

La forma de una playa cuando existe una dirección claramente predominante de los oleajes (*)

Por CARLOS GARAU

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Se estudia la aplicación del método propuesto por el autor para analizar la configuración de playas sometidas a una dirección claramente dominante de los oleajes, comparando sus resultados con los obtenidos mediante el método de R. Silvester, de la cual se desprende además una comprobación experimental de los postulados del autor.

1. INTRODUCCION

En el mes de febrero de 1983 se celebró en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, un «Curso intensivo de ingeniería de costas». Algunos de los asistentes comentaron que uno de los temas fuertes del Curso fue la configuración de las playas controladas por los salientes y sujetas a una dirección claramente dominante de los oleajes.

Me ha chocado que para exponer un tema tan relacionado con lo que vengo hablando desde hace diez años, se haya hecho sin tener en cuenta mi «compás de playas».

Dado que los planteamientos de R. Silvester, con tener algunas aplicaciones comunes a los mios, ofrecen notables diferencias de fondo, considero interesante aprovechar la ocasión para aclarar en dónde están las discrepancias y dónde las coincidencias, como ampliación de lo que ya exponía en (6) (pág. 30).

2. LAS FORMAS DE EQUILIBRIO SEGUN R. SILVESTER

Para la expresión de las formas de equilibrio que describe R. Silvester partiré de su artículo (8), publicado junto con Y. Tsuchiya y V. Shibano, en el capítulo 79 de los «Proceedings de la 17th Coastal Engineering Conference» (1980). Según Silvester:

«... la bahía presentará una zona curvada en forma de espiral logarítmica y un entrante de di-

(*) Artículo recibido para su publicación en marzo de 1983.

mensión "a" que es una fracción de la separación "b" entre los salientes».

Se observa que el ángulo que forman las crestas de las olas con la alineación de los salientes « β », es igual al que existe en la zona tangencial de la playa y la misma alineación. Incluso cuando el equilibrio no es estático, esta extremidad de la playa se aproxima mucho a su ángulo final « β ».

En la figura 2 se indican las características de las formas en planta determinadas en base a ensayos en modelo y observaciones de la naturaleza. Como puede verse, la relación entre el entrante máximo «a» y la separación de los salientes «b» viene determinada por el ángulo « β » que forma la ola incidente con la alineación de los salientes. En la misma figura 2, se indica así mismo la relación existente entre el ángulo « β » y la constante « α » de la espiral logarítmica correspondiente a la zona curvada de la playa».

Las figuras 1 y 2 son reproducción de la página 1.307 de los mencionados «Proceedings».

Comentario

Aunque más adelante haremos unos comentarios más concretos, de entrada me interesa señalar lo siguiente:

a) La representación de la bahía en la figura 1 no es real, es decir, no se ajustaría a ninguna fotografía aérea de una playa real. Ello ya se desprende nada más comprobar que la relación $\frac{a}{b}$ es 0,68, cuando el propio R. Silvester admite el valor máximo de 0,5. La espi-

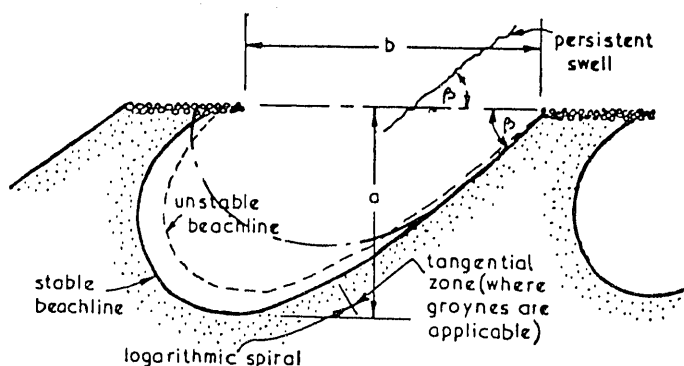


Fig. 1.—Definition sketch for cremulate shaped bay.

