

consolidados. El primero es el ideal, aun cuando hay que tomar ciertas precauciones para evitar las grietas, entre otras el dejar el tráfico circular sobre el cimiento, con objeto de que se produzcan todas las grietas que tengan que formarse, y entonces cubrirlo con el firme de hormigón asfáltico. Estas grietas formadas antes de extender el hormigón asfáltico no aparecerán en la superficie y sí lo harán las que se formen posteriormente. Este es un hecho sancionado por la experiencia americana e inglesa.

Un cimiento de macadam es económico, pero tiene el inconveniente de que si hay que hacer una reparación afectándole, es difícil luego consolidarlo como primitivamente estaba, y queda un punto débil, en donde el firme puede ceder.

Casi tan importante como el cimiento es el disponer un bordillo o encintado para contener lateralmente el pavimento.

En otro artículo describiremos la forma de ejecutar el afirmado.

Marciano MARTINEZ CATENA
Ingeniero de Caminos

Diques de escollera

No he de atreverme yo con lo que no se atrevieron otros de más valer y fama. Autores de universal renombre titubean cuando llega el momento de determinar el talud de una escollera batida por las olas, y justifican sus dudas y vacilaciones con las grandes dificultades que tiene el problema. La desconocida fuerza de las olas, las anomalías de los temporales y las duras y dolorosas contestaciones con las que el mar responde al saber y a la prudencia de los constructores, les dan la razón.

También al final de estos renglones se sacará la impresión de que el problema es muy oscuro y que sólo el ignorante puede creer que lo tiene resuelto. Pero, a pesar de todo, y mientras se conoce la verdad definitiva, no sobran las verdades provisionales, o, mejor dicho, las aproximaciones a la verdad. Hace falta esa verdad provisional, porque no hay más remedio que resolver el problema, haya o no base firme en donde apoyarse; al proyectar el dique de abrigo

satisfechos, sin ahondar más en el estudio de los taludes. Sin negar en absoluto que eso es cierto, hay que fijarse que en las obras expuestas a los embates de las olas se determinan las dimensiones sin el amplio margen de seguridad que es cosa corriente en otra clase de construcciones. Se elige el talud que tiene la estabilidad estrictamente precisa para conservar



Dique de Portland.

Fig. 1.

de un puerto, y al comparar la escollera natural con la artificial o el dique de escollera con el dique muro, se trazan perfiles y taludes con la esperanza de que serán estables, aunque con la reserva de que no tenemos regla que seguir. Para fijar esos taludes no suele hacerse otra cosa que el traer a la comparación otros diques que se cree que tienen condiciones parecidas; pero este camino conduce a veces a grandes fracasos; la marea, la clase de fondo, el que el paraje sea o no tranquilo, el calado grande o chico, el que se pueda disponer de más o menos dinero, son razones poderosas para que no sea fácil encontrar el caso igual para que se pueda copiar la sección que en él dió buen resultado. Es muy fácil el error, que tiene mucha importancia, pues diferencias pequeñas de taludes dan diferencias muy grandes de volumen.

Suele creerse que en las cosas de mar la indeterminación tiene que ser mucho mayor que en lo demás de la ingeniería, y por eso nos hemos dado pronto por

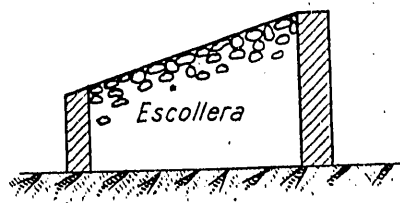


Fig. 2.

su forma, sin salirse de las inmediaciones del esfuerzo peligroso, y nos parece luego anómalo que pase lo que pasa, cuando lo mismo ocurriría en las demás obras si fijásemos sus espesores con el criterio estrecho que se tiene en las obras de mar.

La característica del dique de escollera es el talud de material suelto que se opone a la fuerza de las olas, y que se extiende a toda la zona en la que la marejada ejerce su acción, o sea sobre el nivel de reposo del



Dique de Newhaven.

Fig. 3.

