente con ver el enunciado y advertir que las enseñanzas adquiridas sirven también para completar y aclarar las obtenidas en el X Congreso, en el cual se trató este importante tema para los mares de marea.

Se han presentado bastantes Memorias (1), y entre ellas hay algunas verdaderamente interesantes; se observa el avance en el problema del cálculo de estas obras, y aun cuando no se puede fijamente determinar cómo ha de plantearse, ni se tienen datos firmes y concretos para hacerlo, ya es un paso el tratar de abordar este difícil problema, soslayado antes, y entregados los ingenieros exclusivamente a los resultados de la experiencia, o a un empirismo, que por la enorme diferencia de los

casos presentados, aun en una superficial apariencia análogos, muy diferentes en su verdadera esencia.

Se observa también en las secciones o tipos presentados y en las consecuencias deducidas afirmaciones más interesantes y determinadas sobre estas obras, formulándose algunas reglas o condiciones de indudable valor, no absoluto, pero muy conveniente para dar una orientación, siquiera sea en un sector algo amplio, a los proyectistas que no tenían otra sino la impresión únicamente guiada por la idea, no siempre cierta, de proporcionar la resistencia y estabilidad de estas obras, a su masa, viéndose que, aun admitiendo esto en términos generales, puede, en ciertos casos, ser inadmisibles, y debiendo atenderse siempre a la disposición adecuada de esas grandes masas.

En estos artículos se expondrán las normas de cálculo dadas o seguidas para determinar el esfuerzo de las olas sobre estos diques, con el resultado de la observación sobre el modo de considerar la actuación de esos esfuerzos y las consecuencias de todo ello deducidas para fijar las normas más convenientes de las secciones; se hará la exposición de los tipos presentados por los ingenieros informadores, con algunas observaciones y comentarios sobre esos tipos, y las normas a seguir como consecuencia de esas observaciones, y las conclusiones del Congreso para el proyecto de estas difíciles e inseguras obras.

(1) Memorias presentadas sobre este asunto: *Bélgica*, Bonnet y Braeckman; *Chile*, Lira; *Egipto*, Quellenec; *España*, Hernández Mateos; *Estados Unidos*, Coleman y Townsend; *Francia*, Benezit y Hersent; *Italia*, Coen Cagli y Albertazzi; *Japón*, Sakamoto y Takanishi; *Mónaco*, Butavand; *Rumania*, Ward; *Rusia*, Ghercevanof, Kandiba y Toukholka.

No quiere decir lo expuesto que se den ni sus formas de cálculo ni esas conclusiones, como una norma cierta y segura; sólo, sí, será la exposición de lo que en la actualidad se cree presenta mayores garantías de acierto, y son caminos por los cuales se ha de seguir avanzando, investigando y haciendo toda clase de experiencias, y así lo ha considerado el propio Congreso, al dar como una de las más importantes conclusiones la de constituir una Comisión internacional, ya en constitución, y de la que nuestra nación forma parte, para dictar reglas y unificar o sistematizar el estudio de la actuación del esfuerzo de las olas sobre las obras marítimas de protección.

Antes de dar comienzo a la parte referente al estudio de los esfuerzos de las olas, será conveniente, como preliminar de él, hacer notar la separación de los tipos de rompeolas diferenciados en este Congreso, no por exponer la distinta disposición de ellos, que esto no merecería la pena de modificar la clasificación antes seguida, sino por marcar lo esencial de esa diferencia, fundada en la forma tan distinta de resistir los esfuerzos de las olas, a lo cual antes no se atendía, por lo menos tan preferentemente.

En el X Congreso, en Milán, se agrupaban los diques rompeolas en *diques de escollerao*, *diques de paramento vertical* y *diques mixtos* con escollera hasta cierta profundidad y el resto de muro; pero en este Congreso, tanto por la distinta forma de resistir a las olas, como por evitar la ambigüedad o confusión a que el tipo mixto se prestaba, se ha llegado a la clasificación más determinada de *diques en talud*, o sean los diques de escollerao, y *diques verticales* (diques muros).

Esta última clasificación entraña esencialmente, como se ha dicho, la distinta manera de resistir a las olas; esto es, que los primeros serán diques dispuestos para amortiguar, absorbiendo por rozamiento y por la inclinación del talud, la fuerza de la ola, rompiendo ésta al ir disminuyendo la profundidad, y los segundos serán diques dispuestos para evitar ese rompimiento de la ola, conservándose en ésta su forma trocoidal, que al llegar al dique se reflejará, sin producir más efecto que uno hidrostático, producido por la mayor elevación del nivel del agua en esa ola, adicionado con un efecto de choque, consecuencia del movimiento orbitario de las moléculas.