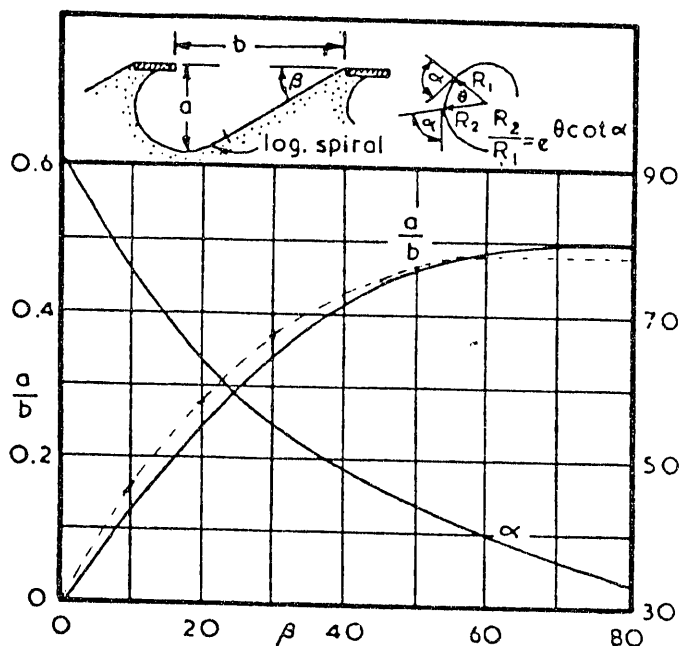


Fig. 2.—Parámetros relativos a bahías en equilibrio estático.

ral de trazo y punto dibujada sí puede corresponder a la realidad.

b) La espiral que describe Silvester, según se desprende de las figuras 1 y 2, no está definida por su centro. Las únicas condiciones que la determinan, a partir de unos datos « b » y « β » conocidos, son la característica de la espiral « α » y el entrante « a ». Por consiguiente, la solución del problema sigue indeterminada, toda vez que una misma espiral « α » puede ser tangente a la línea que Silvester denomina «zona tangencial», y a la línea paralela a los salientes situada a una distancia « a », de infinitas formas. Parece, por tanto, que hace falta el «buen ojo» para determinar la forma de la curva, aunque la información que aporta el conocimiento del entrante máximo « a », puede ser un dato valioso.

3. LAS FORMAS DE EQUILIBRIO SEGUN C. GARAU

La determinación de la forma de una bahía, conformada por un clima marítimo en el que existe una dirección del oleaje claramente dominante, es de gran sencillez con la utilización del «compás de playas» (1 y 6). Basta trazar el tramo recto y la solución gráfica se obtiene simplemente colocando el centro del compás en el saliente y haciéndolo girar hasta que se ponga tangente a la recta (figura 3a).

Si queremos conocer el punto de tangencia M , ni siquiera es preciso dibujar la espiral, ni utilizar el «compás de playas». Basta sencillamente trazar la línea AM , tal que el ángulo $A\hat{M}B$ sea de 120° , y ello se hace simplemente con el cartabón, puesto que el ángulo adyacente al AMB es de 60° , que es precisamente el ángulo mayor de los dos agudos que ofrece el cartabón. Si queremos determinar el punto máximo entrante, trazamos la recta que pasando por A forma 60° con la alineación AB ; su intersección con la espiral nos dará el punto N , en donde la tangente a la espiral es paralela a AB (figura 3b).

Estas sencillas construcciones son una con-

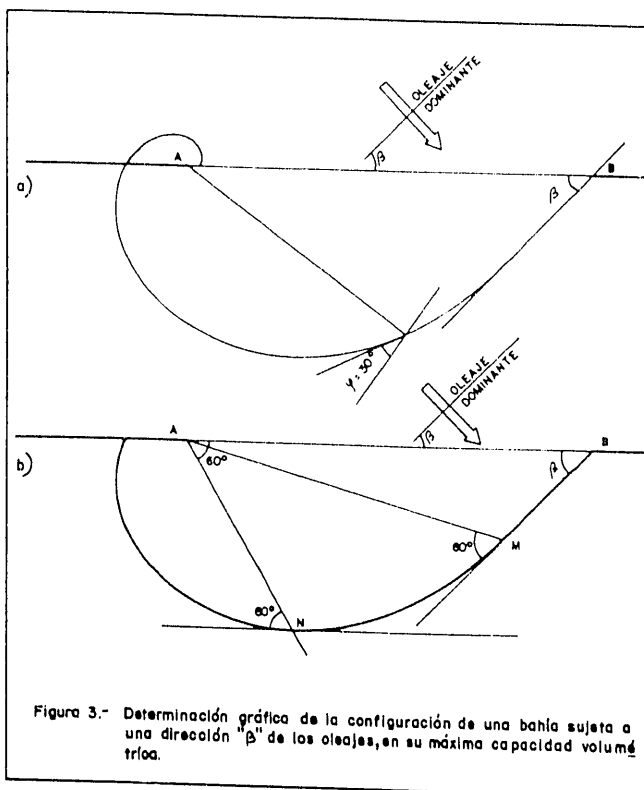


Figura 3.- Determinación gráfica de la configuración de una bahía sujeta a una dirección « β » de los oleajes, en su máxima capacidad volumétrica.

