

UNA COMPROBACION DE LA UTILIDAD DE LOS PLANOS DE OLEAJE EN EL PROYECTO DE OBRAS PARA LA REGENERACION DE PLAYAS

Por AURELIO GONZÁLEZ ISLA, Ingeniero de Caminos.

Se presenta en este trabajo la aplicación concreta, a un determinado puerto, de los métodos de Iribarren, que tuvimos el honor de dar a conocer en su día en nuestra REVISTA, y se comprueba cómo una vez terminadas las obras se comportan con arreglo a las previsiones deducidas de los planos de oleaje.

Es quizá uno de los problemas más delicados de la Ingeniería marítima, el proyecto acertado de obras conducentes a la formación o regeneración de playas.

Sobre este tema se ha escrito bastante y extensamente se ha discutido sobre él en varios Congresos de Navegación; pero es preciso reconocer que tanto las conclusiones obtenidas por éstos como las recomendaciones de los tratados clásicos de Ingeniería portuaria se han limitado a consideraciones de carácter muy general, y salvo la conocidísima regla de que deben proyectarse espigones separados de vez a vez y media su longitud, se acaba proclamando que lo que procede es estudiar con detalle las características particulares de cada problema que se plantee.

El método de trazado de los planos de oleaje, debido a nuestro ilustre compañero Sr. Iribarren, permite, en muchos casos, realizar este estudio particular con arreglo a bases concretas y determinadas y ayudar a proyectar las obras necesarias.

Sin tratar de realizar un estudio teórico del problema de movimientos de arena, el cual tan brillantemente ha iniciado Iribarren en esta misma REVISTA, describiré aquí simplemente un caso en que fué estudiada ya hace varios años una obra de este tipo con arreglo a estos métodos, y cómo una vez construída se ha comprobado la exactitud de las previsiones deducidas del estudio teórico hecho sobre los planos de oleaje.

En San Pol de Mar, pueblo situado a unos 40 kilómetros de Barcelona, al NE., había desaparecido totalmente la playa en la cual varaban los pescadores sus embarcaciones, y debido a ello, éstas, al ser retiradas de la mar, tenían que situarse inmediatas a la vía férrea, y durante los temporales y aun marejadas de poca importancia, sobre ella, a causa del poco espacio disponible.

Ante esta situación insostenible, se planteó la necesidad de ejecutar alguna obra que provocase la regeneración de la playa de varada.

En este litoral, la inmensa mayoría de los días son de bonanza absoluta. Los temporales dominantes, muy fuertes, son con rumbo NE. y Levante en alta mar, y se producen periódicamente y épocas que se conocen muy aproximadamente, tres o cuatro veces al año, con duración máxima de tres días cada temporal.

Los temporales y marejadas reinantes son de rumbo SW. a SE., de pequeña intensidad, pero duración muy dilatada, que se extiende a toda la época estival.

Se trazaron los planos de oleaje a gran escala, es decir, desde alta mar a las proximidades de la obra. Estos planos los denominamos planos de oleaje de aproximación. De ellos dedujimos las características de la ola, que llega a las proximidades de las obras, a la que llamamos ola de abordaje; esto, naturalmente, se repitió para los temporales característicos descritos, es decir, con rumbos E. y S. 22 W. en alta mar.

La obra cuya eficacia se trataba de comprobar, era un espigón con arreglo a la planta que se aprecia en los planos que reproducimos. Para esta planta se trazaron los planos de oleaje de detalle, que llamamos portulanos de oleaje, siguiendo la denominación marinera, en los cuales se parte de la ola de abordaje, cuyas características ya se habían determinado mediante los planos de aproximación.

Como aquí se trata únicamente de hacer patente el resultado práctico obtenido con la obra, no detallo el cálculo de estos planos, que, por otra parte, nada de particular ofrece.

Del examen de los portulanos obtenidos, que reproducimos, se dedujeron las siguientes conclusiones:

La línea límite de expansión para el temporal de Levante aborda a la costa en el punto A, y para este temporal queda una zona completamente abrigada: a Levante, de la línea límite de agitación, y a Poniente, de la obra.

