

OBRAS DE PUERTOS.

Observaciones sobre los artículos publicados con este título en los números 4.º y 5.º del presente año de la REVISTA.

II.

En el artículo anterior hemos rebatido las objeciones que contra el sistema concertado se dirijen fundándose en el ejemplo de Dover, (y no Dover como se ha impreso después de corregir por tres veces las pruebas); y en el presente nos ocuparemos de comparar ambos sistemas, tanto en lo relativo á su coste, como á la mayor seguridad de la construcción que cada uno ofrece; y siendo mas fácil discutir este género de cuestiones sobre un ejemplo práctico, elegiremos el puerto de refugio proyectado en la costa Cantábrica por el Ingeniero Regueral, cuyas circunstancias y detalles nos son perfectamente conocidos por haber desempeñado las funciones de Ingeniero Jefe durante la formación del proyecto.

No basta comparar, para darse cuenta del coste relativo de ambos sistemas, el gasto inicial de establecimiento; es necesario además tener en cuenta la acción que el mar ejerce sobre la obra, y la resistencia que cada sistema presenta; algunos Ingenieros (aunque en escaso número) han pretendido demostrar que la acción es menor sobre las escolleras que sobre los macizos concertados, fundándose en la fórmula conocida del choque de los fluidos. Llamando α la inclinación de la escollera y v la velocidad de las moléculas líquidas al romper, el choque de una vena fluida contra un plano inclinado se representa por

$$kv^2 \text{ sen. }^2 \alpha$$

y descompuesto á su vez horizontalmente

$$kv^2 \text{ sen. }^2 \alpha$$

que señala una rápida disminución en el efecto del choque á medida que α disminuye.

Para el resultado del choque que es conmover y desagregar la masa no debe aplicarse la segunda

Tomo XIII.

descomposición; y en la fuerza de arrastre, muy poderosa según luego veremos, en la destrucción de las escolleras, hay que tener en cuenta la velocidad $dv \cos \alpha$ en el sentido del plano inclinado que aumenta con el tendido de la escollera. Además, no podemos asimilar el esfuerzo de la ola al choque de una corriente; cuando la ola está próxima á romper, las moléculas toman movimientos horizontales cada vez más estensos hasta que llega un punto en que el equilibrio se rompe, la oscilación cesa, y la masa de agua que compone la ola se desploma sobre el macizo: y por último, siendo esencialmente distintos los esfuerzos de la ola en cada uno de los dos estados, no son comparables bajo la misma fórmula.

La acción de las olas rotas contra un obstáculo, consiste: 1.º En un choque de la masa de agua al desplomarse sobre aquel. 2.º El agua que llena los huecos del macizo, obra como en una prensa hidráulica, y tiende á arrancar los sillares de su asiento. 3.º El aire encerrado en el interior de la escollera y comprimido, obra por su fuerza elástica de la misma manera. 4.º El aire obra también por expansión al retirarse la ola. 5.º El agua al subir sobre el plano inclinado del macizo, lleva una fuerza de arrastre tanto mayor cuanto menor es la inclinación. 6.º El retroceso de la ola produce igual efecto en sentido contrario. 7.º Y por último, la acción oblicua de la ola, desarrolla una fuerza de arrastre en el sentido de la longitud del dique.

En un muro concertado de paramento vertical la acción de la ola proviene: 1.º de la presión que la columna líquida ejerce sobre la superficie del muro aumentada con una parte de choque producido por el movimiento orbital de las moléculas. 2.º De la compresión del aire que la ola encierra al chocar con el muro. 3.º De la presión del aire detrás del macizo por el vacío que la ola deja al retirarse.

Para comparar el efecto del choque de la ola en cada caso, el Ingeniero Rendel menciona un hecho muy curioso: en el andamio levantado para la construcción del muelle de Mull-Bay con 16 metros de profundidad en baja mar, fué destruida por dos

Madrid 15 de Abril de 1865.

veces la parte arriostrada del andamio á pesar de encontrarse ménos espuesta á la accion de las olas; observándose que la mar chocaba con mas fuerza contra las riostras inclinadas que contra los piés derechos; en vista de lo cual se quitaron las riostras y el andamio, á pesar de fuertes temporales sobrevenidos con posterioridad, no volvió á padecer ninguna avería; siendo probablemente esta observacion lo que le indujo á no emplear riostra ninguna inclinada en el andamio que posteriormente dispuso en la construccion del dique de Holyhead.

