

# LOS PUERTOS MEDITERRANEOS ANDALUCES Y LAS OBRAS PARA IMPEDIR SUS ATERRAMIENTOS

Por VICENTE LAPORTA PEREZ,  
Ingeniero Director del Grupo de Puertos de Málaga,  
Granada y Almería.

*Da cuenta el autor de los trabajos realizados, especialmente en los puertos de Adra y Estepona, y del comportamiento de las pantallas construidas, que concuerdan con lo previsto en los estudios realizados, que describe en el presente artículo, destacando la importancia de los planos de oleaje ideados por el Prof. Iribarren.*

La principal dificultad de todos los puertos del Mediterráneo andaluz, contra la cual hemos tenido que luchar al proyectar las obras de los pequeños puertos pesqueros, ha sido la de los aterramientos.

En otros tiempos el problema parecía de tan difícil solución que tuvieron que abandonarse algunas obras, tal sucedió con el puerto de Fuengirola y con el puerto de Torre del Mar, en la provincia de Málaga.

Hoy día, aunque el problema sigue siendo complicado por el gran número de fenómenos naturales que pueden influir en los resultados previstos, sin embargo, gracias a los "planos de oleaje" ideados por el Prof. Iribarren, cuyo prestigio es hoy reconocido por todos, con la experiencia que con la aplicación de su sistema hemos adquirido de algunos años a esta parte y la observación constante de los efectos que producen las olas al romper, hemos podido obtener soluciones que afortunadamente van dando felices resultados.

En algunos puertos, como por ejemplo, el de Adra, en la provincia de Almería, revestía el fenómeno de los aterramientos caracteres de verdadera catástrofe, pues la invasión en el interior de la dársena, no ya de arenas, sino de gravas de tamaños de más de 10 centímetros en alguna de sus dimensiones y en cantidades de miles de metros cúbicos diarios, hacía en ocasiones completamente imposible la entrada y salida de los barcos, llegando, en el año 1953, a formarse un playón que se extendía por toda la boca y permitía al público pasear por encima, pudiendo ir desde el morro del dique de poniente al de levante sin pisar agua. El puerto se había convertido en un verdadero lago, en donde quedaban aprisionados todos los barcos que habían tenido la mala fortuna de tomar puerto visperas del temporal que produjo tan importantes aterramientos.

Efectuado un dragado en gran escala, al mismo tiempo que se construía rápidamente el dique pantalla en el extremo del de poniente, se pudo, en me-



Foto 1.ª — Adra: Pantalla en construcción. Se ha proyectado un espaldón a la altura del dique de 6,40 m., para evitar salten por encima las arenas. También está proyectado un refuerzo del morro con bloques de hormigón en masa de 9 Tn.

nos de un año, conjurar el conflicto, con tan buenos resultados, que desde aquella fecha ya no ha sido preciso efectuar ningún dragado, pues no ha habido el menor aterramiento.

El puerto de Estepona, de la provincia de Málaga, también con gran frecuencia se cerraba, pues casi todos los años se formaba una barra que disminuía los calados de la bocana hasta menos de un metro y precisaba efectuar dragados urgentes para, por lo

trocede cuando soplan los tormentosos o cuando el temporal gira hacia el Sur.

Estos alentadores resultados que se van obteniendo con la construcción de diques de escollera, destinados a impedir el avance de las arenas o gravas en una determinada dirección y que denominamos "pantallas", son debidos, en primer lugar, a la obtención con bastante exactitud, mediante los "planos de oleaje de detalle" de la dirección en que avanza la ola de



Foto 2.ª -- Estepona: Tercera alineación del dique de Levante, en construcción. Posición de la playa después de un fuerte temporal de Levante.

menos, abrir paso a los pesqueros a través de dicha barra, y con bastante frecuencia también para devolver a los muelles su calado normal, pues las arenas restantes de la barra penetraban en el interior del puerto en cuanto soplaban los ponientes denominados "vendavales".

Hoy día está muy avanzada la construcción de la tercera alineación del dique de Levante, que actúa como pantalla contra la marcha de las arenas, que en dirección de Este a Oeste, caminan a lo largo del manto exterior del dique y formaban al final la barra.

Desde que se empezó la obra, en 1954, hasta la fecha, no solamente no se ha formado la barra, sino que con temporales de Levante fuertes, que antes arrastraban las arenas, ha retrocedido hacia Levante la playa que se extendía a lo largo de la segunda alineación.

Cuando soplan los Levantes flojos (reinantes), avanza la playa hacia el vértice, pero nuevamente re-

abordaje sobre la obra que se proyecta, y en segundo lugar, al estudio no solamente de los calados necesarios, sino también de la conveniente orientación de la pantalla, la cual debe obligar a las olas al romper, a efectuar un barrido de las arenas en sentido contrario al que caminan para aterrizar al puerto.

Existía hace algunos años la creencia de que en los aterramientos de los puertos influían grandemente las corrientes litorales, corrientes de mareas y otras causas, pero, en nuestros puertos por lo menos, donde la carrera de marea es despreciable y la velocidad de las corrientes litorales muy pequeña, hemos podido, poco a poco, ir prescindiendo de estas causas secundarias para el movimiento de las arenas y considerar finalmente como primordiales y únicas a tener en consideración: 1.º, la diferencia de altura de la ola; 2.º, los efectos de la ola al romper sobre la playa y al romper sobre los diques.