LA FORMA DE UNA PLAYA CUANDO EXISTE UNA DIRECCION DE LOS OLEAJES

secuencia de lo expuesto en anteriores números (1, 2, 6 y 7).

4. EXPRESION ANALITICA DE LA RELACION a/b

La determinación de la curva de valores $\frac{a}{b}$, equivalente a la grafiada por R. Silvester en la figura 2 de (9), por el procedimiento gráfico descrito anteriormente, se puede hacer por puntos y con tal rapidez que sólo se precisan unos minutos. La precisión del trazado con el «compás de playas», partiendo de valores de «b» = 5 cm. permite obtener valores de a/b con aproximación de dos cifras decimales, según se comprueba con la expresión exacta que se describe más adelante.

Es preciso advertir que el máximo valor de la relación $\frac{a}{b}$ corresponde a $\beta = 60^\circ$ que, como veremos, es $\frac{a}{b} = 0,47310$. Para $\beta > 60^\circ$ la relación mantiene el mismo valor, incluso en el caso de que $\beta > 90^\circ$. No se olvide que el saliente de barlovento puede producir la difracción de oleajes con $\beta > 90^\circ$, hipótesis que no puede darse en los estudios de costas rectilíneas (como ocurre en la determinación de la capacidad de transporte de los oleajes, según los planteamientos teóricos usuales, por ejemplo).

En la figura 2 se indica, sobre la reproducción del gráfico de R. Silvester, la curva de puntos obtenida gráficamente con el «compás de playas».

La determinación de la expresión analítica de la relación a/b se puede hacer por una sencilla construcción geométrica, tal como se indica en la figura 4.

En dicha figura la espiral se ha dibujado con el «compás de playas» en el cual $\varphi = 90 - \alpha = 30^\circ$, pero las consideraciones geométricas siguen siendo igualmente válidas para cualquier espiral equiangular (logarítmica) centrada en el saliente de barlovento A.

Por la semejanza de los triángulos rectángulos A P N y A Q M, tendremos:

$$\frac{A N}{A M} = \frac{A P}{A Q} = \frac{a}{b \cdot \sin \beta} \quad [1]$$

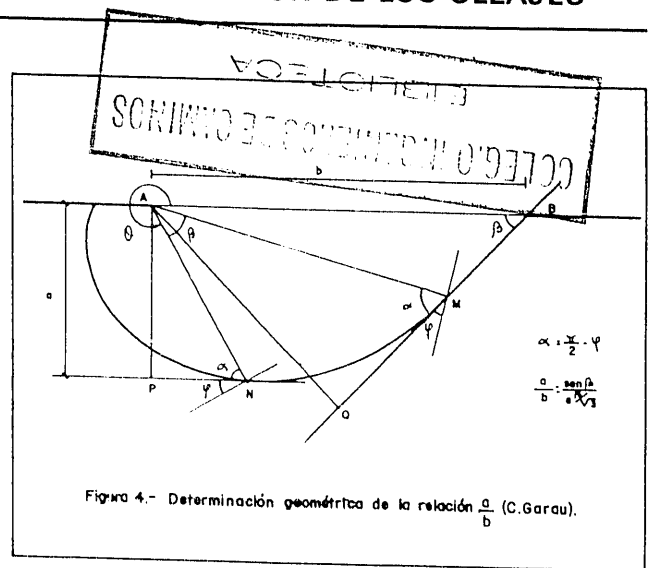


Figura 4.- Determinación geométrica de la relación $\frac{a}{b}$ (C. Garau).

Por otra parte, el ángulo $N \hat{A} M$ es igual a « β » y siendo A N y A M dos radios vectores que vienen dados por la expresión:

$$\rho = K \cdot e^{\theta \cdot \cot \alpha} = K \cdot e^{\theta \cdot \tan \varphi} \quad [2]$$

tendremos:

$$\frac{A N}{A M} = \frac{K \cdot e^{\theta \cdot \tan \varphi}}{K \cdot e^{(\theta + \beta) \cdot \tan \varphi}} = \frac{1}{e^{\beta \cdot \tan \varphi}} \quad [3]$$

La igualdad de las expresiones [1] y [3] nos conduce a:

$$\frac{a}{b} = \frac{\sin \beta}{e^{\beta \cdot \tan \varphi}} = \frac{\sin \beta}{e^{\beta \cdot \cot \alpha}} \quad [4]$$

