

# COMENTARIOS SOBRE ARTICULOS PUBLICADOS EN MESES ANTERIORES

Comentarios al artículo "Aplicación de los principios al estudio de los movimientos de arenas", de Carlos Garau Sagristá, publicado en el mes de Julio de 1973.

Por MANUEL DIAZ-MARTA, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

El artículo de Garau Sagristá me ha hecho recordar algunas observaciones y estudios sobre la forma de las playas, realizados en una época en que me dediqué a la defensa y conservación de costas (\*). La playa es el resultado de una continua modelación del litoral, efectuada por las olas, en la que todo lo superfluo se elimina y sólo queda una forma pura, de gran belleza, que por otra parte es la que mejor soporta la acción del oleaje. Pero el modelado de las playas no depende exclusivamente de la forma en que las olas llegan a la costa. Hay otras características del oleaje y otros factores aparte de las olas, que también influyen en el movimiento de arenas y en la formación de las playas.

Comprendo que el estudio de la forma de las playas en relación con la incidencia del oleaje es tentador, puesto que yo también fui tentado. Puedo acreditarlo ofreciendo a Grimau, como complemento de su estudio, el siguiente ensayo sobre las bahías como elementos funcionales en el equilibrio dinámico de la costa, ya que él ha tratado principalmente de las playas rectas y de sus modificaciones por la acción del oleaje.

## *Las bahías, como formas de estabilidad.*

Es frecuente oír que las bahías tienden a llenarse, debido a que las corrientes inducidas por el oleaje producen acarreo de sedimentos desde los salientes al centro. Sin embargo, en los transcurso de tiempo que interesan al ingenie-

ro, nada de eso ocurre. Las bahías se conservan sin importantes variaciones si la costa es estable.

La conservación de la forma cóncava es la consecuencia del movimiento del agua y del consiguiente arrastre de arena dentro de la bahía. El oleaje, tras de quebrarse en la zona de rompientes, da lugar a corrientes inducidas y a desplazamientos de masas de agua desde los costados al centro de la bahía; pero como esas masas no pueden rebasar la playa ni amontonarse en el centro, buscan su salida hacia la parte profunda del mar. Se origina así un movimiento del agua contrario al que se verifica en los álambes de una rueda Pelton, ya que en éstos el agua incide en el centro y sale por los costados.

Hans Albert Einstein, en un estudio sobre los movimientos de arena en las playas, expresaba: "Si las velocidades de la corriente se integran sobre una sección transversal a la playa, la corriente media en esa sección, o sea, perpendicular a la playa, es nula, mientras que la componente de esa corriente, según una dirección paralela a la playa, se manifiesta ampliamente entre la rompiente y la costa" (\*\*). La nulidad de la componente en dirección perpendicular a la playa es cierta para los tramos rectos, pero no para los curvos. En una bahía en equilibrio, la corriente media en dirección perpendicular a la playa es hacia el mar y compensa la acumulación, debida a la forma curva, del agua que corre a lo largo de la playa, procedente de los

(\*) Protection Works on the Mexican Coast. M. Díaz-Marta. The Dock and Harbour Authority. Jan. & Feb. 1957.

(\*\*) Hans Albert Einstein: "Movements of beach sands by water waves". Transactions American Geophysical Union. Volume 29. Oct. 1948.

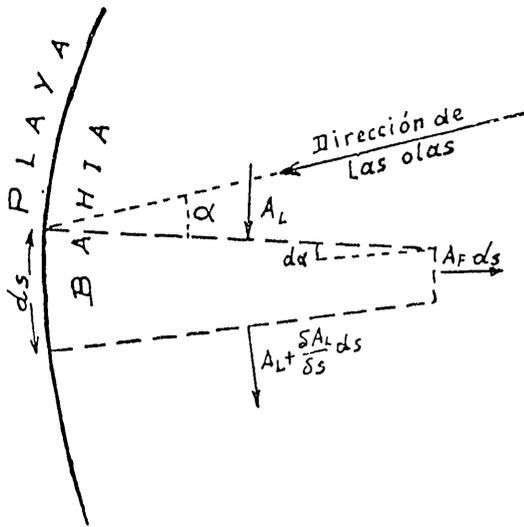


Fig. 1. — Esquema del movimiento de arena en el sector elemental de una bahía.

salientes contiguos a la bahía y de los costados de ésta.

