

## Construcción de Rompeolas

EN caso que las canteras no proporcionen enrocados de tamaño suficiente en la proporción requerida o que fuera necesario ir a buscar buenas canteras a una distancia demasiado grande, lo que encarecería demasiado los enrocados, convendría recurrir al empleo de bloques artificiales, hechos generalmente de concreto, suficientemente rico para que resista a la acción nociva del agua de mar. Otras veces, aconsejará recurrir a los bloques artificiales la violencia del mar, que obligaría a emplear en las partes más expuestas, piedras de tamaño excesivo, que difícilmente pueden obtenerse en la explotación de las canteras.

La idea directriz de este tipo de obras es la construcción de un prisma de enrocados con un talud lo más escarpado que sea posible por ambos lados, taludes que pueden fijarse en  $4/3$ , que lo adquieren naturalmente los enrocados en el agua en reposo y que algunas veces ha sido estimado en  $5/4$ . En la parte en que la acción de las olas es más enérgica, es decir, en la parte superior de la obra y en el revestimiento del talud exterior hasta llegar al nivel en que los grandes enrocados pueden conservar su talud natural, que es el nivel de reposo que les corresponde, se reemplazan los enrocados por grandes bloques artificiales, cuyo peso unitario no baja, en general, de 40 tone-

ladas ni sube de 80 y que pueden mantenerse con el talud de  $1/1.6$  de  $4/3$ . Estos bloques artificiales pueden colocarse tal como quedan, dejándolos caer, disposición que se designa ordinariamente con la locución francesa *pêle-mêle*, o bien arrimándolos de manera que formen mampostería, o finalmente adoptando un semi-arribo que es un término medio entre ambas disposiciones, acercándose más a una o a otra de ellas.

El tipo clásico de los rompeolas con defensa de bloques *pêle-mêle* se ha aplicado en el rompeolas de Marsella, Fig. 8. Se compone de un núcleo inferior de desmonte de cantera y bolones (0 a 100 kg.) limitado a la cota ( $-18$  m.) enteramente protegido por una capa, limitada a la cota ( $-14$ ), de piedras de 6 a 100 k., que forma una base recubierta por el lado exterior por una capa de enrocados de 100 a 1500 kg. Encima de esta base se han dispuesto los enrocados de los tamaños mayores, de manera que a cualquier profundidad se encuentran elementos más pesados en la parte más expuesta. La defensa de bloques artificiales, de 33 toneladas de peso, baja hasta la cota ( $-6,00$ ) y presenta una disposición particular, que consiste en suavizar su talud exterior a partir del nivel del mar, hacia arriba, reduciéndolo a  $3/1$ ; detrás de esta defensa de bloques se construye un muro de guarda que se eleva hasta la cota

(+9,00) o (+5,50), según que se desee una protección más o menos perfecta de la plataforma de coronamiento de la obra. El espacio irregular comprendido entre el

macizo de bloques: el talud suave impide que sean removidos y arrastrados hacia el mar. El resultado de esta obra ha sido muy satisfactorio, demostrando que este

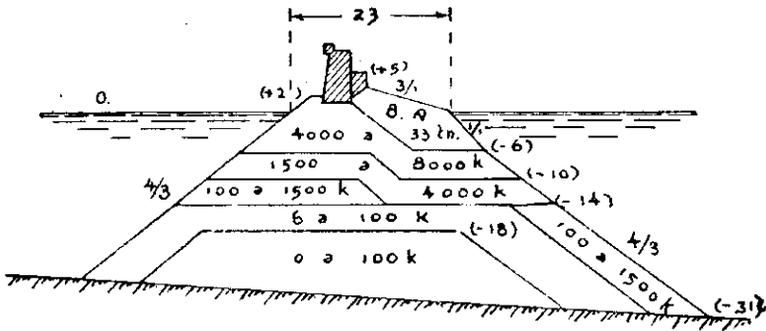


Fig. 8. Marsella

punto más alto de la defensa de bloques y el muro de guarda, se ha llenado con un prisma de mampostería, hecho por trozos y limitado a la cota (+5,00); este prisma protege por una parte al muro de guarda e impide que el mar arrastre

tipo de construcciones puede aplicarse a los mares más violentos sin originar gastos de conservación apreciables.