Y para el caso de $\varphi = 30^\circ = \frac{\pi}{6}$ tendremos:

$$\tan \frac{\pi}{6} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad [5]$$

y finalmente:

$$\boxed{\frac{a}{b} = \frac{\sin \beta}{e^{\beta / \sqrt{3}}} \quad (\beta \text{ en radianes})} \quad [6]$$

En la figura 5 se representa gráficamente la expresión [6], que es válida para

$$\beta \ll \frac{\pi}{3} \quad [7]$$

mientras que para $\beta \gg \frac{\pi}{3}$

$$\frac{a}{b} = \frac{\sin \pi/3}{e \pi/3 \sqrt{3}} = 0,47310 \quad [8]$$

ya que la espiral pasa por el punto B y no puede avanzar más. Para $\beta \gg \frac{\pi}{3}$ desaparece la «zona tangencial» de R. Silvester (7, 8) que yo denomino «zona de llenado por onda recta» (1, 2, 6, 7).

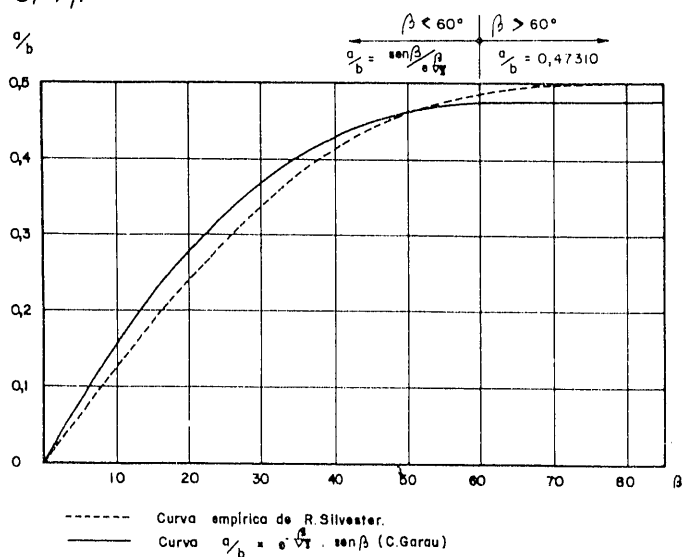


Figura 5.- Relación entre el máximo entrante "a" y la separación de los salientes "b", en función del ángulo que forma el oleaje con la alineación de los salientes que determinan la configuración de una bahía en su máxima capacidad volumétrica.

5. COMENTARIOS

5.1. Sobre el buen ajuste de las curvas $a/b = \psi(\beta)$

R. Silvester viene analizando desde hace años, la configuración de las playas partiendo de una hipótesis muy restrictiva: la de que las acciones del oleaje tienen una clara predominancia de una determinada dirección. Y partiendo de esta hipótesis trata de relacionar la característica de una espiral logarítmica que se ajuste a la forma de la playa, con el ángulo que forman esta dirección predominante y la alineación de los salientes.

En la medida que las playas analizadas por R. Silvester responden a esta hipótesis, los resultados de sus estudios resultan coherentes. Pero no deja de ser un caso particular que puede analizarse con mis postulados (1 y 2), mis

aclaraciones (3 y 4) y mi posterior descripción general (6 y 7).

Tal como se analizaba en (1) (pág. 652), la relación entre distancia de un obstáculo a la costa y separación entre sus extremos, para el caso de la formación de un tómbolo por un dique paralelo a la orilla, se ha hecho aquí para el caso particular de configuración de una bahía en las hipótesis de R. Silvester.

Dado que la curva de R. Silvester es una línea de ajuste entre múltiples datos experimentales, tomados unos de la naturaleza y otros de ensayos en modelo reducido, el buen ajuste con la curva deducida de mis postulados no es sino una confirmación de la validez de mis teorías.

Aquí podría terminar este comentario, pero aún quisiera explicar la ligera desviación entre ambas curvas. En mi opinión, es muy probable que al analizar los datos y ver que al crecer el ángulo β se llegaba a un valor de a/b muy próximo a 0,5, se haya adoptado este valor como asintótico, por su simplicidad ($b = 2a$). Ello habría inducido al ligero desajuste del valor máximo obtenido por R. Silvester y el mío, que se refleja en la parte superior derecha de las figuras 2 y 5.