El efecto de la diferencia de la altura de la ola

está estudiado admirablemente por el Sr. Iribarren en su artículo del núm. 2.785 de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, al tratar del movimiento de las arenas en el puerto de Fuenterrabía, de la provincia de Guipúzcoa. De este estudio se deduce que existe un movimiento de arenas de bastante intensidad a lo largo de la onda y en el sentido de la mayor a la menor altura, producido por la corriente que se denomina "no oscilante transversal".

Este efecto de la diferencia de la altura de la ola nos sirvió en Marbella (Málaga) para justificar la solución propuesta en el último reformado.

En los casos objeto de nuestro presente estudio tienen principal importancia los efectos de la ola después de romper, y vamos a señalar una serie de observaciones respecto de la acción que las olas ejercen sobre la costa en cuanto a los movimientos o transporte de arenas se refiere:

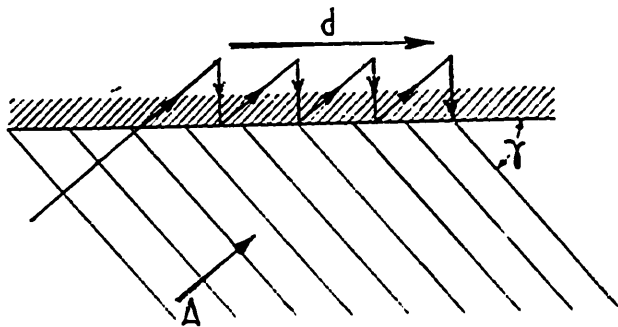


Figura 1.ª

1. Cuando las olas se propagan formando su dirección con la costa un ángulo agudo, la aspiración producida por el refluo es siempre perpendicular a la costa y se origina un movimiento en zigzag de los materiales móviles, materializado por la resultante  $d$  (figura 1.ª), habiéndose observado que la importancia de este transporte depende del ángulo que la cresta de la ola forma con la costa; aumenta al aumentar dicho ángulo  $\gamma$ .

2. Debido a las pérdidas de energía por rozamiento y otras causas, la energía de la ola rota que avanza y que remonta la playa, es mucho mayor que la de retroceso.

3. Hay partículas que sólo son movidas durante la parte más violenta del avance y retroceso; en mayor proporción durante el avance; y las mayores sólo durante esta fase, por lo cual quedan en la parte alta de la playa.

4. En las playas existe una línea, por encima de la cual alcanza dicha playa la máxima inclinación (figura 2.ª).

Pueden apreciarse en la playa dos partes independientes, la superior,  $BC$ , y la inferior,  $CD$ . El carácter de aquella depende de la altura de la ola y del tamaño de las arenas; el de la inferior, de la relación

entre estas dos magnitudes. La altura  $s$  de la parte superior es proporcional a la altura de la ola, y su ángulo  $a$  depende del tamaño del material.

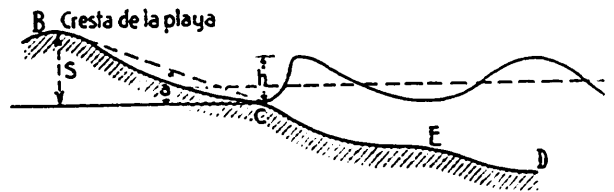


Figura 2.ª

Si el material es muy fino, la playa es más plana. Si el material es mayor, el ángulo  $a$  aumenta, y como la pérdida relativa por filtración no es constante, el perfil de la playa es curvo. En la cresta toda el agua desaparece por filtración y el ángulo  $a$  llega a valer el talud natural. El incremento de la inclinación depende, pues, del tamaño de los granos.

5. Cuando el perfil llega a estabilizarse, la pendiente de cada punto es la precisa para mantener el equilibrio de las arenas.

6. De aquí se deduce que es posible prever las características de una playa que formará un temporal con olas de una altura determinada, y recíprocamente, la altura de la playa formada por un temporal puede dar idea de las olas que la produjeron.

7. Se observa también que la línea de playa tiende a formarse, normalmente, a la dirección en que llega la ola, o lo que es lo mismo, que tiende a confundirse con la forma de la línea de onda que incide.

Sabemos que la ola rompe cuando la velocidad molecular llega a ser igual a su celeridad, transformándose en una vena o chorro líquido (pág. 215. *Tratado de Obras Marítimas*, de Iribarren).

La dirección de esta vena líquida que produce la ola al romper sobre el talud del dique pantalla, puede dividirse en dos componentes: una,  $OF'$ , según la línea de máxima pendiente de la pantalla, y otra,  $Of$ , horizontal (fig. 3.ª). Esta última es la que, cuan-

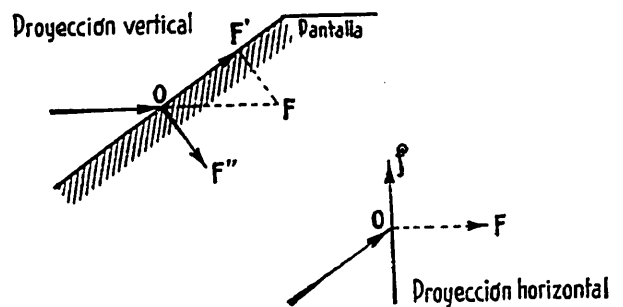


Figura 3.ª

do la ola llega a la playa en  $O$ , se opone al avance de las arenas (fig. 4.<sup>a</sup>).