Consideremos (fig. 1) un tramo elemental de una playa cóncava de longitud  $ds$  y ángulo  $d\alpha$ , siendo  $\alpha$  el ángulo variable que forma la dirección del oleaje (supuesta constante) con la normal a la playa en cada punto. Llamemos  $A_l$  al acarreo lateral de arenas que atraviesa la sección de la playa durante la unidad de tiempo. El arrastre que entra en el tramo valdrá  $A_l$  y el

que sale  $A_l + \frac{\delta A_l}{\delta s} ds$ . Llamando  $A_n$  al arrastre

normal a la playa (positivo hacia el fondo),  $dV$  al incremento de volumen en ese elemento de playa durante la misma unidad de tiempo y estableciendo la ecuación de continuidad, tendremos

$$dV = A_n - \left( A_l + \frac{\delta A_l}{\delta s} ds \right) - A_n ds,$$

o sea,

$$dV = - \frac{\delta A_l}{\delta s} ds - A_n ds. \quad (1)$$

Si hay equilibrio en el tramo de estudio,  $dV = 0$ , y en ese caso

$$- \frac{\delta A_l}{\delta s} ds = A_n ds. \quad (2)$$

Esto significa que la acumulación de arena por la variación del ángulo de incidencia se equilibra con el arrastre de material sólido hacia el fondo.

Determinemos el valor de esa acumulación, advirtiendo que los supuestos de que partimos sólo son burdas representaciones de la realidad. El acarreo paralelo a la playa puede expresarse según una conocida fórmula por

$$A_l = C \cdot 2 L h^2 \operatorname{sen} \alpha \quad (3)$$

en la que  $C$  es un parámetro que depende de la pendiente de la playa y de otras características del mar y de la costa;  $L$ , la longitud de la honda;  $h$ , la altura de la ola y  $\alpha$  el ángulo de la normal a las crestas con la normal a la playa.

La diferencial de ese acarreo en un tramo de costa sería

$$\begin{aligned} \frac{\delta A_l}{\delta s} ds &= C \cdot 2 L h^2 \cos \alpha \frac{\delta \alpha}{\delta s} ds = \\ &= - C_1 \cos \alpha \frac{1}{\rho} ds \end{aligned} \quad (4)$$

La reducción final se obtiene tomando una nueva constante  $C_1 = C L h^2$  y teniendo en cuenta que el radio de curvatura  $\rho$  vale  $ds/d\alpha$  y que cuando  $ds$  es positivo,  $\alpha$  disminuye y  $d\alpha$  es negativo.

Sustituyendo el valor sacado de (4) en la ecuación (1), el incremento de volumen resulta

$$dV = \left( C_1 \cos \alpha \frac{1}{\rho} - A_n \right) ds \quad (5)$$

y cuando hay equilibrio ( $dV = 0$ ),

$$C_1 \cos \alpha \frac{1}{\rho} = A_n \quad (6)$$

Si la bahía tuviera la forma de un arco de círculo ( $\rho = \text{Const.}$ ), los mayores depósitos por acumulación lateral tendrían lugar en el tramo normal a la dirección de avance de las olas, puesto que en él  $\alpha = 0$  y  $\cos \alpha = 1$ . Esto parece coincidir con la realidad por cuanto las bahías no conservan la forma circular.