La accion del agua y aire comprimidos en el interior de la escollera es casi nula en el segundo caso y muy enérgica en el primero; en el rompeolas de Plymouth que presenta cerca de una tercera parte de vacíos, el aire comprimido al romper la ola es tan explosivo como la pólvora y capaz de destruir cualquiera obra. En el muelle de Argel no era posible pasar (en 1857) por los chorros de grande altura que saltaban al través de las cavidades del macizo; y en Cherburgo el golpe de ariete de la ola y el aire comprimido obrando al través de una masa de mampostería, levantaba y hendía una capa de hormigon de un metro de espesor: para reconocer este efecto, se abrieron agujeros en el mismo dique de Cherburgo, y se reprodujo el fenómeno ya citado en el muelle de Argel. Esta accion de las olas es perjudicial no solo porque trastorna y desagrega el macizo, sino tambien por la presion de abajo arriba que ejerce sobre la capa superior de hormigon levantándola con el macizo ó coronacion del rompeolas.

La 5.ª y 6.ª causas, nulas contra los muros verticales, son contadas por muchos Ingenieros entre las que producen los mas desastrosos efectos en las escolleras, notándose generalmente sobre ellas mayores resacas que sobre las playas contiguas; y además de la accion directa sobre la misma escollera, produce en el cimiento (cuando el fondo es movable) socavaciones que comprometen la seguridad de la obra.

La 7.ª es otra causa permanente de ruina; ya en el número anterior citamos varios ejemplos de esta accion destructora que nunca permite adquirir la conviccion de la completa estabilidad de la obra.

Rennie decia del rompeolas de Plymouth «que podia considerarse como estable si no sobrevenia una tempestad mas fuerte que las conocidas, pero que en el caso contrario la obra se alteraria»;

pues bien, nosotros vamos mas allá; no es necesario que ocurra una tempestad mas fuerte, siendo suficiente para alterar la estabilidad del dique que el temporal obre en distinta direccion.

Resulta de cuanto queda dicho, que la accion sobre las escolleras es mas enérgica que sobre las construcciones concertadas; y en cuanto á su resistencia, es supérfluo el comparar una construccion concertada cuyas diferentes partes resisten simultáneamente por su trabazon y en la que los mampuestos se colocan en las mejores condiciones de asiento, con un macizo desagregado, cuyos elementos se encuentran en un equilibrio inestable cediendo al menor impulso. Si el macizo se compone de bloques artificiales de hormigon, la forma paralelepípeda es á su vez la peor de las que pudieran adoptarse; los sillares se apoyan solo por los ángulos y aristas, los vacíos que dejan son enormes, y solo despues que por los choques y roturas continuadas han perdido su forma, es cuando la obra adquiere alguna mas estabilidad.

La conclusion del artículo de la REVISTA viene á ser la siguiente: ¿A qué innovar cuando las escolleras ofrecen el medio mas perfecto de construcciones submarinas? ¿Holyhead, Cherburgo, Plymouth, Argel, etc., no presentan construcciones que deben satisfacer las exigencias de cualquier Ingeniero? Si en otras partes del empleo de las escolleras han resultado desastrosos efectos ha sido por defectos de proyecto y no haberse tomado las precauciones necesarias.

Semejante párrafo nos ha causado, lo confesamos, una desagradable sorpresa, y debemos añadir que no somos tan fáciles de contentar: repetimos lo dicho en diferentes ocasiones; aceptamos las escolleras como medio necesario pero sin dejar de reconocer sus innumerables defectos y convencidos de que estan muy distantes de realizar, ni con mucho, las condiciones de una buena construccion. Ya digimos respecto del dique de Holyhead que respetables Ingenieros critican duramente estas obras; no debiéndose tampoco tomar como ejemplo un puerto en condiciones relativamente abrigadas, y en el que la abundancia y magnitud de los materiales ha permitido sin grandes gastos emplear un cubo enorme de piedra; se trata de examinar la cuestion en todos los casos ó por lo ménos en los mas ordinarios y no en los particulares. ¿Puede llamarse satisfactorio el resultado de Argel, Cherburgo, Plymouth, destruidos tan repetidas veces? ¿Han llegado estas obras á la

estabilidad cuando en Argel aún se sienten en las tempestades chocar entre sí los bloques que forman el macizo? ¿Cuando en Plymouth fué necesario revestir la escollera con un zampeado de gruesos sillares engrapados, á pesar de lo cual y 55 años despues de dar por terminado el dique, decia de él el capitán Vetch que habia visto arrancados inmensos bloques con las grapas que los sujetaban; añadiendo «que no podía llamarse concluida la obra, la cual requeriria aun un largo periodo y mucho dinero?» ¿Es resultado satisfactorio el de todos los puertos de la costa de Irlanda muchos de ellos arrasados por completo y el resto parcialmente destruidos? Y ya que siempre se cita el ejemplo de Dover, hacemos notar que uno de los mas ardientes defensores de las escolleras, conviene en que hubiera seguido aquel puerto la misma suerte que los ya citados, si semejante obra se hubiese intentado en aquella localidad.