En cuanto a la pequeña desviación que presentan ambas curvas para valores de β comprendidos entre 20° y 40° , se trata, a mi juicio, de que en los análisis de R. Silvester se incluyen algunas playas cuya configuración no está puramente determinada por el saliente de barlovento, sino que tienen una influencia de fondos indeformables existentes en la zona de la playa alejada del saliente. Este sería el caso de Drakes Bay, en la figura de R. Silvester que reproducimos aquí como figura 7a.

En la figura 7b se reproduce nuevamente la misma Drakes Bay y sobre ella se dibuja, con línea de trazo y punto, la espiral logarítmica $\varphi = 30^\circ$ ($\alpha = 60^\circ$), centrada en el saliente A. Puede observarse como el tramo MN de la playa se ajusta perfectamente al «compás de playas».

El tramo NB (fig. 7b) ofrece una cierta curvatura, pero ésta no está determinada por la dirección en A exclusivamente, si no que tiene una notable influencia de la refracción sobre fondos indeformables.

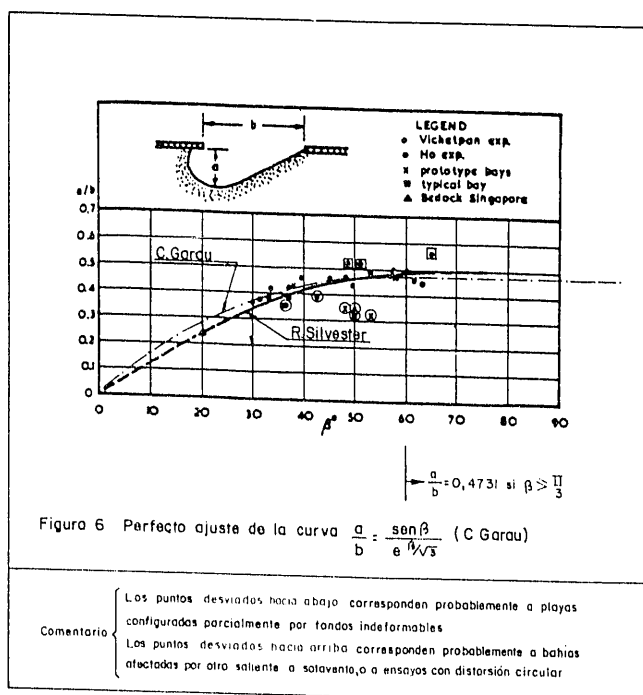
En la figura 6 se reproduce el gráfico de R. Silvester (10), en el que aparece la nube de puntos que le condujeron a la estimación de la curva. Puede apreciarse que la función $\frac{a}{b} = \frac{\sin \beta}{e \beta / \sqrt{3}}$ coincide exactamente con gran número de puntos, muchos más que la propia curva de R. Silvester. Tal es la exactitud del «compás de playas» correctamente utilizado, que, en mi opinión, los puntos desviados de la función [6] y [8] deben responder a dos tipos de error:

a) Los puntos desviados por encima corresponden probablemente a bahías con mayor curvatura de la que correspondería a las hipótesis de R. Silvester (representadas en la fig. 3), a causa de la existencia de un saliente a sotavento del tramo AB, respecto al oleaje dominante [ejemplos: figs. 6, 8 y 11 del propio R. Silvester (9)]; o bien a ensayos en modelo reducido en los que la influencia de la distorsión alcanza no sólo al entorno del saliente que produce la difracción, sino también hasta la zona de máximo entrante (4).

b) Los puntos desviados por debajo corresponden, probablemente, a bahías que en el extremo B de sotavento reciben la influencia de la refracción sobre fondos indeformables, como ocurre en Drakes Bay a la que antes me he referido (fig. 7).

Resulta que la curva $a/b = \frac{\sin \beta}{e \beta / \sqrt{3}}$ se ajusta, por lo tanto, exactamente a los puntos correspondientes a las playas que realmente se ajustan a las hipótesis de partida, mientras que algunos puntos de la figura 6 quedan desviados hacia arriba o hacia abajo según la circunstancia que en cada caso difiere de las hipótesis de partida por una razón, a), u otra, b), que acabamos de describir.

Aunque la curva que se deduce de mis postulados es una curva teórica, no puede olvidarse que mis teorías no pretenden otra cosa que describir la naturaleza y surgieron de la reiterada comprobación de que las construcciones geométricas con el «compás de playas», de las que la figura 3 no es más que un ejemplo, se ajustaban a la realidad.