El vector  $A$  mide la velocidad de la vena de agua al romper la ola y su dirección es la del avance de la ola de abordaje en el punto considerado. Si llamamos  $\omega$  el coeficiente de rozamiento del agua sobre la pantalla  $o'f' = \omega f$ , resultando  $o'f' < \omega f$ .

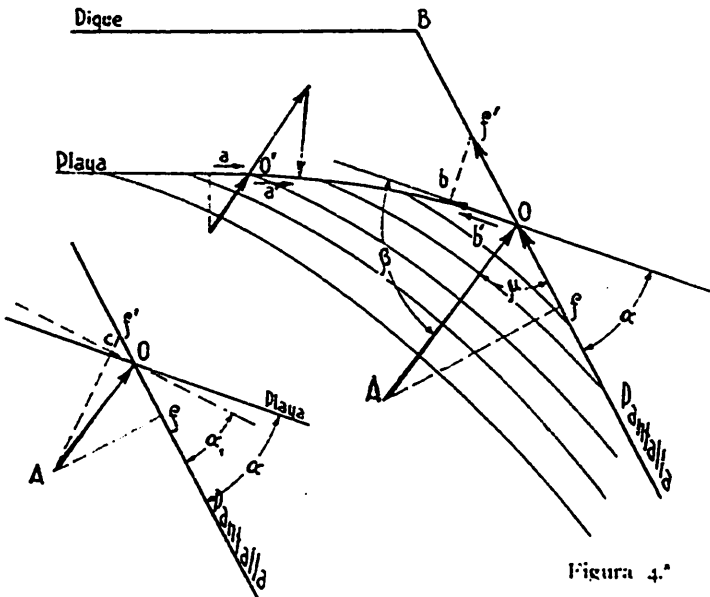


Figura 5.<sup>a</sup>

La  $a'$  proviene de la proyección de  $A$  sobre la costa. La  $b'$  proviene de la proyección de  $o'f'$  sobre la costa. Cuando, por causa del avance de las arenas, la playa se va rellenando, el ángulo  $\beta$  que forma la playa con el vector  $A$  va tendiendo a  $90^\circ$  (Observación 7), o sea que aumenta, y como, en cambio, el ángulo de la playa con la pantalla disminuye, resulta que  $a$  disminuye y  $b$  aumenta, tendiendo a igualarse. Cuando  $a = b$ , las arenas no avanzan, y en el punto  $O$ , si se verifica esto, se ha conseguido el equilibrio.

Se puede calcular gráficamente el ángulo  $\alpha_1$  que debe formar la playa en el punto  $O$  con la dirección de la pantalla, para el cual se verifique  $a = b$ . En efecto (fig. 5.<sup>a</sup>): trácese por  $O$  la dirección de la pantalla, tomemos  $O'f' = O'f$ ,  $\omega$  y unamos  $f'$  con el extremo  $A$  del vector velocidad. Trácese una perpendicular por  $O$  a la recta  $f'A$ ; esta perpendicular nos dará el ángulo  $\alpha_1$  con la pantalla. Como para esta dirección coinciden la proyección de  $AO$  y la de  $O'f'$  en  $Oc$ , y como estas proyecciones son precisamente  $a$  y  $b$ , respectivamente, resultará  $Oc = a = b$ , y lo mismo  $a' = b'$ , puesto que  $a' = a \cdot k$ ,  $b' = b \cdot k$ , siendo  $k$  un coeficiente que nos engloba el efecto del rozamiento de la arena en la playa y la acción de la gravedad.

Si se verifica  $\alpha_1 < \alpha$ , el punto de equilibrio estará más alejado del vértice  $B$  del ángulo que forma la

pantalla con el dique, y si se verifica  $\alpha_1 > \alpha$ , estará más próximo.

La construcción geométrica indicada para obtener  $\alpha$  es independiente del valor que tenga el vector  $A$  ( $A = \sqrt{g \cdot h}$ , pág. 201, T. O. M., Iribarren). Si tomamos un valor determinado para el vector, por

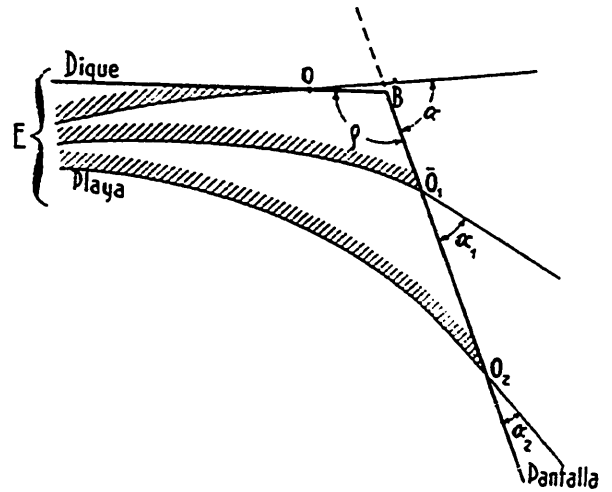


Figura 6.<sup>a</sup>

ejemplo,  $A_1$ , y efectuamos la construcción, y luego tomamos otro valor,  $A_2$ , y la repetimos, se obtiene la misma dirección  $\alpha$ , pues resultan figuras semejantes. Para el coeficiente  $\omega$  solemos tomar el valor 0,5, que parece nos da buen resultado, y seguiremos comprobándolo en la práctica.