Sabido es que durante el período de máxima intensidad de un temporal, en general las playas retroceden como consecuencia de la gran ola de retorno

submarina, que saca arena de la costa y la deposita en una barra cercana a tierra, en donde tal ola pierde intensidad y se produce la sedimentación. Siendo esta barra inestable, las marejadas de menor intensidad que se producen cuando ya van a menos los temporales, transportan de nuevo parte de sus productos a la costa y llevan otros a los grandes fondos. Debido a este mecanismo, en general los temporales muy violentos hacen retroceder las playas durante su máxima intensidad, y cuando van finalizando, depositan de nuevo alguna arena en la costa.

Volviendo de nuevo al examen del portulano de Levante, vemos que en el punto *A* se originará, pasado el máximo del temporal, una doble corriente litoral hacia Poniente, ocasionada por la parte de oleaje que no ha sido interferido por la obra, y hacia Levante, a causa de la mayor altura de ola y mayor sobrelevación que hay en la línea límite de expansión que en la zona situada a su derecha,

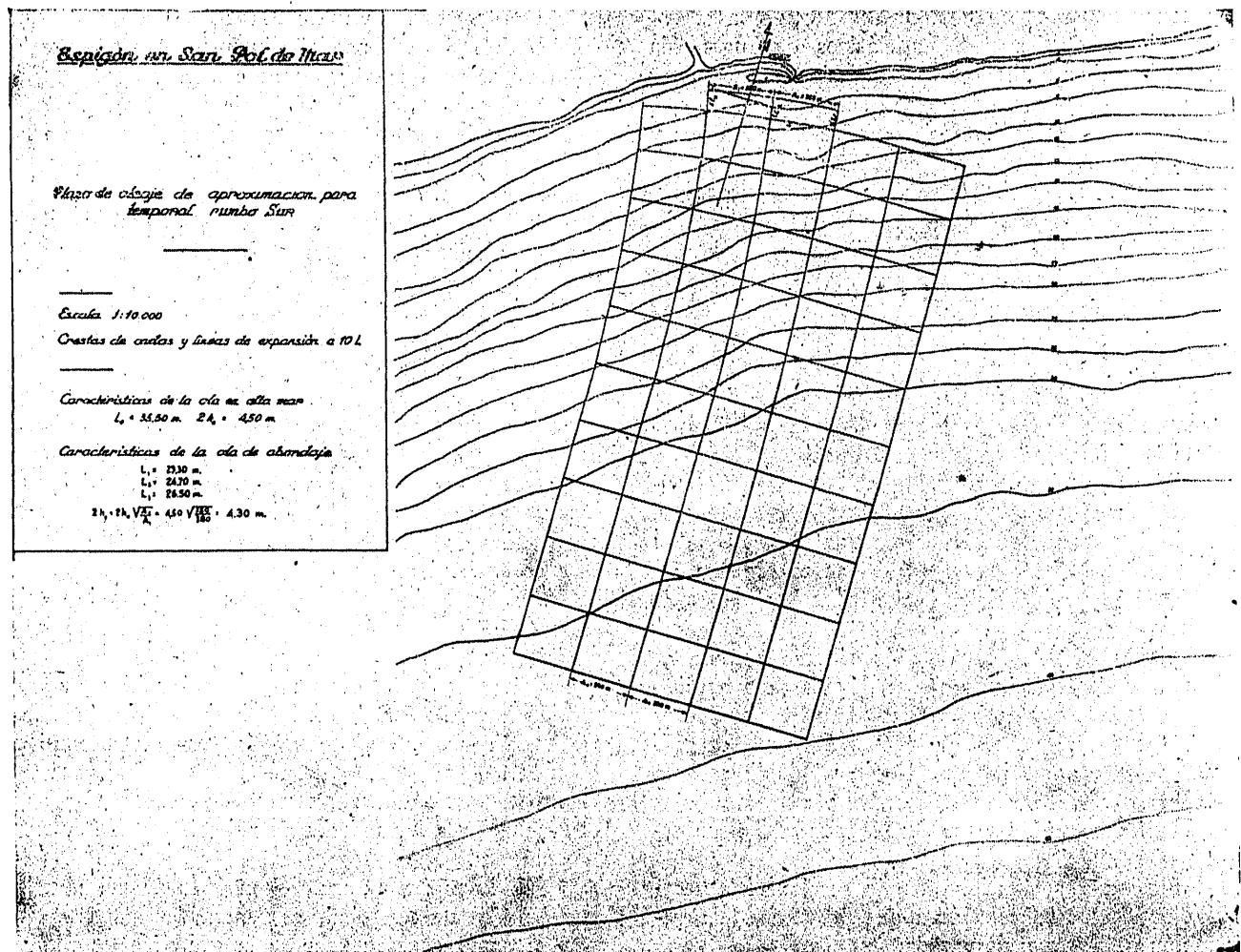
Durante el período de máxima intensidad del temporal, la primera de estas corrientes será de muchísima más importancia que la segunda, y ésta, además, quedará contrarrestada en parte por los remolinos secundarios y masas de agua que saltan por encima de la obra, y que, aun siendo rociones, tienen importancia relativa en un espejo de agua tan reducido.