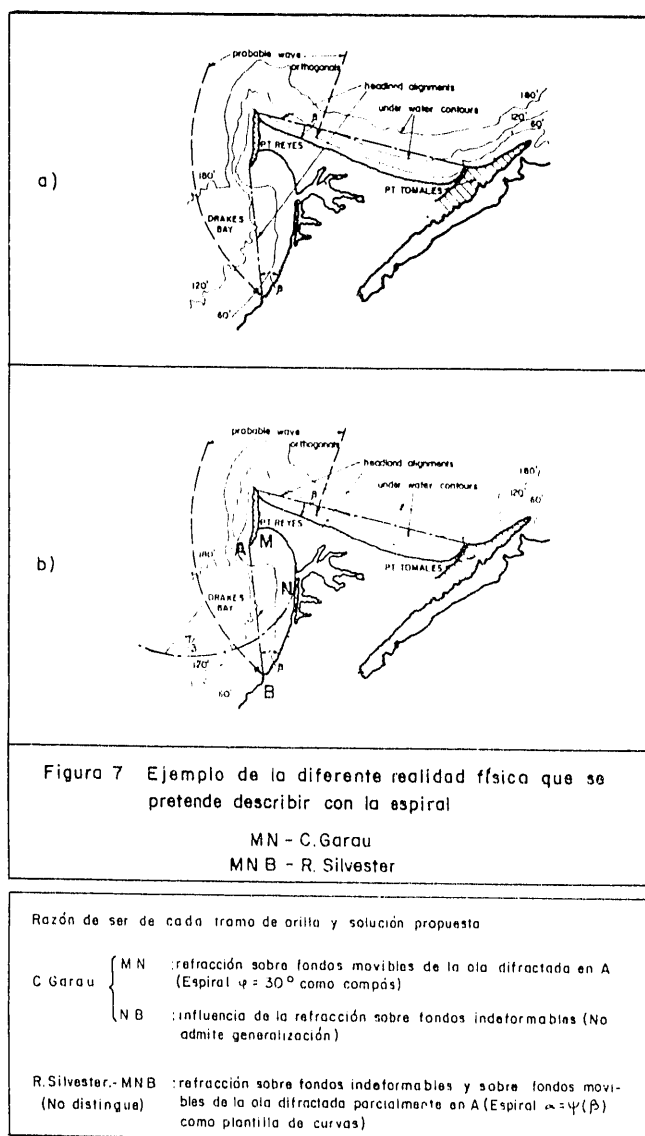
Hechas estas matizaciones, me permito reiterar que el buen ajuste de la curva $a/b = \frac{\sin \beta}{e \beta / \sqrt{3}}$ a los datos empíricos de R. Silvester, significa un nuevo contraste experimental de la realidad física y de la fertilidad de mis postulados (1, 6).

5.2. Sobre la discrepancia en la característica de la espiral

En el comentario anterior se ha señalado la bondad del ajuste entre los valores de $\frac{a}{b}$ deducidos de mis postulados (1) y los determinados empíricamente por R. Silvester (8). Por el contrario, existe una rotunda discrepancia entre la característica de la espiral sugerida por R. Silvester (8, 9), que puede variar entre 30° y 90° (30° < α < 90°) mientras que el «compás de playas» es $\alpha = 60^\circ$ ($\phi = 90^\circ - \alpha = 30^\circ$).

Vamos a ver que la contradicción es tan sólo aparente, ya que R. Silvester y yo hablamos de realidades físicas diferentes, en unos casos, y en otros se trata de una distorsión de los ensayos en modelo reducido, que muy raramente se produce en la naturaleza.

Veremos así mismo como la diferencia entre la utilización de la espiral logarítmica que hace



R. Silvester y la mía, queda muy expresivamente reflejada por la diferencia que existe entre una serie de plantillas de curvas (de característica α variable) y el «compás de playas» (con centros en los salientes y ángulo característico $\alpha = 60^\circ = 90^\circ - \varphi$).

En efecto, que se trata de realidades físicas diferentes se desprende de la figura 7b. R. Silvester analiza todo el tramo de playa MNB (en la cual se aprecia además que el punto B es arbitrario, ya que no corresponde a un saliente real). Por el contrario, mis análisis se limitan al tramo de curva configurado exclusivamente bajo la acción de oleaje difractado que actúa sobre fondos de arenas; en el caso de la figura 7b corresponde tan sólo al tramo MN.