Veamos ahora, para una orientación determinada de la pantalla respecto del dique, la forma que va adoptando la playa a medida que se modifica la dirección del avance de la ola de abordaje, si varía el temporal.

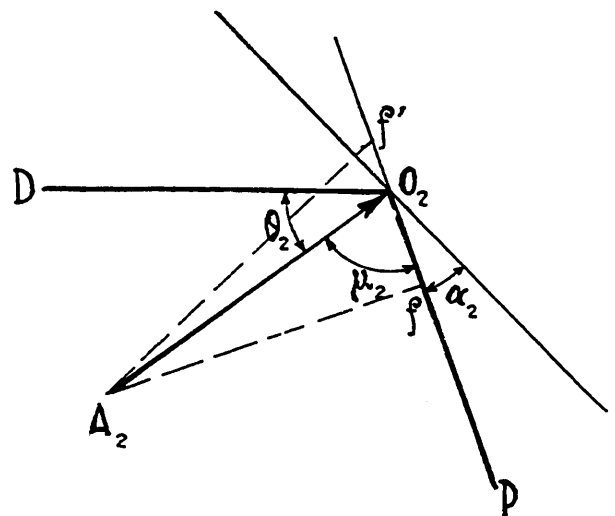


Figura 7.<sup>a</sup>

En la figura 6.<sup>a</sup> se ha supuesto que la pantalla forma con el dique un cierto ángulo  $\rho$  obtuso. Además, como hemos podido comprobar, todas las líneas de playa suelen pasar por un punto  $E$  bastante alejado, situado en la zona donde se inicia la erosión,

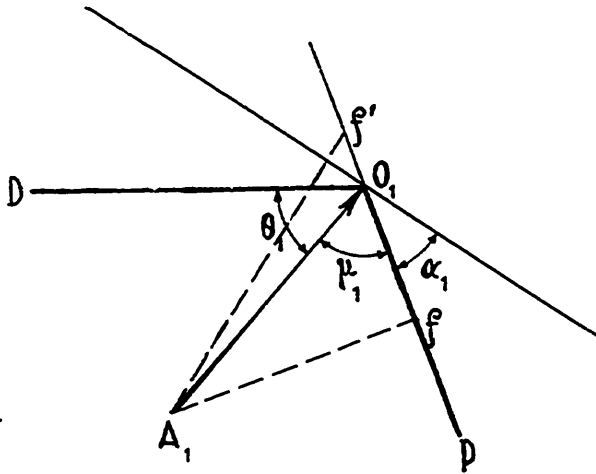


Figura 8.<sup>a</sup>

que sabemos se produce en la intersección con la costa de la línea que pasa por el morro y es paralela a la dirección del temporal que viene del otro lado de la pantalla.

En el punto  $E$  se produce la erosión porque las arenas (fig. 14), por una parte, tienden a avanzar en la dirección  $E m$  antes de romper la ola, y en el sentido de la menor altura de la onda, y por otra parte, tienden a marchar en la dirección  $E n$  después que la ola ha roto y según el mencionado movimiento

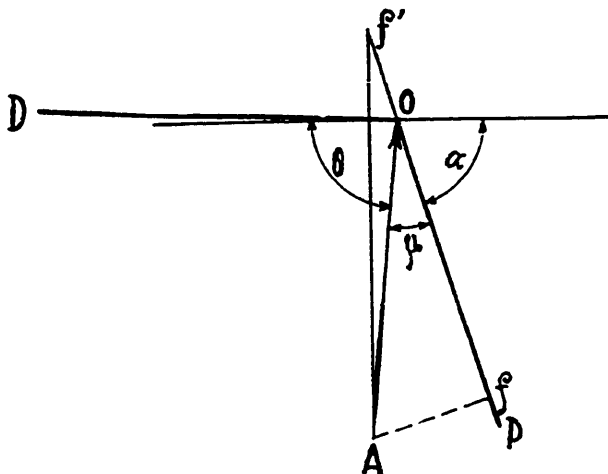


Figura 9.<sup>a</sup>

en diente de sierra. Como cada onda que va llegando a  $E$  produce el mismo efecto y no se repone la arena, se produce la erosión.

Pueden otros temporales de distinta dirección compensar esta erosión, y si esto no sucede, precisa proteger la costa contra esta erosión progresiva.

El vector  $O_2 A_2$  vemos por la construcción de la figura 7.<sup>a</sup> que nos produce el ángulo  $\alpha_2$ , y la forma de la playa será aproximadamente la dibujada en la figura 6.<sup>a</sup>.

El vector  $O_1 A_1$ , que forma un ángulo  $\theta_1$  que es mayor que el  $\theta_2$ , vemos por la construcción de la figura 8.<sup>a</sup> que nos produce el ángulo  $\alpha_1 > \alpha_2$ , por lo que la playa cortará a la pantalla en un punto más cerca del dique y tendrá la forma aproximada que se dibuja en la figura 6.<sup>a</sup>.

El vector  $O A$ , que forma un ángulo  $\theta$  con el dique todavía mayor que los anteriores  $\theta_1 \theta_2$ , nos produce un ángulo  $\alpha$  mayor que  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ , y por ello, el punto de encuentro  $O$  de la playa con el dique tiene que estar antes del vértice  $B$  del ángulo que forman las dos alineaciones de la pantalla y el dique. No es de interés ya estudiar un ángulo  $\theta$  mucho mayor que el considerado en la figura 9.<sup>a</sup>, puesto que desde el momento que  $\theta = 90^\circ$ , ya no habrá corriente de arenas en dirección al morro.