Para tener idea de su forma de equilibrio, podemos suponer —alejándonos, por supuesto, de lo que realmente ocurre— que el arrastre hacia el fondo sea uniforme a lo largo de la

bahía, En tal caso  $\cos \alpha \cdot 1/\rho = K$ , siendo  $K$  una constante fácil de determinar, puesto que para  $\alpha = 0$ , si  $R$  es el radio de curvatura de ese elemento de playa, se tendría  $\cos \alpha \cdot 1/\rho = 1/R$ . La forma de la bahía estaría definida por la sencilla ecuación

$$\rho = R \cos \alpha \quad (7)$$

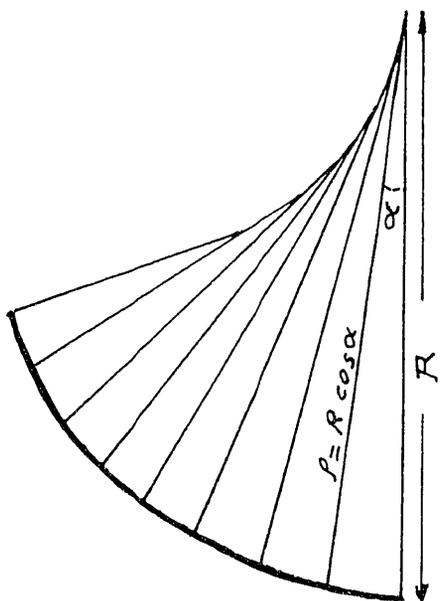


Fig. 2. — Construcción gráfica de la curva de una bahía según la ecuación  $\rho = R \cos \alpha$ .

La curva que representa se puede construir, como en la figura 2, trazando arcos de circunferencia tangentes cuyos radios sean  $R, R \cos \alpha_1, R \cos 2 \alpha_1, \dots$ , para los valores angulares  $0, \alpha_1, 2 \alpha_1$ , etc. Esta curva no debe construirse más allá del valor  $\alpha = 54^\circ$ , pues para mayores valores del ángulo de incidencia, hay erosión en lugar de depósito y la playa no es estable.

Para obtener esta curva de equilibrio hemos supuesto que las olas inciden paralelamente a una dirección dada, lo que no es cierto, ya que tienden a tomar la forma de la costa, si bien no se ajustan totalmente y llegan a ella con cierta inclinación; y también que el acarreo hacia el fondo es uniforme en toda la bahía, que tampoco es cierto, pues es más fuerte donde las olas inciden normalmente a la costa. En algunas bahías con varios kilómetros de playa hemos observado, en efecto, que el trasiego de arenas es más activo en su zona central que en otros tramos. La playa se torna allí más escarpada y las

olas golpean con más fuerza, predominando la corriente de resaca. Esta parte central de las bahías no suele conservar arenas finas, como en los costados, y las más gruesas quedan retenidas por selección natural. En algunos lugares de esos tramos se saca arena para la construcción, debido a que el tamaño medio de sus granos es aceptable, lo que no ocurre en otras partes de la playa.

No obstante, sus inexactitudes, este planteo matemático puede servir para indicarnos las variaciones de forma de las bahías en diferentes estados de su proceso dinámico. La ecuación (5) puesta en la forma

$$\frac{dV}{ds} = C_1 \cos \alpha \frac{1}{\rho} - A_p \quad (8)$$

indica que si la bahía está en equilibrio,  $C_1 \cos \alpha / \rho = A_p$ . Si entonces empieza a vaciarse, el arrastre hacia el fondo aumentará, y lo mismo hará  $C_1 \cos \alpha / \rho$  en busca de un nuevo equilibrio. Esto significa que el valor de  $\rho$  disminuirá, haciéndose la bahía o entrante menos suave. Si por el contrario la bahía tiende a llenarse,  $A_p$  disminuirá y el valor del radio de curvatura aumentará.

La ecuación (5) podríamos utilizarla para un saliente o forma convexa de playa, puesto que se deducirá del mismo modo de la ecuación de continuidad sin más que poner  $-\rho$  en lugar de  $\rho$  y  $A_p$ , valor de la aportación desde el fondo, en lugar de  $-A_p$ . Resultaría así:

$$\frac{dV}{ds} = A_p - C_1 \cos \alpha \cdot \frac{1}{\rho} \quad (9)$$

Al vaciarse la playa en el saliente,  $A_p$  disminuye y  $\rho$  debe aumentar, mientras que al llenarse,  $A_p$  aumenta y  $\rho$  debe disminuir. Esto quiere decir que el saliente o cabo arenoso se hace más suave cuando la playa está vaciándose y más agudo cuando se está llenando.