Como resultado del examen del portulano de Levante se dedujeron las dos conclusiones fundamentales siguientes:

1.^a Se producirá un punto de ataque o retroceso de la playa en las proximidades de *A*.

2.^a Se mantendrán eventuales depósitos de arena que puedan formarse a Poniente de la obra.

Examinemos ahora el portulano para S. 22 W. De este plano se deduce que las marejadas y corrientes ocasionadas por el régimen veraniego de reinantes, tendrá libre acceso hasta la obra por la parte de

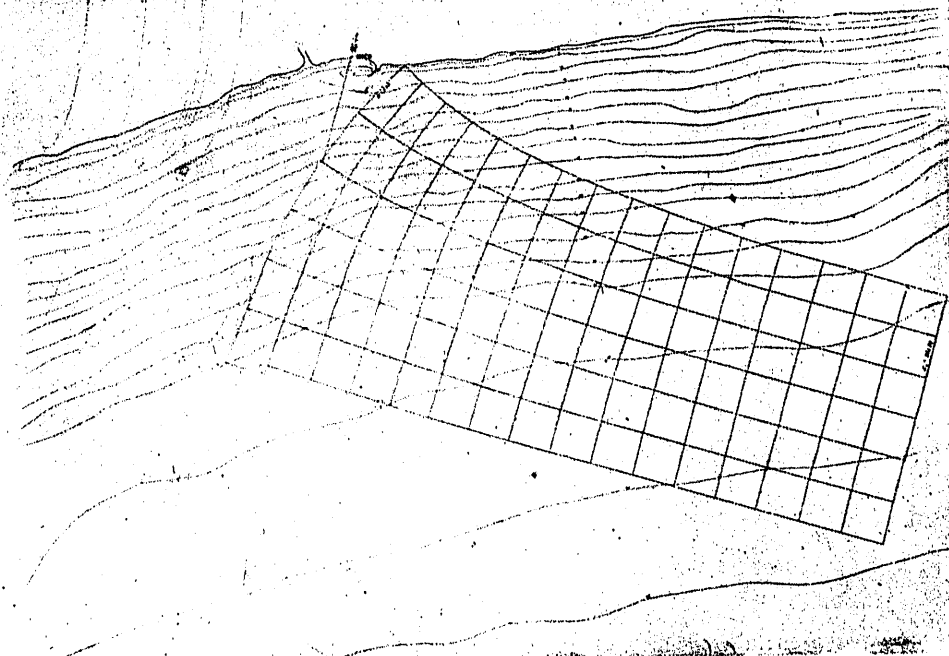


Espejo en San Pol de Mar

Plano de espejo de observación
para altura del punto 5.00 m

Escala 1/1000
Cotas y rasos de terreno a la distancia de 2
centímetros de 100 m. cada uno
20 m. cada uno

Altura de la onda que abarca la obra
11.20 m. (11.20 m. + 0.20 m.)
11.40 m.