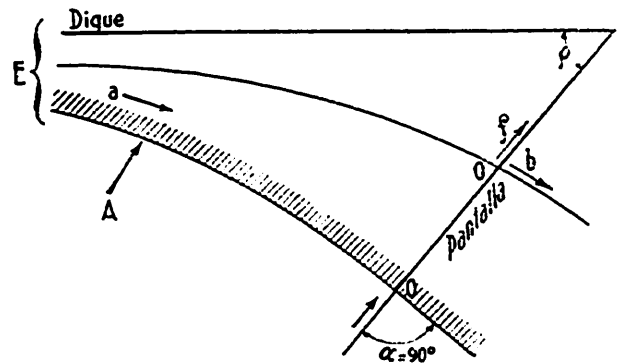


Figura 10.

Variemos ahora el ángulo  $\rho$  que forma la pantalla con el dique, y veamos lo que sucede.

En la figura 10, la dirección del vector  $A$  coincide con la de la pantalla, y en este caso la pantalla no produce ningún efecto de barrido en sentido contrario al movimiento de las arenas, pues aun siendo el vector  $of$  máximo, la proyección de  $O f$  sobre la playa no tiene sentido contrario al vector  $a$ .

Las arenas van rellenando el espacio entre el dique y la pantalla, hasta que la playa forma el ángulo  $\alpha = 90^\circ$  con la pantalla, y entonces cesa el avance de las arenas, ya que en el punto  $O$  se verifica  $a = b = 0$ . La longitud de la pantalla en este caso es mayor.

Cuando el ángulo  $\rho$  es tal que la pantalla llega a formar un ángulo de  $90^\circ$  con el vector  $O A$ , estamos en el caso de la figura 11 y se verifica, por ser  $O f = 0$ ,  $O f' = 0$ ,  $b = 0$  y  $a \neq 0$ , que las arenas

van rellenando el espacio comprendido entre el dique y la pantalla hasta sobrepasar el morro, y la pantalla no resulta eficaz.

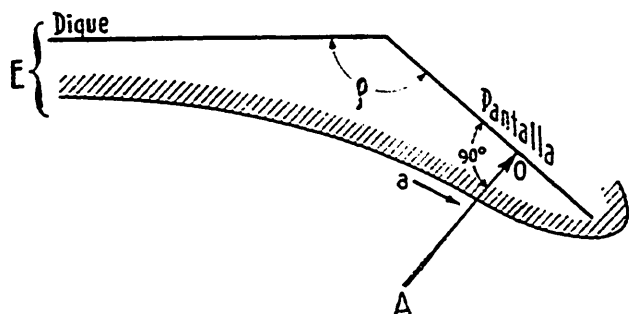


Figura 11.

En resumen: la pantalla debe formar con  $AO$ , dirección del avance de la ola de abordaje, un ángulo comprendido entre cero y  $90^\circ$ . Si forma el ángulo  $\mu = 0$ , resulta demasiada longitud, generalmente; si forma el ángulo  $\mu = 90^\circ$ , es ineficaz.

Como hemos dicho al principio, la finalidad de la pantalla es obligar a las olas, al romper, a efectuar un barrido en sentido contrario al que caminan las arenas para aterrizar el puerto y según la dirección que origina el temporal que nos produce  $A$ .

En vista de las consideraciones que anteceden, podemos, para un determinado temporal, escoger la dirección de la pantalla más conveniente; pero como precisa también procurar que la acción de otros temporales sea beneficiosa, o por lo menos no contraproducente, puede convenirnos modificar algo la orientación obtenida.

También con el mismo fin se puede construir una pantalla con más de una alineación.

Cuando se consigue que el avance de las arenas cese, éstas se van amontonando entre las dos alineaciones del dique y la pantalla. Las arenas producen en el ángulo de las dos alineaciones el perfil que se dibuja en la figura 2.<sup>a</sup>, y el movimiento de los granos de arena se verifica solamente según la línea de máxima pendiente de la playa, pero sin avanzar, sumergiéndose entonces hacia los grandes fondos.

Para calcular la altura  $s$  hasta donde puede subir la arena, existe un gráfico, obtenido después de muchas experiencias, el cual se dibuja en la figura 12 (*The Dock and Harbour Authority*, agosto 1942).

Supongamos que la altura de la ola es de  $2h = 4$  metros; resultará, por el gráfico,  $s = 6,60$  m., y la pantalla deberá tener esta altura, o mejor algo más, para que las arenas no salten por encima.

Si la ola rompe antes de llegar a la pantalla, es evidente que la corriente de agua que se dirige en la dirección  $O'$  (fig. 4.<sup>a</sup>), será menos intensa y hasta nula, y por lo tanto, hay interés en que el morro de la pantalla resulte en calados superiores a la altura de la ola. Se toma, con un cierto coeficiente de seguridad, para el calado del morro, 1,5 veces la

altura de la ola, con lo que no romperán antes de llegar a la pantalla.