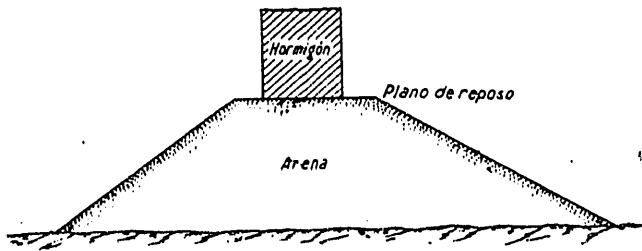
mar. No es solamente dique de escollera el que tiene la clásica sección del dique de Portland (fig. 1); aunque tuviera esta otra (fig. 2), lo sería.

Lo mismo podemos decir de los diques muros; no lo es solamente el de Newhaven (fig. 3) o el de Dover, que tantas veces se citan como modelo.

El de Valparaíso (fig. 4), con su gran infraestructura

tura de arena bajo el nivel de reposo del mar, es también dique muro.

En el talud de escollera, en el que los cantos, enlazados unos con otros, han llegado a una posición de estabilidad y han formado la playa rocosa, la energía de la ola se gasta en los innumerables choques con



Dique de Valparaíso.

Fig. 4.

esos cantos, que se oponen a su movimiento. En el dique muro el ideal es que la ola no rompa y que no pierda el estado ondulatorio; en la playa rocosa, por el contrario, la ola ha de romper mil y mil veces.

Su fuerza se consume totalmente sin necesidad de un gran recorrido; por eso, en una escollera bien trazada la altura máxima a donde alcanza la ola no excede mucho de la que tiene su cresta antes de romper. Así como en el muro vertical se producen los rociones que se elevan hasta alturas insospechadas, en una escollera no hay roción, y el agua sube tan poco por el talud arriba, que si aumentamos la altura de la ola un 25 ó en un 30 por 100, podemos tener la seguridad de que la horizontal de la cresta de la ola así aumentada señala el límite superior a donde el agua ha de llegar. Muy poco más arriba deberá estar la coronación.

Porque la fuerza de las olas es cosa que hiere vivamente nuestra imaginación, se supone siempre que es ella la causa de la destrucción de las escolleras, y se cree, equivocadamente, que las olas empujan a las piedras y las lanzan sobre el dique para que vayan a caer al lado del puerto. Y esto no ocurre casi nunca; así no se producen las averías. No es la ola, cuando choca contra el dique, la que remueve la escollera, sino la ola al retirarse, al retroceder, al ir cuesta abajo por el talud; cuando ya no es ola ni recuerda nin-

del puerto hay que contrarrestar la violencia de la ola que hacia él viene haciendo que consuma su energía en los innumerables choques con la escollera; pero para la inestabilidad del dique de abrigo hay que mirar a la ola que baja. La realidad nos dice que la marejada no transforma el perfil $ABCDE$ en el $ABfgh$, sino en el $mnope$ (fig. 5.).

Así se debe plantear el problema, y el haberlo planteado siempre pensando en el ímpetu de la ola que choca contra el dique puede ser causa de la vaguedad en que está envuelta este problema. Así como el cálculo de una estructura debe hacerse con la mira puesta en el modo de deformarse y de romperse, así también, en este caso, el cálculo debe seguir a los movimientos que la marejada produce en los taludes. Si lo hacemos así, el problema, además, se simplifica, porque no se trata entonces de una ola de violencia desconocida que choca contra unos cantos más o menos sueltos,

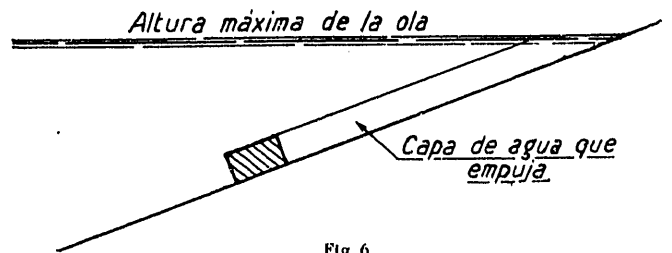


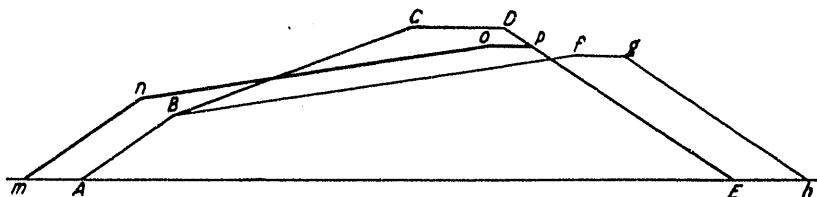
Fig. 6.