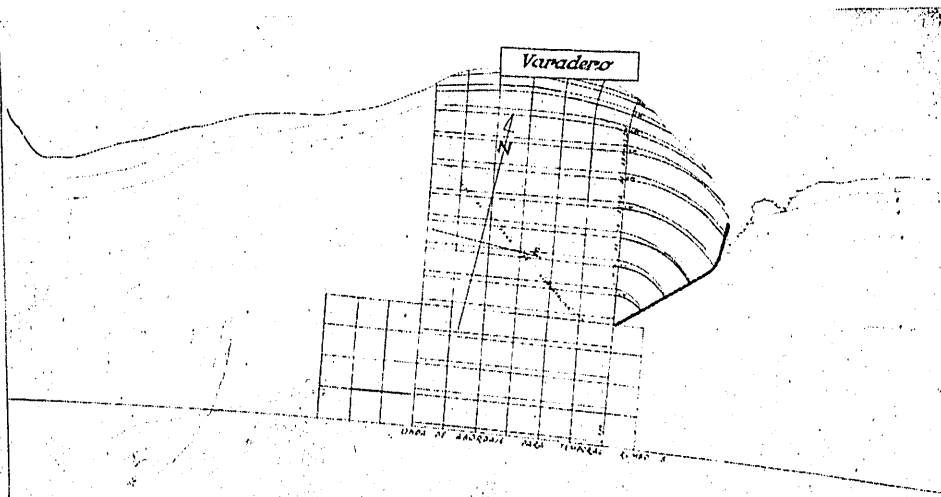
Espejo en San Pol de Mar

Portulaco de espejo para
observar punto Sur.

Escala 1/1000

Cotas y rasos de ondas y líneas de espesor
a distancia 1

Altura de la onda que abarca la obra 4.30 m.
(altura de onda) (altura de onda) (altura de onda)
Igual de altura 1.37



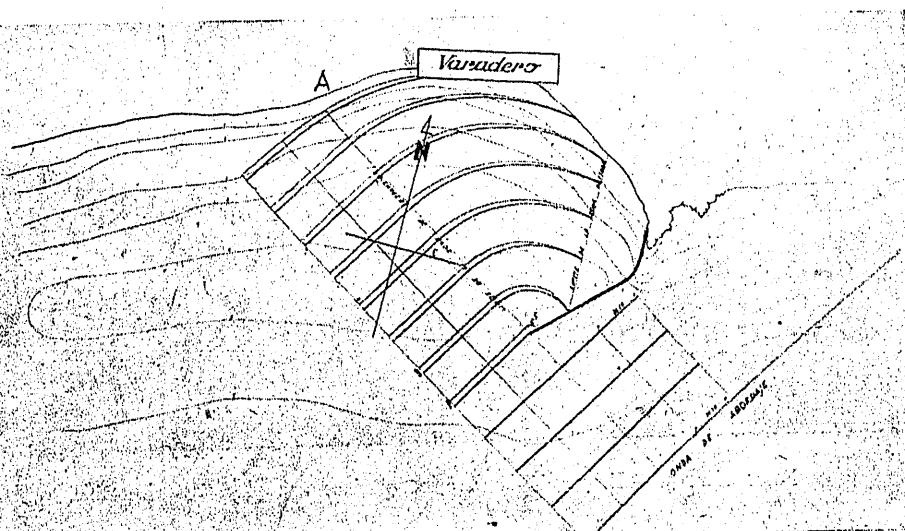
Espejo en San Pol de Mar

Portulaco de espejo para
observar punto Sur.

Escala 1/1000

Cotas y rasos de ondas y líneas de espesor
a distancia 1

Altura de la onda que abarca la obra
11.20 m. (11.20 m. + 0.20 m.)
11.40 m.



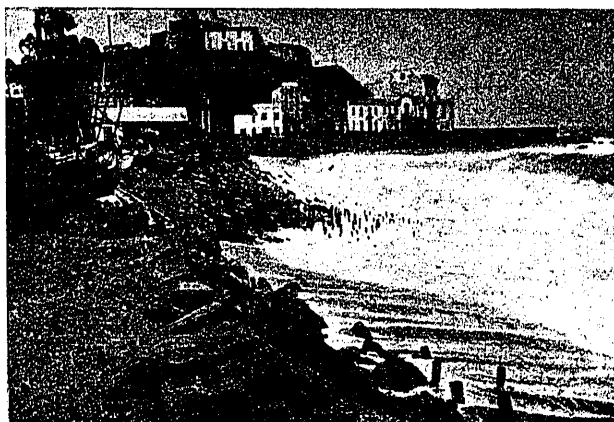


Foto. núm. 1.—Estado de la playa al tiempo de iniciarse las obras.