En las aplicaciones posteriores de este tipo de obra se han perdido de vista algunas veces sus ideas directrices, lo que

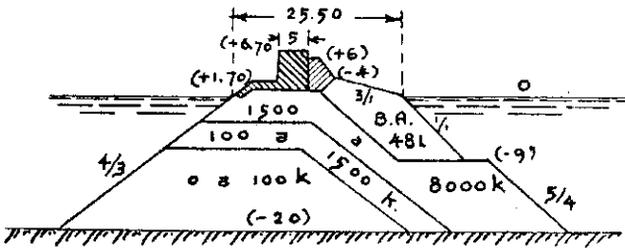


Fig. 9. Oran (prolongación)

los bloques hacia afuera. El objeto de la forma que se ha dado al talud exterior es que las olas rompan en la parte sumergida con talud de 1/1, y que en la parte siguiente, de talud suave, se agote su energía al chocar con los obstáculos que les ofrecen los bloques irregulares; a pesar de eso, las olas llegan al muro de guarda, animadas de mucha velocidad, lo que las hace elevarse y caer sobre el

ha conducido a fracasos más o menos importantes. Entre las mejores aplicaciones de él, conviene tener presente el que hizo en la prolongación del molo de Orán, Figura 9, en el cual se mejoró el tipo de Marsella, simplificando la disposición de los enrocados que forman la parte más voluminosa de la obra, y dejando una berma de 2,00 metros de ancho en la plataforma de asiento de la defensa de

bloques artificiales; además, como la agitación del mar es mayor que en Marsella, esa plataforma se estableció a la cota (-9,00), y se aumentó el peso de los bloques, que tienen 20,5 metros cúbicos, es decir, unas 48 toneladas. El muro de guarda se elevó hasta la cota (+6,70); la plataforma de coronamiento ha sido cubierta con una capa de mampostería de 0,70 m. de espesor. Esta obra, que fué terminada hace 20 años, se ha mantenido perfectamente, y el tipo adoptado en ella puede considerarse como modelo de su especie. Más adelante entraremos en algunos detalles acerca de la colocación de los bloques de la defensa.

(-4,00) hacia arriba y por el lado exterior se ha dispuesto una defensa hecha con bloques artificiales de 45 toneladas, colocados pêle-mêle, con talud de 1/1 bajo la baja marea y de 3/1, semi-arrimados desde allí hasta llegar a la cota (+5,00), sobresaliendo 0,80 m. de la alta marea. La plataforma superior está protegida por una capa de 2 m. de espesor de concreto reforzado con barras de acero, con la cual forma cuerpo un muro de guarda, de 4,5 m. de espesor, que se eleva hasta la cota (+11,50), es decir, 7,30 m. sobre las altas mareas: el pie de este muro está defendido por bloques de capa hori-

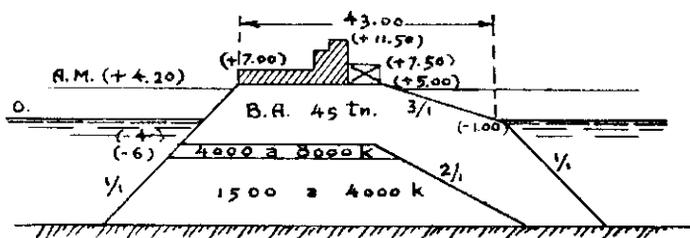


fig. 10. Casablanca

Otro ejemplo notable de las obras derivadas del tipo de Marsella lo constituye el rompeolas principal de Casablanca (Marruecos), directamente expuesto al oleaje del Atlántico y que tiene que soportar constantemente el golpe de olas extremadamente violentas, que durante las tempestades alcanzan 8 metros de altura y 200 metros de largo. A pesar de que la amplitud de la marea en ese lugar es de 4,20 m. trataremos aquí de esta obra, sobre la cual volveremos después. En la figura 10 se indican las líneas generales de ella, que se compone de un prisma de enrocados de 1.500 a 4.000 kilos, limitados a la cota (-6,00) y cubierto por una capa de dos metros de espesor de 4 a 8 toneladas. Desde la cota