Estas deducciones coinciden con algunas observaciones personales. Una playa arenosa, naturalmente ondulada, adquiere una forma festoneada con salientes romos y entrantes agudos cuando está vaciándose por la acción del oleaje; mientras que cuando se está reponiendo de arena, su forma es también festoneada, pero con salientes agudos, formados al juntarse la arena que viene de mar adentro, y entrantes o bahías suaves entre salientes contiguos. Cuan-

do la playa no está ganando ni perdiendo arena, los entrantes y los salientes son muy semejantes (fig. 3).

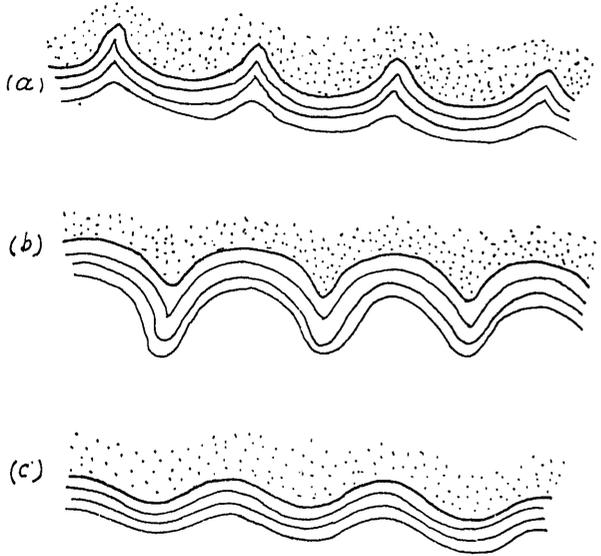


Fig. 3. — Apariencias de una playa ondulada: a) en proceso de vaciado; b) en proceso de llenado; c) en situación estacionaria.

#### Anotaciones para investigar la formación de playas.

Volvamos al estudio de Garau: para descubrir, comprender e interpretar el complejo proceso de la formación de playas es necesario emplear varias herramientas. No basta el único fundamento de un método para estudiar la propagación del oleaje, aunque éste sea tan meritorio y fecundo en aplicaciones como el de Iribarren. Tampoco podemos conformarnos con cualquier otro sistema de cálculo inventado o por inventar o con una modelación matemática por detallada que ésta sea.

Lo importante en este proceso es conocer cómo, cuándo y en qué cantidades las olas, las corrientes litorales y el viento arrancan, transportan o depositan arena en las playas, y esto no depende sólo de la forma en que las olas se expanden horizontalmente. Con un mismo tipo de expansión horizontal puede ocurrir que las partículas de agua cercanas a la superficie avancen hacia la costa, y que las próximas al fondo, que son las que arrastran arena, retrocedan, con lo cual la playa se vacía, o que las partículas superficiales retrocedan y las profundas avancen hacia la costa, y en tal caso, la playa se llena.

Estos movimientos hacia el fondo del mar o hacia la playa influyen en alto grado en el llenado o vaciado de ésta y, en definitiva, en la forma que adopta. Las bahías, como hemos visto, tienen forma cóncava porque en sus salientes predomina la recepción de arena, y en su parte central, la evacuación. Al principio y en el medio de un temporal, la acción del oleaje erosiona y vacía la playa; pero en su etapa final, al amainar la agitación de las aguas que cerca de la costa están sobrecargadas de arena, se reanuda el depósito de este material, iniciándose la recomposición de la playa, la que suele continuar en el siguiente período de calma. Las olas de fondo, de largo período, al convertirse cerca de la playa en ondas de traslación, suelen depositar fuertes cantidades de arena.