Foto núm. 2.—Estado de la playa al tiempo de iniciarse las obras.

Poniente, y, por lo tanto, se formará un depósito de arena o playa en tal punto.

Como consecuencia, pues, del estudio teórico de los planos de oleaje, pudimos deducir que la obra, en la forma proyectada, lograría la formación de una playa a Poniente de la obra, la cual se mantendría en gran parte a través de temporales de todo rumbo.

Estimados estos razonamientos por la Superioridad, se autorizó la construcción del espigón con arreglo a la planta que se había estudiado.

Las obras comenzaron en mayo de 1945. En el

momento de iniciarse, la situación de la playa era la representada en las fotografías núms. 1 y 2.

Desde el comienzo de las obras se advirtió cómo éstas respondían exactamente a las previsiones hechas. Por ejemplo, cuando sólo se llevaba la primera alineación, con las marejadas del S. y SW. se formaba la playa que representa la fotografía núm. 3, pero desaparecía con los Levantes.

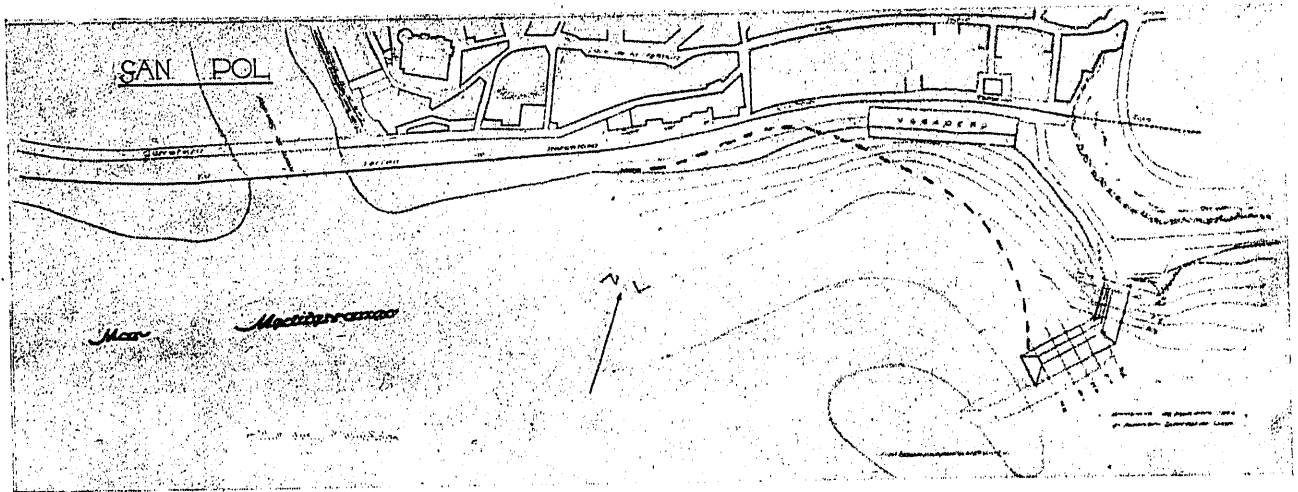
En el día de hoy, la planta de la obra es la representada en el croquis núm. 1. La playa aumenta con los Sures y disminuye con los Levantes, pero siempre se mantiene. Las fotografías núms. 4, 5 y 6, tomada la última después de los grandes temporales de este invierno, demuestran cómo se mantiene una playa exactamente como se había previsto y cómo se ha originado un retroceso en el punto A a que nos referimos al estudiar el portulano de Levante.

* * *



Foto. núm. 3.—Empezada la obra, se produce una playa aun inestable.

La exactitud realmente notable con que se ha podido prever en este caso el comportamiento de la obra, permite comprobar cómo, a nuestro modesto juicio, tienen los planos del oleaje un interesantísimo campo de aplicación para el proyecto de obras de defensa marítima.



Croquis núm. 1.—Planta actual de la obra, en la que aparece, representada de puntos, la forma de la playa estable conseguida.