sino de una masa de agua que desde una altura conocida corre por un talud de pendiente conocida también. El problema, así mirado, se acerca a los que sabemos manejar, así corriendo, y su indeterminación es análoga a la que es corriente en los cálculos de la construcción.

Se tienen todos los datos para plantear el problema: peso de la piedra, pendiente del talud y altura de la ola. La forma de la piedra no es indiferente, pero se puede suponer, en este cálculo, que es un cubo. Si estudiamos las condiciones de estabilidad de un sólido colocado sobre un plano inclinado, veremos que para que no sea arrastrado por el agua necesita mucho mayor peso que el que es suficiente para el canto de un talud de escollera. Es natural que así ocurra, porque las piedras no están sujetas y aisladas (figura 6), sino sujetas las unas a las otras. Puede hacerse la hipótesis de que están en la posición de la figura 7 y calcular las condiciones de estabilidad de un canto. Se llega a una fórmula que enlaza todos los elementos que influyen en la resistencia y que da una idea de relación muy exacta, pero que no concuerda con la realidad en sus valores absolutos. El resultado de la fórmula absolute ser modificado por un coeficiente de corrección.

Quiero unir a esta corrección el nombre de Briones, ingeniero de tanta competencia como modestia, que desgraciadamente ya no está entre nosotros, y

que modificó la fórmula que da el cálculo; varió coeficientes y exponentes, y tras de muchos tanteos, llegó a otra fórmula parecida, que concuerda bien con todos aquellos taludes de los diques de escollera que tienen ya una vida, lo bastante larga para haber sufrido muchos temporales y haber demostrado que pueden aguantarlos bien.



Los tres perfiles son $\begin{cases} ABCDE. \\ mnopE. \\ ABfgh. \end{cases}$

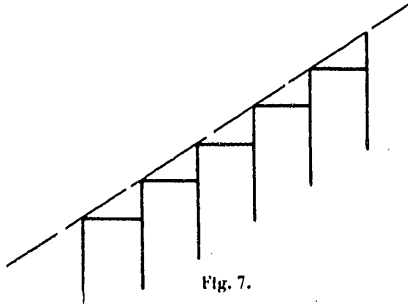
Fig. 5.

gún movimiento propio de las ondas, y no es más que una masa de agua que por la acción de la gravedad se despeña. No hay duda que es más impetuosa la en los innumerables choques con la escollera; pero también es indudable que hace falta mucho menos esfuerzo para arrastrar las piedras hacia abajo que para hacer que pasen sobre la coronación. Para el abrigo

La fórmula es

$$P(T+1)^2 \sqrt{T - \frac{2}{\delta}} = 704.1^2 \frac{\delta}{(\delta-1)^3}$$

en la que P es el peso de los cantos; T , el talud de la escollera, o, mejor dicho, el coseno del ángulo que forma el talud con la horizontal cuando el seno se toma como unidad; δ es la densidad de la piedra re-



ferida a la del agua, y A es la altura de la ola, tal y como antes la hemos definido.

La fórmula nos dice que para $T = \infty$, P debe ser cero; lo cual quiere decir que cuando el talud es casi horizontal, aun la arena más fina se sostiene. Si T es menor que $\frac{2}{\delta}$, se tiene para P un valor imaginario,

lo que indica que con esos taludes tan escarpados no se pueden hacer escolleras, por grandes que sean los cantos que la formen. Si a δ le damos un valor negativo, cosa inaceptable, se deduce para P un valor también inadmisibles; la fórmula contesta al absurdo con el absurdo; y, por último, si δ es igual a 1, P tendrá que ser infinito, que es la contestación racional que nos da el cálculo para el caso de que la piedra tenga la densidad del agua. Fuera de estos casos límites, necesarios para la discusión de la fórmula, ella nos dice que el aumento de densidad o de peso de los cantos, o la disminución de altura de la ola, permite el trazado de taludes más inclinados, como debe ser y como en la realidad ocurre.