Otra de las afirmaciones que hemos visto con sorpresa en el párrafo citado, es la seguridad de que empleando las precauciones convenientes no hay que concebir temor ninguno por el resultado del empleo de la escollera. ¿Precauciones en el empleo de la escollera! Semejante precepto lo concebimos tratándose de una construccion concertada; pero el carácter distintivo de las escolleras y lo que las recomienda es precisamente la falta de precauciones; el Ingeniero se limita á suministrar al mar los materiales que este dispone de la manera conveniente.

Esta discusion haciéndose ya pesada, prescindimos de los desarrollos de que es susceptible, y como conclusion, diremos: «que en la comparacion relativa al coste no debe atenderse solo á los gastos iniciales de la construccion, sino á los que reclama sucesivamente durante periodos que abarcan un considerable número de años.»

Otro de los inconvenientes de las escolleras es la incertidumbre en que se está de la época en que han adquirido suficiente estabilidad para sentar encima la coronacion de la obra; los ejemplos de los diques de Cherburgo y Argel demuestran cuán poca seguridad debe tenerse en las apreciaciones que sobre este particular se hagan.

Otra consecuencia deduce el autor anónimo, y es «que la economía se encuentra demostrada aun cuando los cubos de obra se hallen en la relacion de 1 á 2,5 desde el momento en que los gastos resulten en el de 1 á 4.»

No comprendemos el sentido del párrafo ante-

rior que peca cuando ménos de oscuro; si se trata de gastos absolutos de la obra, habrá economía en aplicar aquel sistema en que sean menores; y si se trata de gastos por unidad de volúmen, las ventajas de la escollera empezarán en el momento en que el precio de ella resulte inversamente á los volúmenes.

Sea el que fuere el sentido del párrafo citado, no podemos admitir los datos de donde se parte para la conclusion; á poca que sea la profundidad del mar en el punto en que se establezca el dique, el cubo de los materiales crece en una proporcion enorme; Plymouth, Portland, Cherburgo, Holyhead, etc., son ejemplos de lo que afirmamos; y téngase en cuenta, que la relacion hubiera resultado mas contraria á las escolleras á no haber dado en aquellos diques al macizo superior un ancho exagerado (1).

Tampoco convenimos en que los gastos resulten en la relacion de 1 á 4; si hay partes de la obra en que esto suceda, es una cantidad minima comparada con la masa total, y el precio medio de la unidad de obra viene á resultar ligeramente aumentado: el problema debe plantearse de la siguiente manera: «Dada la seccion de los dos diques y suponiendo al relleno igual precio que á la escollera, ¿cuál deberá ser la relacion entre el precio del revestimiento y el de la escollera ó relleno para que resulte mas económico el empleo de esta?» Aplicando el problema al dique N. del puerto de refugio, y suponiendo como allí un fondo que descienda uniformemente hasta la profundidad de 15 metros, obtendremos que la relacion de precios ha de ser superior á 15,74 veces, ó en números redondos igual á 14 veces. Los datos que adoptamos son los siguientes: Talud exterior de la escollera, 6 por 1 hasta la profundidad de 7 metros y 1 1/2 por 1 desde aquel punto en adelante y el mismo talud para el interior del dique; ademas se ha dado una berma de 2 metros por el interior y de 3 por el exterior. Al muro concertado se le dió un talud de $\frac{1}{10}$ con un espesor de 1,5 metros.

Aplicando los precios del proyecto citado, en el cual la escollera figura á 44 rs. el precio del revestimiento puede subir á 616 rs. próximamente. Aunque se suponga el revestimiento de silleria, resulta para esta un aumento por las dificultades

(1) En los citados ejemplos y otros, varia de 4 á 7 la relacion entre las secciones hasta la baja mar, comparadas con las que tendrian si los paramentos fuesen verticales.