En resumen: para la construcción de las pantallas habrá que tener en cuenta primeramente su *dirección*, que se fijará, en primer lugar, evitando siempre que el ángulo  $\mu$  sea de  $90^\circ$ , en cuyo caso sería la pantalla ineficaz, según se ha visto, y en segundo lugar, de modo que el ángulo  $\alpha$  que produce cada temporal pueda formarse en un punto comprendido dentro de su *longitud*, de manera que ésta no resulte excesiva. Después podrá deducirse su *altura* por el gráfico de la figura 12 y, finalmente, los *calados del morro* deberá procurarse queden a  $1,5 \times 2h$ , siendo  $2h$  la altura de las máximas olas de abordaje.

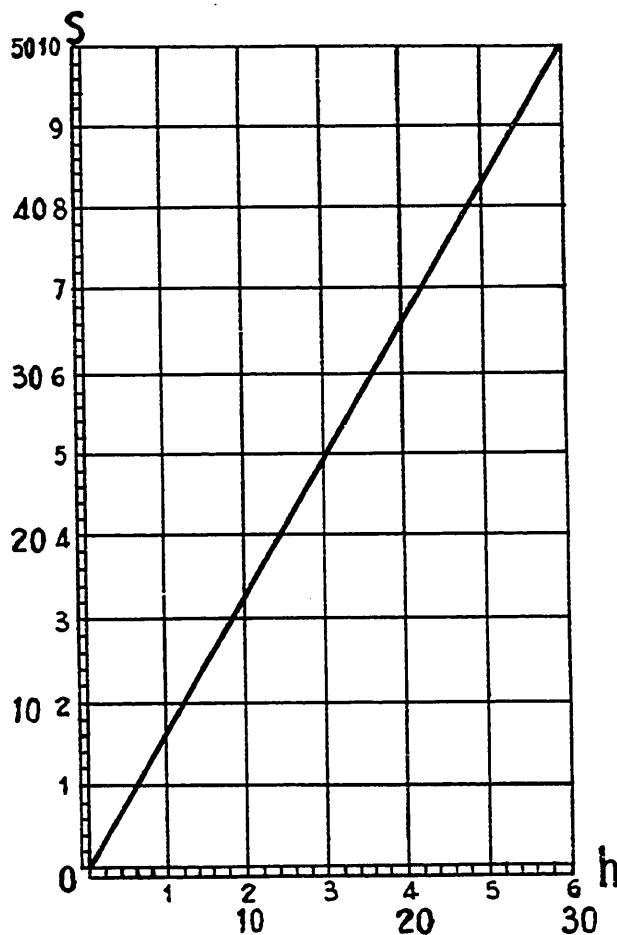


Figura 12.

APLICACIÓN DE LO ANTERIOR AL PUERTO DE ADRA (ALMERÍA).

En el puerto de Adra, el temporal que produce el arrastre de arenas y gravas de Oeste a Este es el  $O-20^\circ S.$ , que origina una ola de abordaje que en los planos de oleaje de detalle vemos avanza en la dirección  $O-40^\circ S.$ , que es la del vector  $A$ .

En un principio se pensó dar a la pantalla la misma orientación que la de la ola de abordaje, pero como quiera que al hacer el replanteo previo, debido a los continuos aterramientos, se vió que el morro

Antes de construir la pantalla, la playa tenía la forma que se indica en la figura 13, deducida de los planos de sondeos.