zontal, asentada en una berma de 5,50 metros de ancho. Esta obra, extraordinariamente robusta, ha resistido en general, perfectamente; sin embargo, en una tempestad extraordinariamente violenta, el mar arrancó trozos del muro de guarda que tenían 260 toneladas de peso y las arrojó hacia el interior, haciéndolos recorrer la distancia horizontal de 11 metros. Este efecto se debe sin duda al hecho de que el muro está demasiado expuesto al golpe de enormes masas de agua, porque la defensa de bloques no alcanza a llegar, por lo menos en alta marea, a una cota elevada, como en Marsella u Orán.

En la figura 11 se reproduce el tipo de esta clase de obras, construido en la parte más expuesta del molo del León,

del puerto de Bône (Argelia), que difiere de los anteriores en la disposición de la defensa. Esta obra comprende un núcleo de piedras de 2,5 a 4,000 kl. cubierto por una capa de enrocados de peso superior

principal del molo de San Antonio según un tipo parecido al anterior, pero menos robusto. En la Fig. 12 se indican las líneas generales de esa obra, que comprende una base, limitada a la cota

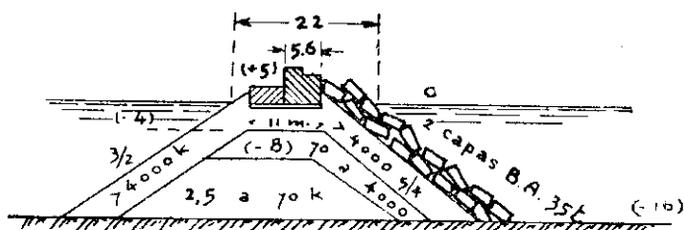


Fig. 11. - Bône - (molo del Leon)

a 4000 kl.; la defensa, que llega hasta el fondo, a la cota (-15,00), se hizo con una doble capa de bloques artificiales de 15 m<sup>3</sup> de peso, es decir, unas 35 toneladas, colocados sin arrimo, de manera que su paramento resulta muy irregular. Detrás de esta defensa queda un muro de guarda de 5,50 m. de espesor, que llega hasta la cota (+5,00), y la plataforma que tiene 5 m. de ancho se cubrió con una capa de bloques de concreto,

(-6,00), hecha con enrocados de 1 a 2.500 kg. de peso; encima de esa base se construyó un prisma formado por un núcleo de piedras de la categoría anterior, cubierto por una capa de enrocados de 2,5 a 7 tons. que llegaba hasta la cota (+2,00) por el lado exterior se ensanchó la base con una capa de enrocados de este último tipo, limitada a la cota (+8,00) con una plataforma saliente de 6 m., en la cual se apoya la defensa de

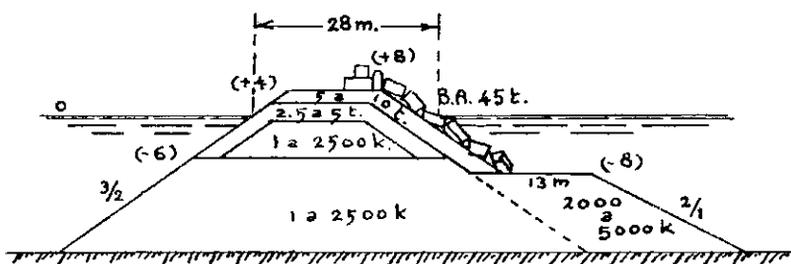


Fig. 12. - San Antonio

arrimados y limitados a la cota (+2,00). Esta obra también ha resistido en perfectas condiciones desde hace prácticamente treinta años, habiendo soportado tempestades extraordinariamente violentas.