del asiento debajo del agua de 575 rs. En el muelle del Carril vino á resultar el asiento del metro cúbico del hormigon en sacos por medio de buzos, á 10 rs, segun los datos facilitados por el Ingeniero Hoyo (1) y que mas abajo publicamos; datos que confirman lo que en nuestro anterior artículo aseguramos respecto de la facilidad con que pueden llevarse á cabo los trabajos submarinos. En el buque sumergido en la ria de Avilés, el buzo levantaba la escotilla, penetraba en el interior del buque, extraía los lingotes de zinc depositados en el fondo y los colocaba en el aparato para ser elevados á la superficie del agua. En la construccion de uno de los diques de carena del puerto de Argel á 12 metros de profundidad, se creyó preferible al antiguo sistema de recortar los cajones que debian contener el hormigon, igualar el fondo levantando pequeños muretes de fábrica, empleando en esta operacion *sin dificultad de ningun género* mamposteros revestidos de escafandras; el aumento en el coste ha resultado insignificante y en armonia con lo que llevamos expuesto; de manera, que tanto peones braceros de los que trabajan ordinariamente en obras de tierra, (Asturias, Galicia), como trabajadores especiales (Galicia, Argel), pueden emplearse indiferentemente en construcciones terrestres ó submarinas.

Si el relleno es de escollera consolidada por medio de hormigon, tal como se indica en la lámina que ha publicado la REVISTA (2), entonces el metro cúbico de revestimiento resulta á 1519 reales, precio enorme al cual convendrán los partidarios de las escolleras que nunca llegará por grandes que sean las dificultades con que se tropiece.

Es cierto que en semejante supuesto se pretenderá por los partidarios de las escolleras disminuir su talud, pero aun dejándolo reducido á 2 por 1, el precio del revestimiento resulta ser de 555 rs. y 292 de aumento sobre la sillería sentada fuera de la baja mar.

De lo dicho se deduce, que en la mayor parte de los casos y especialmente en el ejemplo que citamos, no debe proscribirse el sistema concertado como antieconómico siendo aun mayores sus ventajas cuando aumenta la profundidad.

(1) Consideramos tan curiosos los datos que nos ha suministrado este Ingeniero que esperamos nos dispense el abuso de confianza que cometemos publicando su carta.

(2) La lámina representa la sección de una de las cabezas, no la del cuerpo del dique que solo tiene 10 metros de ancho en la parte superior.

Se dirá que en las anteriores apreciaciones no hemos tenido en cuenta los gastos de cimentacion; si, como hemos supuesto, el fondo es firme, aquellos son inapreciables repartidos en el total de la obra, segun lo demuestran los trabajos submarinos del dique grande de carena del puerto de Argel; cuando el fondo carece de solidez, entonces ya será necesario formar un cálculo especial, y examinar mas, que si llegar al terreno firme, convendría estender sobre el fondo una ancha capa de escollera recubierta por otra de hormigon; todos estos son detalles variables en cada caso particular, pero que en nada afectan á las conclusiones generales que pretendemos establecer.

En cambio, hemos supuesto que el relleno del muro concertado costará lo mismo que la escollera lo cual es á todas luces improbable; en el relleno se pueden emplear cantos de menores dimensiones que en la escollera, siendo quizás conveniente para la misma obra que no escedan de cierto tamaño, cuando por el contrario, en la escollera, se requiere tengan el mayor posible, fracasando muchos proyectos por la escasez de materiales con las dimensiones requeridas, pues á poco que se anmente la dimension de los cantos ya la obra viene á resultar imposible. Lo que actualmente pasa en las obras del puerto de Barcelona y las dificultades casi insuperables con que se tropieza para llenar las condiciones exigidas en el proyecto, son un ejemplo algo mas concluyente que el tan repetido de Dover; dificultades que crecerán en proporciones colosales trasladándose á la costa brava del mar del Norte, que reclamará mayores masas y de la mejor calidad, para no esponerse á un desastre casi seguro.

Otra de las ventajas del sistema concertado es que no solo permite utilizar materiales de pequeñas dimensiones, sino de calidad inferior y aun aquellos que serian desechados para escolleras. Los materiales blandos pueden formar un excelente relleno, y hasta emplearse en los paramentos cuando estos no sufren choques ó rozamientos. Por el contrario, en las escolleras sobre las cuales la mar rompe furiosamente y que ocasionan resacas terribles, aquellos materiales no resistirian un invierno. De ello nos suministra tambien una prueba el puerto de refugio tantas veces citado; la piedra que se invierte en su construccion será de la misma naturaleza, es mas, hasta de la misma procedencia que la empleada en la construccion del dique que forma el antepuerto de Gijón; pues bien

antes de terminarse la obra algunos de los sillares que forman el paramento han sido desconchados muy profundamente por el choque de la ola y principalmente por las masas de grava arrancada á la playa y lanzada contra el muro; de manera que una gran masa de esta piedra será forzoso deshecharla para la escollera, al paso que sería aprovechable en el relleno y aun en el paramento de un muro concertado.