Después de construida la pantalla, también dedu-

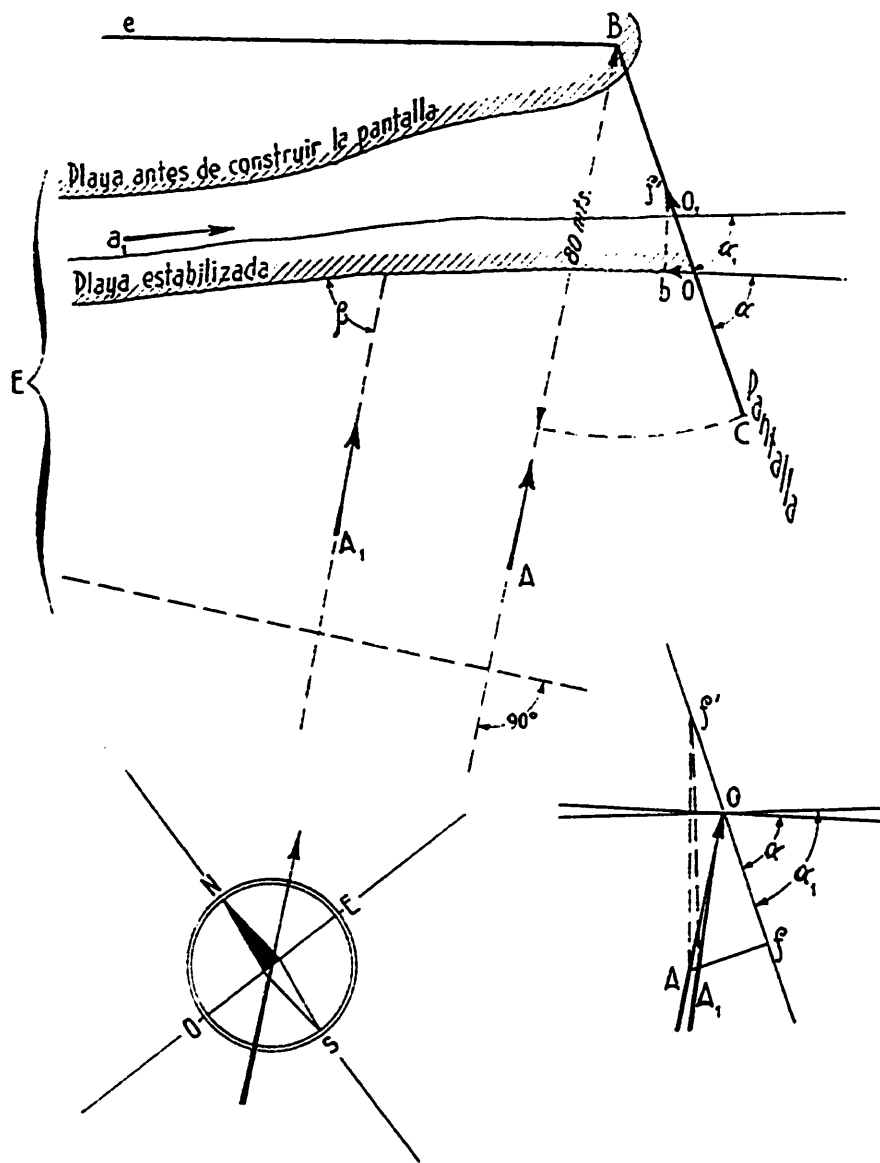


Fig. 13. — Adra.

de la pantalla iba a quedar en calados menores de 9 m., y en el proyecto se preveían los de 14 m., se varió la orientación para conseguir situar el morro en estos calados y al mismo tiempo para que la pantalla recogiera los temporales de Poniente que con frecuencia se desvían más al Sur.

cida de los planos de sondeos, se obtiene la forma que se dibuja en la mencionada figura y termina en el punto O, siendo el ángulo  $\alpha$  el que se obtiene con la construcción que hemos indicado, para el temporal que nos produce la dirección AO del avance de la ola de abordaje.

Cuando el temporal se desvía algo al Sur, se obtiene el ángulo  $\alpha_1$  y el punto  $O_1$  está más cerca del vértice  $B$ .

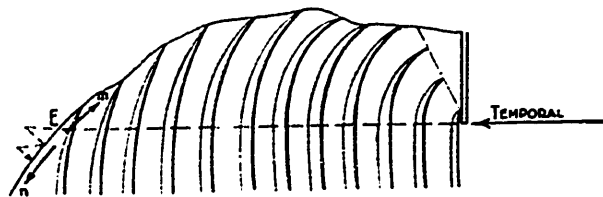


Figura 14.

Estas variaciones de la playa se observan perfectamente en la realidad, pues la playa avanza o retrocede, según el temporal viene más a Poniente o más a Levante, girando desde el punto  $E$ , principio de la erosión, y formando ángulos  $\alpha$  menores o mayores, según avance o retroceda.

Olas de pequeña altura y corta longitud de onda en las épocas que amainan los grandes temporales, suelen formar un redondeamiento de la playa en las proximidades de  $O$ . Esta pequeña concavidad no altera el equilibrio general estudiado, pues además no suele ser estable este pequeño trozo de playa.

#### APLICACIÓN DE LO ANTERIOR AL PUERTO DE ESTEPONA (MÁLAGA).

Lo que sucede en el puerto de Estepona está representado en la figura 15 y foto 2.<sup>a</sup>

Desde  $A$  hasta  $B$ , la playa avanza hacia  $B$ , pues no llega a formarse el ángulo  $\alpha$  y por lo tanto no llega a ser  $a = b$ ; siempre en esta parte tenemos  $a > b$ .

En la alineación  $BC$ , nada se opone al avance de las arenas, pues  $b = 0$ , hasta que al llegar al punto  $O$ , por efecto de la  $b$  producida por la tercera alineación  $DC$ , que obra como pantalla, se anula el efecto de  $a$  y se llega al equilibrio.

Se da el caso de que cuando el temporal es flojo, como sucede con los "reinales", la ola cuya altura es pequeña no rompe al llegar a la pantalla, y entonces se anula el efecto previsto de barrido: las arenas, aunque lentamente, avanzan siempre por la playa, porque, a causa de la débil pendiente de ésta, la ola rompe siempre en ella. Todo esto sucede hasta que cesan los "reinales" y sobrevienen los "dominantes", con los que vuelve a producirse el efecto de barrido de la pantalla.

Por esto hay épocas en que, predominando los "reinales", la playa avanza exageradamente, pero luego retrocede con los "dominantes", y el resultado