Así, pues, será dique *vertical* el que tenga ante su paramento profundidad bastante para no alterar sensiblemente el movimiento ondulatorio, aunque ese muro se apoye por debajo de esa profundidad en un basamento de escollera donde ésta ya no pueda ser removida; estos muros sobre estos basamentos entraban antes en el grupo de diques mixtos. Será dique en *talud* aquel que, o teniendo alguna parte vertical de muro, tenga en la zona de influencia de la ola talud para que ésta rompa, o sea totalmente de escolleras, formando el talud; aquéllos, antes los hubiésemos incluido en el grupo de diques mixtos; ahora corresponden al tipo de dique en talud. Algunos de los ingenieros que con sus ponencias han intervenido en este Congreso consideran como inaceptable cualquier tipo que francamente no corresponda a uno de los dos grupos ahora indicados.

Fácilmente se comprende, después del examen de estos dos tipos, que el tipo en talud no será susceptible de determinar por el cálculo sus dimensiones; se formará con un pedraplén de cantos más o menos grandes, naturales o artificiales, distribuidos de cierto modo, con o sin protección, pero no podrán ser las dimensiones del dique determinadas sino por comparación, por experiencia, sin ser posible determinar ni calcular los esfuerzos sobre esos mismos materiales sometidos a la acción de las olas, rotas por esos mismos elementos componentes de la obra.

En el dique vertical ya actúa la ola conservando su movimiento ondulatorio, aunque pueda estar y esté de hecho algo alterado, algo deformado, pero no actuando la ola rota, y de ese movimiento, del cual conocemos las leyes, ya se podrá más fácilmente deducir el esfuerzo sobre el dique. Ciertamente que aún queda alguna indeterminación, por la distinta apreciación de esos esfuerzos, según se ve en las diversas opiniones emitidas por varios ingenieros en las varias Memorias presentadas en este Congreso y en otros varios escritos, y cierto también que hay una gran inexactitud, y que solamente se dan soluciones aproximadas, habiendo una considerabilísima diferencia con las dadas para la estabilidad y resistencia de las construcciones ordinarias en tierra; pero se tiene una indicación, la cual por ahora será preciso considerar suficiente, mientras no se tengan con la debida certeza y aproximación los elementos o datos base del cálculo, como son principalmente los característicos de las olas, datos verdaderamente difíciles de obtener y sobre cuya determinación tan poco se ha hecho hasta el presente, teniendo solamente impresiones, más que verdaderos datos, y con un gran coeficiente de inseguridad, tanto por la falta de unidad y método en la forma de hacer las observaciones, dando por resultado la gran deficiencia de las hechas hasta el presente, como por la pasión o exceso de subjetividad puesta en ellas, dando cifras en las cuales, en gran número de casos, se percibe la exageración, sin quizá darse cuenta que, aun sin esos términos exagerados, se llega a considerables esfuerzos.

Es, pues, esencialísimo conocer con la mayor exactitud las características de las olas, y especialmente tomando estos importantes datos para cada sitio de puerto o costa, no pudiendo menos de insistir, como siempre insistimos, en la imperiosa necesidad y gran importancia de tomar muchos, muy repetidos y muy concienzudos datos para poder aproximarse al acierto en el proyecto de una obra marítima, en las cuales, aunque por sensible no sea menos cierto que ordinariamente se toman datos escasos, ciertamente por falta de personal y medios, escasez o falta de precisión de datos, que ha sido indudablemente causa de fracasos en muchas ocasiones.

Las ideas en las cuales han fundamentado varios ingenieros la apreciación de esos esfuerzos de las olas sobre los diques verticales, unas se han inspirado en la interpretación y contraste de los resultados obtenidos experimentalmente, casi en una forma empírica, y otras apoyándose en las leyes de la Hidráulica, considerando solamente la presión hidrostática variable con la altura del nivel del agua en donde la ola se desarrolla; otros, considerando una masa líquida animada de una cierta velocidad chocando contra un obstáculo, midiendo la presión por la cantidad de movimiento amortiguada, considerando también un choque de una corriente sobre una placa sumergida; y otros, más modernamente, considerando de un modo racional ese esfuerzo como formado de dos acciones: la estática, por el agua subiendo o bajando su nivel periódicamente, en contacto con el muro, y la dinámica, producida por las moléculas, que estando animadas de un movimiento con importantes velocidades, chocan contra el muro; esas dos acciones actúan simultáneamente, se unen y deben valuarse separadamente, y predominará la una o la otra, según sea el tipo o las circunstancias del mismo dique y su emplazamiento.

Los sucesivos artículos se dedicarán a la indicación de estas formas de cálculo, exponiendo con más detenimiento el propuesto en el Congreso de El Cairo por el distinguido ingeniero de Puertos de Chile Sr. Lira, como procedimiento moderno, en el cual considera esas dos acciones antes indicadas deduciendo la dinámica de la teoría trocoidal, tan generalmente admitida para el movimiento de las olas.