Los perfiles de playas en tramos sumergidos revelan que tras las épocas de agitación, parte del material que estaba cercano a la costa aparece alejado de la misma en zonas bastante profundas, donde puede ser transportado fácilmente por corrientes paralelas. También se observan ondulaciones en el fondo, en sentido trans-

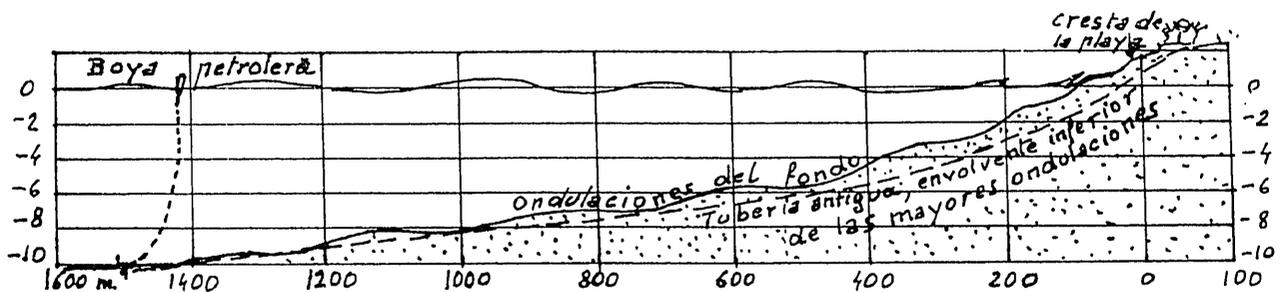


Fig. 4. — Perfil de una playa en Tuxpan (Méjico), mostrando las ondulaciones del fondo y la posición de una tubería de petróleo.

versal a la playa, con amplitudes reducidas lejos de la costa y de mayor altura cerca de ella, que lentamente progresan hacia la zona de rompientes mientras surgen nuevas ondas apenas perceptibles, donde la agitación en el fondo es escasa (fig. 4).

Los estudios sobre el movimiento de materiales y la conformación de las costas que tienen en cuenta éstas y otras importantes variables son relativamente recientes, y aunque ya van siendo numerosos es fácil advertir lo mucho que queda por explorar. Por eso considero el trabajo de Garau sumamente útil, pero no comparto sus ilusiones. No creo que con el método que desarrolla se puedan obtener grandes resultados. Encontrará, eso sí, algunas coincidencias entre las formas calculadas y las que presenta la Naturaleza, lo cual no es desdeñable, pero la investigación sobre la forma y el equilibrio de las playas requiere la utilización de toda clase de recursos científicos y técnicos. Su alcance será muy limitado si se basa en la explotación de un modelo matemático, que sólo tiene en cuenta la propagación horizontal del oleaje, olvidando los otros factores que intervienen en la construcción de la playa.

Lo que hay de promisorio en este trabajo no es un posible hallazgo, pues éste sería un punto final, sino la búsqueda, que siempre, en el estudio de la Naturaleza, abre nuevos horizontes. Lo importante es el ingenio y la dedicación que muestra el autor al enfrentar los problemas de las costas. Lo es también que pueda ejercer

sus dotes de observación en un litoral como el de Cataluña, cuyas playas son tan interesantes desde el punto de vista físico y desde el económico.

Mi recomendación al autor es que prosiga sus investigaciones, pero no atacando los problemas en un solo frente, sino desplegando todos los medios posibles para investigar e interpretar la Naturaleza en una apertura tan amplia como el tema lo requiere. Necesitará abordar los problemas por todos lados con la ayuda de observaciones sistemáticas sobre el terreno, acompañadas de mediciones, estudios geológicos y granulométricos, experimentos en la Naturaleza y en modelo y, por supuesto, consultando e intercambiando informaciones con otros investigadores nacionales o internacionales.

Es importante, por no decir imprescindible, que estos problemas se investiguen por un grupo de personas calificadas de diferentes especialidades y provistas de equipos de trabajo adecuados. Todo esto requiere medios, pero no pueden ser difíciles de obtener para estudiar las costas de Levante, donde las playas tienen tan alto valor económico. La forma en que fueron iniciados los trabajos del grupo dedicado a investigaciones oceanográficas, radicado en Barcelona, el decidido apoyo económico que obtuvieron y los éxitos logrados en sus estudios científicos hacen pensar que una investigación a fondo de los problemas de arrastre de arenas, conformación de las playas y estabilidad de las mismas es perfectamente posible.