Mientras yo hablo de centros variables en los diferentes salientes del litoral, que pueden determinar sectores en espiral ($\varphi = 30^\circ$), R. Silvester habla de una espiral única, ajustada a todo el conjunto de la playa. En mi caso se trata de un «compás» cuyo centro se sitúa en los diferentes salientes, al igual que el compás de dibujo, siendo un giro del «compás de playas» equivalente al cambio de radio en el compás de dibujo. En el caso de R. Silvester, se trata de una serie de «plantillas de curvas», cuya característica α nos da algo así como el número de la plantilla, pero no nos llega a definir exactamente como debe situarse la plantilla, sino tan sólo nos define dos líneas a las cuales debe ser tangente (problema geométrico que ofrece infinitas soluciones y requiere, a mi entender, el buen «ojo clínico»).

Quizá la expresión de la diferencia cualitativa que existe entre ambos enfoques, pueda encontrarse en lo expuesto por mí en R.O.P. (1, 2, 6 y 7), sobre el distinto comportamiento del fenómeno, según se trate de un régimen de llenado (acreción lateral), que conduce a la circunferencia mientras no entre en juego el «efecto de remolino» (6), o de un régimen de vaciado (erosión lateral), que conduce a la curva concéntrica con el oleaje incidente (considerado éste antes de la refracción sobre fondos deformables). Por el contrario, R. Silvester no analiza estas diferencias del proceso genético, si bien su intensa relación con los ensayos en modelo reducido (8) le conduce a considerar la configuración en forma sensiblemente circular, de cierto tramo próximo al punto de difracción de la ola. Pero esta deformación de la espiral, que es clara en los ensayos en modelo reducido (5), no se observa en la naturaleza, y ello se explica, a mi juicio, por las razones que yo exponía en R.O.P. (pág. 882) (4).

Téngase en cuenta que a pesar de la distorsión que produce la reflexión de la ola residual sobre la playa, y sobre los muros verticales del intrados del saliente (4), con mucha mayor repercusión en el ensayo que en la naturaleza, tal distorsión afecta fundamentalmente a la zona próxima al obstáculo.

Es por ello que, generalmente, no afecta a la determinación del máximo entrante «a» en los

ensayos, mientras distorsiona gravemente la forma de la espiral « α » y la localización de su centro.

5.3. Otras distorsiones de los ensayos en modelo reducido (4 y 5)

En la figura 8 se representa una bahía conformada por un oleaje que forma un ángulo β_0 con la alineación de los salientes A y B₀, en la cual la curva CB₂ es la espiral de característica α_0 . Supongamos que ahora destruimos y eliminamos todo el tramo B₁B₀, aunque subsiste la zona tangencial B₂B₁, o bien que construimos la costa B₀B₄, B₄B₅, paralela al oleaje dominante.

Admitamos que la dimensión AB₀ es de varios kilómetros, de forma que sean despreciables los efectos del saliente A sobre la «zona tangencial» B₂B₅ y viceversa.

Es válido en estas condiciones el razonamiento de que los diferentes puntos B₀, B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, de la figura 8 pueden tomarse como salientes reales y analizar los tramos de curva B₀C, B₁C, B₂C, B₄C, B₅C, con los ángulos β_0 , β_1 , β_2 , β_4 , β_5 , respectivamente. (No contemplamos de momento las posiciones en que, debido a un menor volumen de arenas, el punto B₃ queda más atrás que el punto B₂, y por tanto todo el tramo de espiral C₃B₃ retrocede.)

Dicha figura 8 se ha confeccionado con el «compás de playas», pero es razonable admitir que en tales circunstancias, sea cual sea la forma del tramo CB₂, no tiene que sufrir alteraciones por el hecho de variar la longitud del tramo recto o «tangencial».

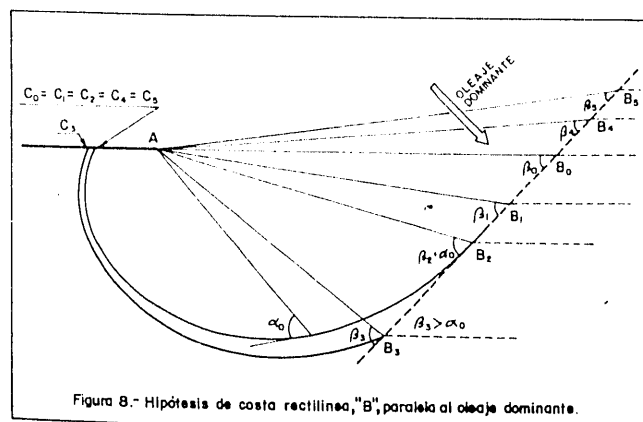


Figura 8.- Hipótesis de costa rectilínea, "B1", paralela al oleaje dominante.