Si dibujamos la curva representada por la fórmula, tomando a P y a T como variables, tendremos la relación entre el talud y el peso del canto para una densidad dada de la piedra y para una altura también dada de la ola. La curva no es exactamente una hipérbola, pero es muy parecida a una hipérbola equilátera, cuyas asíntotas corresponden a los valores límites de P y T , y cuya fórmula es fácil de escribir en cuanto se conozcan los valores de δ y de A (fig. 8).

Poco varía de unos a otros casos la densidad de la piedra; la altura de la ola tampoco varía mucho de unas costas a otras, sino cuando hay grandes diferencias geográficas. En las costas americanas, por ejemplo, de donde vienen a Europa los grandes temporales, las olas tienen menor altura que en las costas europeas de Occidente; pero, dentro de estas o de aquellas costas, nadie se atreverá a decir dónde son mayores las olas. Vemos, por lo tanto, que para el numeroso grupo de mares de condiciones parecidas y para el no menos numeroso de materiales de análoga densidad, hay una hipérbola fácil de trazar, que nos

da inmediatamente la relación entre el peso del canto y el talud de la escollera, que son los dos elementos que entran en juego en nuestros cálculos al proyectar y al construir.

La tendencia moderna, cuando se trata de elegir tipo de dique de abrigo, va hacia la escollera o hacia el dique muro, y en uno de los últimos Congresos de Navegación se ha recomendado que no se emplee el tipo mixto sino en los casos en que especiales condiciones locales aconsejen con insistencia su empleo. Esta conclusión es razonable; la escollera consume toda la energía de la ola; el dique muro refleja la ola sin que haya cambiado su estado ondulatorio. Las dos cosas pueden estar bien; el que no rompa y el que después de romper agote en el dique toda su energía. El dique mixto puede hacer romper la ola y no tener luego masa bastante para absorber el enorme empuje de la ola de traslación. Este es el peligro del dique del término medio.

En América se emplea mucho el dique de escollera; la allí débil carrera de marea y la moderada violencia de sus temporales justifican la preferencia americana por la playa rocosa. También en el Mediterráneo, y acaso por razones análogas, domina el mismo tipo de dique, que tiene también en su favor el que los errores tienen más fácil arreglo que en los diques de paramentos verticales.

Elegido el talud expuesto a las olas, poco hay que decir de los demás; tanto bajo el nivel de reposo como en el lado del puerto, la escollera tomará su talud natural; ya hemos dicho hasta dónde sube la ola y a qué altura debe trazarse la coronación, cuyo ancho,

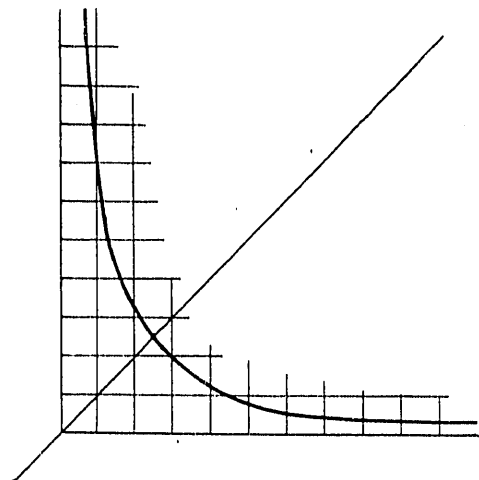


Fig. 8.

por último, no influye en la estabilidad del dique. Todo esto es consecuencia inmediata de lo que es fundamental en la playa rocosa. Y con todo ello podemos trazar la sección de un dique de escollera con la esperanza de que el mar nos diga que la hemos trazado bien.

No pretendemos haber dejado el problema resuelto, ni mucho menos. Sólo hemos querido puntualizar la acción del mar sobre los diques de escollera y presentar una fórmula que sirve bien en la realidad, y que no es más que la fórmula teórica modificada por ese coeficiente de seguridad que necesitamos tantas veces para que él nos ampare de nuestra ignorancia.