En Chile se construyó la parte prin-

cipal del molo de San Antonio según un tipo parecido al anterior, pero menos robusto. Esta defensa está formada por una capa de bloques de concreto de 40 ton., colocados pêle-mêle; la plataforma de coronamiento se protegió con un parapeto formado por dos capas de bloques de concreto de 4 metros de largo, colocados unos trasversal

y los otros longitudinalmente; los de la capa superior están afirmados contra el deslizamiento por medio de trozos de rieles empotrados en los bloques de la capa inferior. El espacio irregular que quedaba entre los bloques pêle-mêle de la defensa y el parapeto se rellenó con grandes piedras de varias toneladas de peso, destinadas a impedir que el agua, al volver atrás, arrastrara los bloques hacia el mar. Este tipo de obra, que desde el punto de vista de la defensa de bloques se puede considerar como un mínimo, lo que contrasta con la berma excesivamente ancha en que se apoyan los bloques, ha resistido bien hasta ahora y en quince años no ha exigido gastos de conservación; pero de aquí no se pueden deducir conclusiones de carácter general, porque la gran cantidad de arena que se mueve de Sur a Norte ha ido retirando gradualmente la playa, de tal manera que desde hace años las grandes olas rompen antes de llegar al molo, salvo en su parte externa.

En Valparaíso, en Antofagasta y en Iquique se ha hecho aplicaciones de esta clase de obras, derivadas del tipo de Marsella, más o menos modificado, según las circunstancias.

Al ocuparnos en general de este tipo de obra, vimos que los bloques de la defensa podían colocarse enteramente pêle-mêle, arrimarlos parcialmente, es decir, disponerlos con cierto orden y no soltarlos mientras no tengan una colocación conveniente, o bien arrimarlos formando capas en las cuales los bloques quedan bien juntos; y que en vez de un talúd irregular forman una verdadera gradería. Hasta ahora no nos hemos referido sino a las dos primeras disposiciones, y vamos a estudiarlas con algún detalle.

Los bloques que forman la defensa de estas obras se colocan por diversos pro-

cedimientos, y según sea el que se emplee, los resultados que se obtengan pueden ser muy distintos. Esos procedimientos son los siguientes: o bien dejarlos caer de cierta altura, ya sea desde embarcaciones que se inclinan hasta que los bloques deslicen y caigan al agua, ya sea desde vagones y plataformas, que se hacen bascular con el mismo objeto, ya sea por medio de grandes grúas o titanés que los toman de las plataformas de transporte y los sueltan al nivel del agua; o bien colocarlos en una posición determinada por medio de una grúa flotante o de un titán, que se mueve sobre la obra misma, dejando los bloques en la situación que van a ocupar, sin que sufran golpes ni pierdan la posición en que se les dejó; en este caso la posición de los bloques es arbitraria u obedece a un principio bien definido.

Indudablemente el primer sistema, dejarlos caer, es inferior al segundo, no sólo por el peligro de que los bloques, que a veces tienen que caer desde alturas considerables, que alcanzan a 8 y 10 metros, se exponen a quebrarse, sino porque con frecuencia pueden quedar en situaciones de equilibrio muy precario, que el mar puede destruir, provocando el movimiento de muchos bloques por el desplazamiento de uno solo. Este sistema se ha empleado a veces por economía en la construcción y otras veces porque no era posible hacer otra cosa, en vista de las circunstancias especiales de la obra.

El segundo sistema se presta a colocar los bloques de dos maneras distintas: ya sea dejarlos de modo que queden todos sensiblemente paralelos con su mayor dimensión en el sentido de la máxima pendiente, de manera que presenten a las olas su cara de menor superficie, o bien colocarlos de modo que presenten la superficie más irregular que

sea posible, dejando como consecuencia huecos mayores. El primer sistema parece preferible y en general ha dado mejores resultados; en Marsella se les colocó con grúas flotantes, de modo que su mayor dimensión esté aproximadamente en la dirección de la máxima pendiente; en la prolongación del molo de Orán se fué más allá, adoptando un arrimo parcial en la forma que indica la fig. 13; algo parecido se hizo en Alejandría; en Casablanca los bloques se colo-

pendiente máxima y bastante juntos, de manera que no dejen grandes huecos por los cuales puede penetrar el agua y remover los enrocados subyacentes. En este caso, es menos aceptable la idea de dejar al azar la colocación de los bloques o lo que casi es peor colocarlos de manera que dejen grandes huecos.