Por último; si, como hemos indicado y recomiendan todos los Ingenieros, las cabezas se construyen por el sistema de macizos concertados, la parte mas importante de la construccion queda segregada, é influirá tanto mas cuanto menor sea la longitud del dique.

Examinada la cuestion aun en la hipótesis de un revestimiento de silleria, resulta favorable (en general, y fuera de las condiciones especiales de alguna localidad) al sistema concertado; en el caso de optar por este medio, proponemos se reserven los mayores sillares para la parte constantemente sumergida con objeto de acelerar la construccion á pesar de ser lo ménos atacado en esta clase de obras, en las cuales se ejerce la accion mas enérgica entre la baja mar y la media marea.

Terminamos aquí este 2.º artículo reservando para un tercero, el discutir la cuestion relativa al empleo de los hormigones en el mar; anunciando desde ahora que ni en los hechos ni en las conclusiones estamos conformes con las opiniones defendidas por el autor anónimo de los artículos sobre puertos.

PEDRO P. DE LA SALA.

Carta del Ingeniero Hoyo al Ingeniero Sala.

Mi estimado amigo: Los documentos que envié á V. Ferrin contienen todo ó la mayor parte de lo que V. desea. Los planos, si bien mal hechos, no son del proyecto sino de los andamiajes contruidos para ejecutar la obra, asi como los cajones de palastro, segun están empleados y no comprendidos en el presupuesto. Los precios consignados son los reales á que salieron las obras y deberán ser mas reducidos porque se hicieron en parte por administracion. El contra-

tista suministró las cales, piedra machacada, tela para los sacos y tambien los jornaleros, abonándose todo á precio de presupuesto; así que el quintal de cemento de Iracta que bien acondicionado en pipas ó barriles cuesta á 12 reales, lo pagabamos á 15. Nosotros solamente teniamos á nuestro cargo la mano de obra; la economia en esta y el empleo conveniente del mortero nos permitió hacer una andamiada de 80 metros de largo y 14 de ancho; comprar un carro-grúa, carriles de fundicion, torno, draga, etc. El volumen de cada saco era de $\frac{4}{4}$ de metro cúbico y cada uno lleva 5,30 metros lineales de tela, de 1,10 de ancho. El metro de tela traído de Inglaterra costó en la obra á 4 rs. y 0,50 la hechura y el hilo de cada saco; de manera que la envoltura del metro cúbico vino á salir á 54,80 rs. Hecha la mezcla que componia el hormigon se llenaban con ella los sacos que estaban colocados en un cajon prismático de chapa de hierro, se cosía la boca y se descendian al fondo. Los buzos, que eran canteros, marcaban el paraje á que se habia de descender, abrian el cajon por un juego de palancas y sentaban el saco como si fuera silleria. Los buzos trabajaban por relevos de 2 á 2 horas y media, ganando 20 rs. de jornal y un almuerzo, con lo cual venian á salir por 26 rs. diarios. Cuando empezaron á trabajar no sabian manejarse ni habian visto las escafandras, pero al poco tiempo adquirieron una práctica y seguridad tal que les era indiferente trabajar dentro ó fuera del agua y aun preferian lo segundo (1).

La solidez de la obra nada deja que desear; el hormigon ha tomado una dureza extraordinaria de la cual dará á V. una idea la siguiente prueba: sumergido el primer saco fuera de la zona de replanteo, dispuse sacarlo al siguiente dia para conocer el estado del hormigon. Ocho hombres aplicados á un poderoso torno no podian suspender el saco hasta que despues de una fuerte sacudida subió á flor de agua trayendo adherido un canto de granito de un tercio de metro cúbico. El hormigon estaba durisimo y solo con el pico podia romperse.

Enrasado el macizo con el nivel de la baja mar se arrancó parte con el pico para sentar la silleria, operacion tan penosa que los canteros preferian labrar piedra á rozar el hormigon. El muelle hasta

(1) Lo mismo sucedió en la provincia de Oviedo, y se comprenda la preferencia porque aun en el invierno mas rigoroso estan exentos de frio; el mayor peligro que corre el buzo es de cortarse la transpiracion al quitarse la escafandra; el Ingeniero Sanz (D. Javier), cogió en una ocasion un catarro rebelde al salir del agua, á pesar de las precauciones tomadas para abrigarse.