Debo hacer notar que el trazado en planta de esta obra, que se comprobó, como queda dicho, por medio de los planos de oleaje en 1942, fué diseñado mucho antes por el ilustre Ingeniero D. José M. de Jáuregui, a quien tanto debemos muchos Ingenieros del Servicio de Puertos en la especialización de que es eminente maestro. Para quien como él atesora la experiencia y estudio de largos años en esta costa, son ociosos los tanteos de la índole de los que hemos reseñado, pero creemos, sin embargo, que, en general, pueden ser de notable utilidad para comprobar las soluciones que se tanteen.

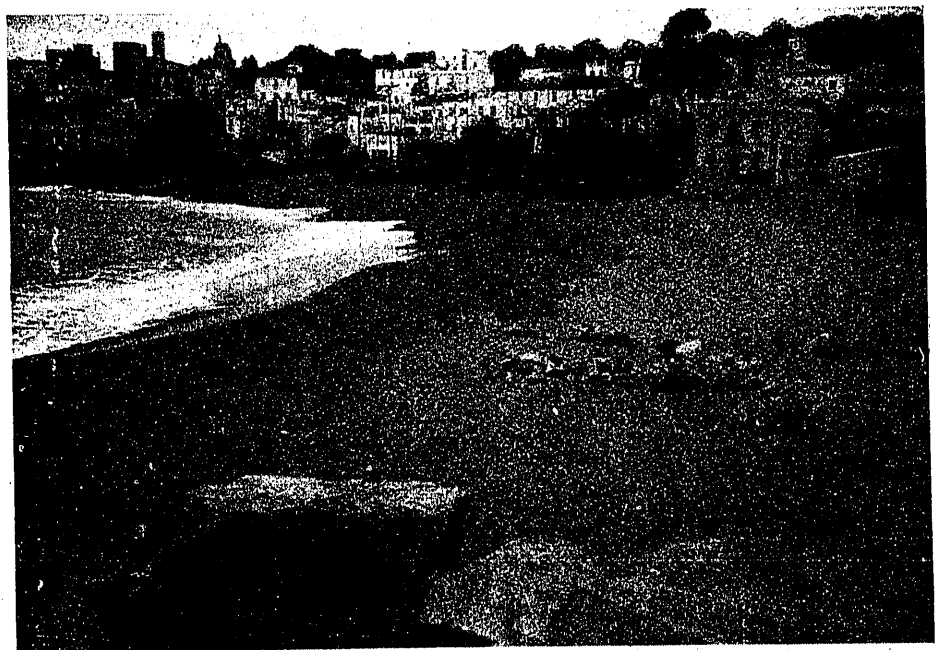
Comprobación de la fórmula de cálculo de escolleras de Iribarren.

En esta obra tuvimos también ocasión de comprobar la fórmula de Iribarren para el cálculo de diques de escollera.

Debido a que la sección de la obra, representada en el croquis núm. 2, no permitía el empleo de grúa en el vertido, por su escasa anchura de coronación, y que, además, el escaso presupuesto no admitía el empleo de medios auxiliares importantes, se ha ejecutado la obra vertiendo con camiones y zorrillas los

mantos de primera categoría, con su talud natural de vertido, y dando los sobreanchos necesarios en la coronación para que, por efecto de los temporales, tomase la sección su propio talud de estabilidad.

En el proyecto se supuso se emplearía piedra de densidad 2,629, y la sección calculada era la que se ha representado, con mantos de escollera de 4 000 kilogramos de peso mínimo y talud de $2,5 \times 1$, o sea 21° , que era el resultante de aplicar la fórmula de Iribarren.



Foto, núm. 4.—Playa actual.