Respecto a dar la preferencia a una u otra disposición de la defensa, un macizo de bloques del perfil de Marsella o una doble capa como en Bône, a mi juicio es

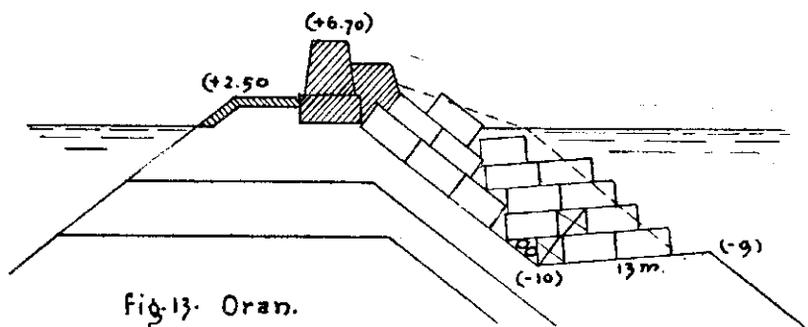


Fig. 13. Oran.

caron pêle-mêle, sin sujeción alguna, bajo el agua, y en la parte de talud de 3/1 se les colocó con su mayor dimensión según la máxima pendiente, como ya hemos visto, y lo más juntos que fué posible. A esta manera de colocar los bloques, se ha observado el hecho de que, presentando una superficie más pareja, se destruye menos la fuerza viva de las olas y el agua golpea con más fuerza el muro de guarda. En cambio, presenta la ventaja de que los bloques quedan menos expuestos a ser removidos por las olas, y si se elevan hasta una cota suficiente, no tiene gran importancia el golpe sobre el muro de guarda, porque la superficie que lo soporta es pequeña.

En caso de que los bloques de la defensa formen una capa, como en San Antonio, o dos como en Bône, debe colocárseles con cierta regularidad, con su mayor dimensión en el sentido de su

difícil pronunciarse de una manera definitiva, porque los resultados son muy semejantes, pues una y otra ofrecen garantías de éxito, si los bloques son de tamaño suficiente y su colocación ha sido bien hecha. En cuanto al costo, también son muy parecidas porque el volumen efectivo del concreto es sensiblemente equivalente en ambas, pues en la de Marsella son mayores los huecos que quedan entre los bloques, alrededor de 45 %, y en el de Bône alrededor de 30 %; en cuanto a las disposiciones de la parte de enrocados también son prácticamente iguales.

En la fig. 14 se representan las líneas principales de una obra típica derivada del dique de Marsella y en la fig. 15, una equivalente derivada del molo de Orán, que permiten apreciar mejor las observaciones anteriores. El peso de los enrocados que limitan las distintas cate-

gorías dependerá de la violencia del mar, así como la cota de la plataforma de asiento de la defensa de bloques, que corresponderá a una profundidad ligeramen-

char la plataforma de asiento de los bloques de defensa o dejar una plataforma ancha a mayor profundidad, según que esta sea más o menos considerable, como

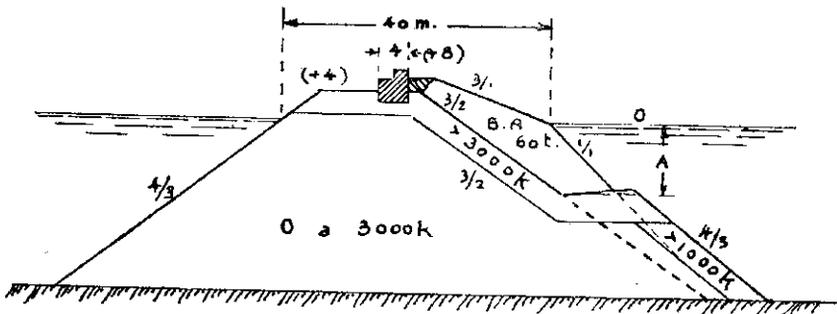


Fig. 14 - Perfil tipo Marsella-Oran

te superior a la altura de las olas, es decir, que variará entre 8 y 10 metros. En caso que las tempestades sean extraordinariamente violentas se necesitará bajar probablemente hasta 12 metros, pero a mi juicio no será necesario llegar hasta el fondo, como se ha hecho algunas veces, y sólo convendrá hacerlo cuando la

se indica con segmentos en las figs. 14 y 15. El ancho de la berma de esa plataforma no necesita ser mucho mayor que el largo de los bloques de la defensa.