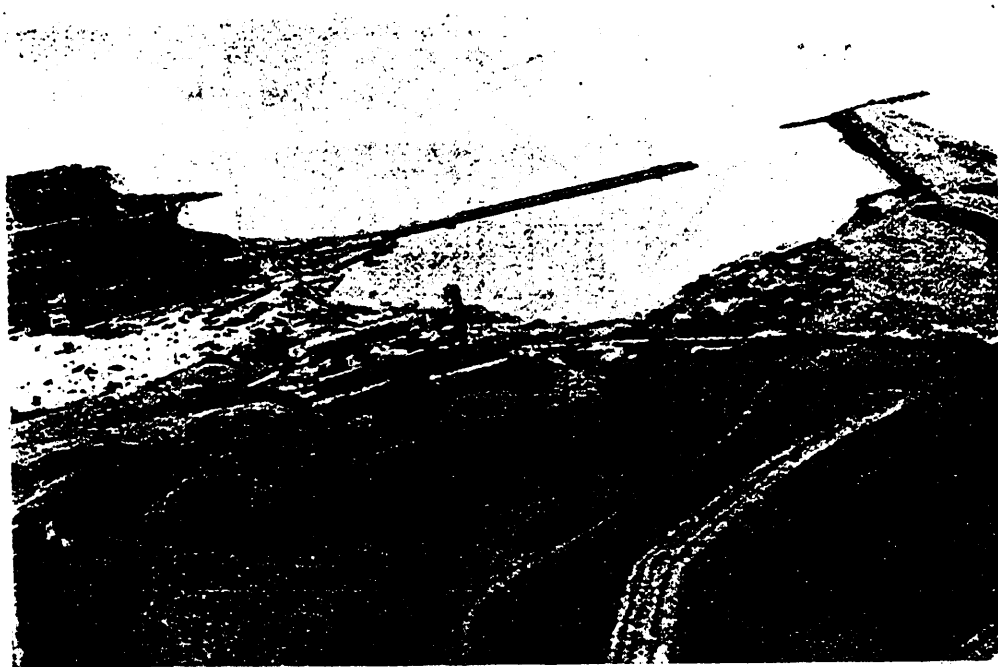


Foto 3.<sup>a</sup> — Puerto de Adra. Vista general aérea.

final dependerá de la mayor o menor duración de los "reinales" y de la intensidad de los "dominantes". En nuestras costas suele predominar, generalmente, el efecto de los "dominantes".

de alimentación", que está, como sabemos, a 45° aproximadamente de la "línea de expansión", pero desde este punto al indicado antes la erosión es pequeña.

En el caso de que se ofreciera duda desde dónde

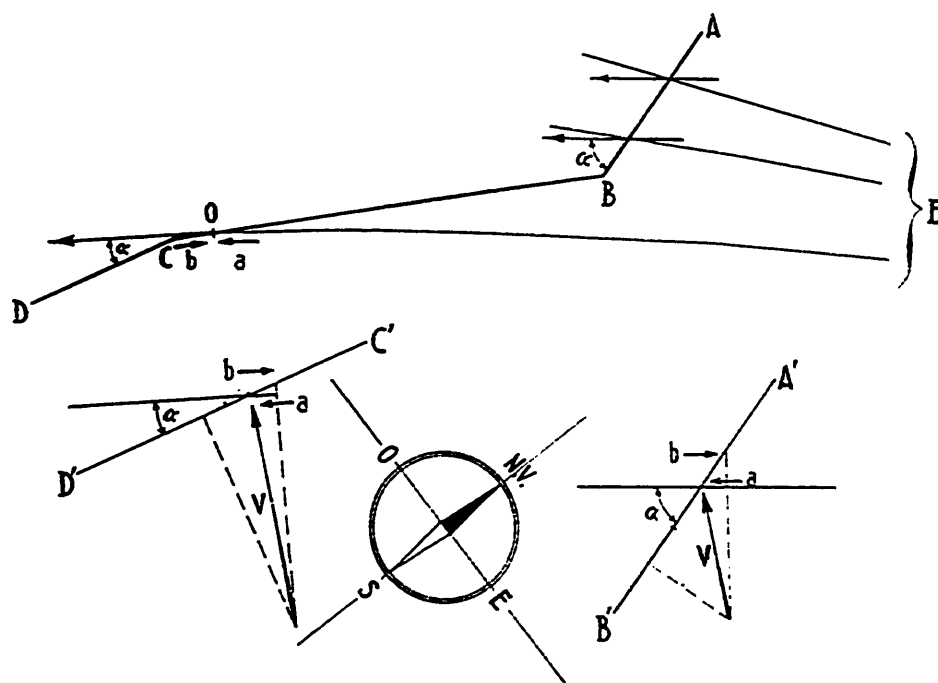


Fig. 15. -- Estepona.

Recordaremos, para la mejor comprensión de lo anterior, que para una determinada altura de ola  $2h$  se obtiene la pendiente límite de rotura

$$i = 4.7 \sqrt{h/g},$$

para taludes más rígidos se refleja y para taludes más suaves rompe, si bien en la práctica hay una zona de taludes en los que la onda rompe y se refleja parcialmente (pág. 206. *Tratado de Obras Marítimas*, de Iribarren).

Observaremos, finalmente, que hemos indicado como punto desde donde gira la playa al crecer, el punto de encuentro con la costa de la línea paralela al temporal, pasando por el morro de la pantalla, o sea la línea "límite de la expansión".

Este punto es el origen de la erosión más pronunciada. En realidad, el origen de la erosión se produce en el encuentro con la costa de la "línea

gira la playa, puede observarse su crecimiento experimentalmente, y dibujada la forma de la playa después de dos temporales diferentes, calcular, aunque siempre aproximadamente, el punto de intersección de las dos playas que se forman.

Se puede prescindir también de este punto de giro, y teniendo en cuenta sólo la magnitud de los ángulos  $\alpha$  para una determinada posición de la playa, podremos saber si hemos sobrepasado o no en la misma pantalla el punto de equilibrio, pues si el ángulo de la playa con la pantalla es menor que  $\alpha$ , lo hemos sobrepasado, y si es mayor, no hemos llegado a dicho punto de equilibrio.

Hasta ahora, al parecer, la realidad va confirmandonos los resultados previstos en todos los casos que hemos estudiado, y esperamos que con el tiempo, la constante observación de los movimientos de la costa, nos permitirá estudiar, cada vez más a fondo, la manera de prever estos resultados.