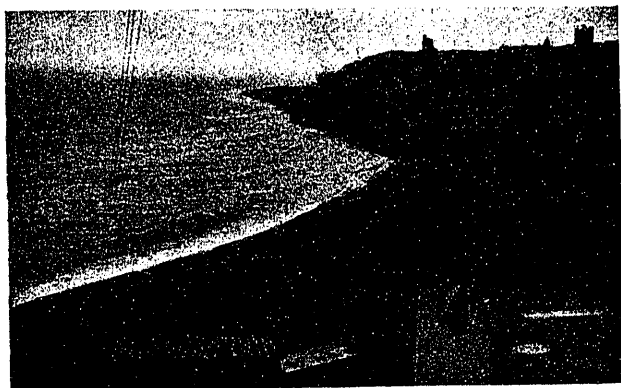


Foto. núm. 5.—Playa actual. En esta fotografía se ve el punto de ataque ocasionado por la formación de esta playa.

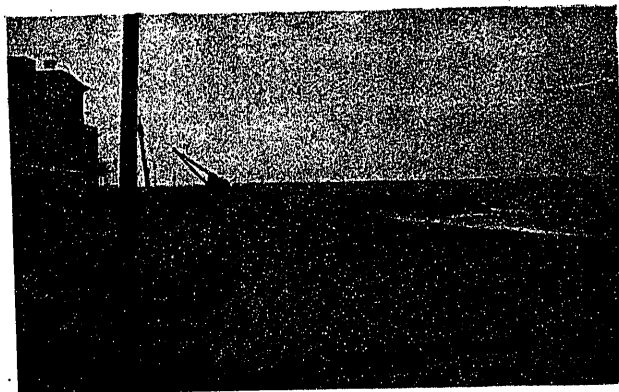


Foto. núm. 6.—Playa actual, después de un temporal de Levante. Se observa cómo se mantiene la playa formada.

Como decimos, se construyó primeramente la obra dando el talud natural. El peso medio de las escolleras vertidas en el manto ha sido, según las hojas de báscula, de 4,40 toneladas, y la piedra empleada, después de verificados ensayos, ha resultado tener una densidad media igual a 2,700 Ton./m.³.

Los temporales de Levante y NE. habidos desde el comienzo de las obras, han sido de los más fuertes que se recuerdan en estas costas, especialmente el de 25 de enero de 1947.

La altura durante ellos no es fácil de medir, pero teniendo en cuenta que el número de olas que llega a la costa es el mismo que las que hay en alta mar, se ha cronometrado el período medio de un ciclo de veinte olas, que ha llegado a ser de 13 segundos en dicho temporal, y entonces, por la fórmula conocida de la teoría trocoidal:

$$T = \sqrt{\frac{\pi}{g} L},$$

resultaría que la semilongitud media de ola en alta mar sería de 52,70 m., cifra muy parecida a la de 58,75 m. tomada para el cálculo del plano de oleaje.

Siguiendo con los datos de éstos, que parecen, pues, bastante comprobados, la ola que ataca la obra sería de 4,40 m., y el talud según la dirección de ataque, según Iribarren, se deduce de:

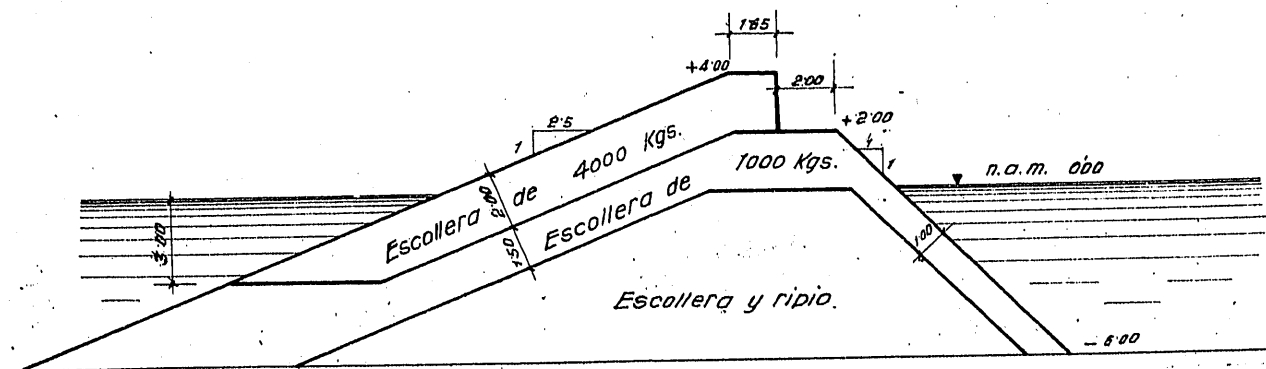
$$4,400 = \frac{15 \times 4,40^3 \times 2,7}{(\cos a - \sin a)^3 \times 1,7^3};$$

de donde $a = 22^\circ 30'$.