Por lo que se refiere al muro de guarda, que con frecuencia se designa con el nombre de parapeto, conviene que sea hecho de concreto en sitio, formando tro-

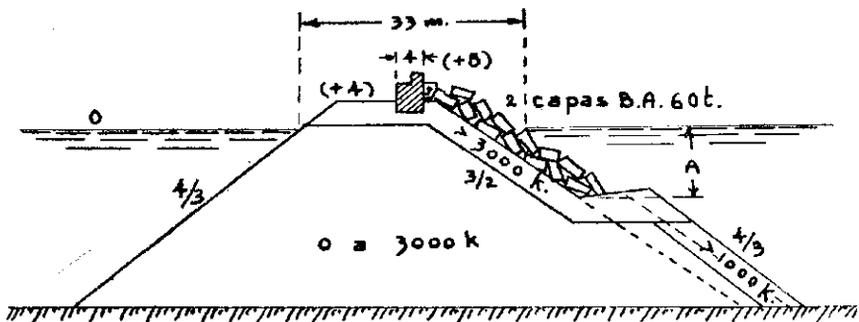


Fig. 15 - Perfil tipo Bône

profundidad del mar sea poco superior a 12 metros. En efecto, si la violencia del mar fuera tal que pareciera aconsejar llegar hasta el fondo con la defensa, seguramente el fondo sería socavado, provocando la penetración en él de los bloques; en este caso sería preferible ensan-

zos grandes de unos 20 o 25 metros de largo, cuyo peso alcance a unas 700 toneladas, pues de esa manera resistirá sin inconveniente el golpe de las grandes masas de agua que alcancen hasta él, animadas de velocidades enormes. La disposición adoptada en San Antonio y

en Constitución, que consiste en formar el parapeto con bloques artificiales superpuestos es, a mi juicio, muy defectuosa, porque es muy fácil que un golpe de ola mueva un bloque y forme una brecha, que pueda dar origen a perjuicios de importancia. En San Antonio hubo bloques romovidos durante la construcción de la obra, y si no ha habido que lamentar un accidente después, ello se debe casi seguramente al embancamiento que se ha producido a lo largo del molo, de que he hecho mención antes.

El hueco que queda entre el muro de guarda y los bloques de la defensa debe llenarse con un prisma de concreto

molo Galliera de Génova, fig. 16, que está formado por un núcleo de piedras de 3 a 100 Kls. limitado a la cota (-6.00) cubierto por un maciso de enrocados de 500 a 5.000 kls. y protegido por una capa de enrocados de 2 a 30 toneladas por el lado interior y 2,5 a 70 toneladas por la parte exterior. Sobre la plataforma de esta última capa de enrocados, a la cota (-6.00) se afirma la defensa de bloques artificiales de 35 a 40 toneladas de peso, dispuestos ordenadamente. Esta defensa llega hasta la cota (+3.70) con un talud exterior un poco más parado que 1/1; a 10 m. de la parte interior de la capa superior de bloques se encuentra el muro de guarda

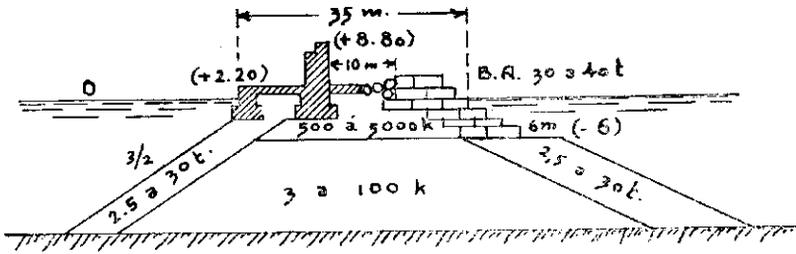


fig. 16- Génova (molo Galliera)

en sitio, hecho por trozos relativamente cortos, tal vez no más largos de 10 metros, pues dada la irregularidad de su forma, probablemente se ocasionaría la ruptura de los trozos de concreto en sitio, si fueran más largos. Sólo en caso que eso fuera materialmente imposible, por la agitación permanente del mar, se puede aceptar el rellenar los huecos más grandes con bloques pequeños o enrocados de peso excepcional.