Como la ola de abordaje, también siempre sobre el plano, ataca la obra bajo un ángulo de 13° , tanto la primera como la segunda alineación, el talud, según la sección recta, debería ser tal que:

$$\operatorname{tg} a = \frac{\operatorname{tg} 22^\circ 30'}{\cos 13^\circ} \quad a = 23^\circ.$$

Esto, según la teoría estricta. Pues bien: después de sufrir la obra estos temporales, que han hecho tomar a la escollera su talud natural, partiendo del más rígido de vertido, se ha medido el talud en varios puntos y ha resultado muy constante, variando de 21° a 24° . La concordancia extraordinaria de este resultado



Croquis núm. 2.—Sección inicial del espigón.

con los obtenidos teóricamente es tan grande, que no necesita comentarios.

Únicamente cabe decir que el peso medio de las escolleras de primera categoría ha sido 4,4 toneladas en báscula, pero que en el vertido se rompen algunas, de suerte que quedan en los mantos algunos elementos de menor peso, lo cual explica, a nuestro juicio, que en aquellos puntos el talud resulta algo más tendido después de los temporales.

Modificaciones en la sección hechas durante la construcción.

Durante la construcción se evidenciaron algunas pequeñas deficiencias de la sección tipo representado, que se mejoraron al realizarse la obra.

La anchura de coronación resultó insuficiente. En efecto: en la proyectada no cabe más que un solo canto, si éste ha de ser de 4 000 kilogramos o mayor. Es sabido que en una escollera, ya sea natural o artificial, nunca se puede asegurar que un elemento determinado, por grande que sea su peso, no sea removido por un golpe de mar. Personalmente he podido apreciar grandes desplazamientos en bloques de 80 toneladas a 14 m. de calado, en condiciones en que teóricamente nunca pudieron haberse removido. Así, pues, puede fallar en un punto determinado la coronación, y entonces la mar entra por el boquete, lo ensancha y destruye fácilmente la superestructura.

Dedujimos, pues, en general, una debilidad de la superestructura, en el sentido de falta de tizón. Se reforzó dándole una anchura de 6,00 m. y así quedó asegurada su estabilidad de conjunto.

Esta falta de anchura de coronación también representaba un inconveniente constructivo, pues ni por la banqueta superior ni por la inferior podían pasar

camiones ni instalarse una grúa de vertido de la potencia necesaria.

También se apreció, en una obra de este tipo, la inutilidad de la forma clásica de dique, con banqueta y espaldón, pues en un modesto espigón como el que construimos no es posible utilizar la banqueta baja como muelle, pues queda aconchada de arenas y en todo caso, un muelle adosado habría de ser de menor altura.

Por último, como la obra se desarrolla en poco calado, la proporción de escolleras siendo las segundas de 1 000 kilogramos, resultó desfavorable para la extracción en cantera, y por ello creemos que si obras de este tipo no se pueden combinar con otras en que tengan amplio empleo los menudos y escolleras ligeras, es conveniente reducir todo lo posible el peso de las escolleras de los mantos intermedios y admitir ripios sin límite inferior en el núcleo.

De esta forma, además, el conjunto de la obra gana en compacidad para oponerse al tránsito de arenas a su través, que si son de grano fino puede llegar a ser importante.

Nos hemos permitido señalar estas pequeñas vicisitudes de construcción por cuanto puedan evitar, dentro de su modestia, la presentación de análogos inconvenientes en otras obras parecidas.

Los grandes diques, de importante presupuesto, son cuidadosamente estudiados hasta en sus menores detalles; pero en ocasiones, estas obras pequeñas presentan, en los momentos actuales, dificultades de realización proporcionalmente mayores, sobre todo por la imposibilidad, dados sus pequeños presupuestos, de montar elementos auxiliares adecuados y de importancia.

La previsión de este hecho cierto al concebir su proyecto, puede facilitar después muchísimo la construcción.