Más atrás hemos dicho que en ocasiones se ha formado la defensa de bloques, colocándolos de una manera metódica, de modo que formen una verdadera gradería, cuya inclinación pueda ser mayor o menor que el talud natural de los bloques pélemèle. La obra clásica de este tipo es el

delante y detrás del cual una plataforma de concreto en sitio protege los enrocados. El espacio comprendido entre este muro y los bloques artificiales de la defensa se cubrió con grandes piedras, cuyo peso unitario alcanza a 70 toneladas. La idea fundamental de esta obra era obtener una mayor resistencia de los bloques de defensa, colocándolos arrimados, de manera que no dejaran grandes huecos por los cuales pudiera penetrar la agitación a los enrocados y obtener mayor seguridad contra el desplazamiento individual de los bloques, pues cada uno está cargado por los que se encuentran encima. El resultado de la aplicación de esta idea en la forma primitiva en que la obra fué construída, no correspondió a las esperanzas

cifradas en ella; una violenta tempestad destruyó en gran parte la defensa de bloques y rompió el muro de guarda. Los desperfectos se repararon, modificando la obra como indica la fig. 17, con lo cual se corrigieron sus defectos, derivados de que el muro de guarda estaba demasiado expuesto al golpe de las olas y de que la

formas derivadas de las obras de Marsella y Bône y en consecuencia debe dárseles la preferencia.

Un detalle acerca del cual conviene llamar la atención es que en algunos casos, como en la prolongación del molo de Orán, la plataforma de asiento de los bloques de la defensa se ha dejado lige-

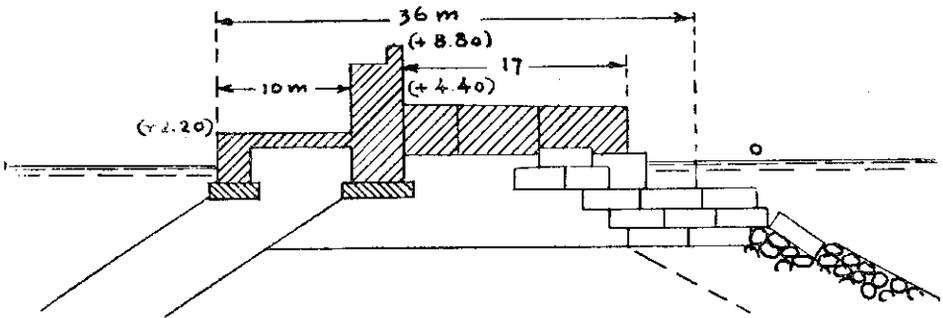


Fig. 17.

parte superior de la defensa de bloques, que es la más atacada por el mar, era la menos protegida, puesto que no tenía bloques que la sobrecargara y los que la formaban eran pequeños.

En Italia se han hecho numerosas aplicaciones de estas ideas, con resultados bastante variables, habiéndose observado siempre que los asentamientos de las obras de enrocados hacen perder la regularidad del arrimo de los bloques y, por consiguiente, una de las ventajas que se pensaba obtener. A mi juicio, es más segura la disposición de la defensa en las

ramente inclinada hacia el interior, 1/10; esa inclinación tiene por objeto provocar en los bloques una tendencia a no separarse del maciso de enrocados, si están colocados más o menos arrimados en capas. Parece que en todo caso es conveniente adoptar esa disposición, porque, si se produce una socavación al pie del rompeolas, lo que es frecuente en caso de fondo arenoso, el descenso de los enrocados no será capaz de inclinar esa plataforma hacia afuera, como puede suceder de otra manera.