Sin embargo, según R. Silvester, variará la característica de la espiral adoptando los valores α_0 , α_1 , α_2 , α_4 , α_5 , respectivamente.

Estos planteamientos me conducen a la siguiente aclaración:

Cuando las dimensiones de la bahía son suficientemente grandes no existe justificación para variar la característica de la espiral al variar el punto B₁ sobre una línea paralela al oleaje dominante. Si varía, por el contrario, la relación a/b cuando el punto B₁ se desplaza sobre la recta o «zona tangencial».

Ello pone en evidencia que la variabilidad de « α » que analiza R. Silvester, es una consecuencia de ajustar la curva $\alpha = \emptyset(\beta)$ a tramos de playa que deben su configuración a una influencia ajena a la del saliente A, ya sea de fondos frontales indeformables (6) (puntos situados por abajo en la fig. 6) o de otro saliente «B» situado a sotavento (puntos situados por encima en la fig. 6) o bien aquellos casos de los ensayos en modelo reducido afectados por la deformación circular (puntos situados por encima en la fig. 6).

Pero además, los ensayos en modelo reducido pueden dar lugar a las deformaciones de la curva B₅B₄B₀B₁B₂C₁, a medida que se eliminan los tramos B₅B₄, B₄B₀, B₀B₁, B₁B₂, puesto que las dimensiones del modelo suelen ser del orden de escasas longitudes de onda en las correspondientes profundidades. En tales condiciones y dada la importancia relativa de la reflexión sobre la playa (4), se produce en el modelo una interacción entre los distintos procesos que se desarrollan en las diferentes áreas del modelo (5).

En mi opinión, este tipo de distorsiones, que pude comprobar a lo largo de los ensayos que realicé en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona en los años 1973-1976 (5), puede haber inducido a R. Silvester a estimar confirmadas sus hipótesis sobre la variación de « α » en los supuestos de la figura 8, muy especialmente en caso de ensayar modelos con ángulo β_1 igual o superior a 60°, ya que en tales casos la «zona tangencial» desaparece, se desvirtúan sus hipótesis de partida y se incrementa la influencia de la deformación circular.

5.4. Puntos de partida diferentes y algunas aplicaciones similares

R. Silvester parte del análisis de unas playas sujetas a un clima marítimo donde existe un oleaje de dirección señaladamente predominante, tanto por su persistencia como por la magnitud de la ola. Ello le conduce, por lo tanto, a relacionar la orientación de la playa con la dirección del oleaje predominante, y, al contemplar playas cuya configuración se ve regida por el abrigo de los salientes, busca la relación entre las formas de la playa y el ángulo que forma el oleaje reinante-dominante con la alineación de dichos salientes.

Yo partí del análisis de las deformaciones que experimenta la playa en el entorno de un saliente artificial y del análisis de las formas de las playas incurvadas en el entorno de los salientes, todo ello en un mar donde el clima no presenta una dirección claramente predominante y donde, generalmente, los oleajes reinante y dominante no son coincidentes (1). El punto de partida estriba en la búsqueda de la explicación de un hecho sorprendente: en aquellos tramos de playa donde precisamente por el efecto de la difracción de un saliente, puede considerarse que existe un oleaje reinante-dominante de onda circular difractada y donde no existen fondos indeformables que puedan alterar el fenómeno, la orilla se dispone, generalmente, formando un ángulo de 30° (6) con la cresta circular del oleaje incidente y excepcionalmente se dispone en forma exactamente circular (1 y 6).

La explicación de estos hechos tan singulares me condujo a la concepción de los dos regímenes que conducen a ambas formas extremas de equilibrio en planta: el régimen de erosión lateral bajo el cual la configuración se hace con refracción del oleaje sobre los fondos sedimentarios (ángulo de refracción $\varphi = 30^\circ$) y el régimen de acreción lateral bajo el cual la configuración de la orilla se produce sin refracción del oleaje sobre los fondos arenosos.

Sin entrar en la discusión de cuál de los dos enfoques está más ajustado al fenómeno físico real, es evidente que cuando lo que se pretende es predecir la configuración de una playa, aunque los caminos sean diferentes, los resultados de la

aplicación de una u otra teoría deben ser concordantes si ambas se aproximan a la realidad. Es, por tanto, reconfortante el buen ajuste de la curva teórica que determina el máximo entrante de una bahía en función del ángulo de incidencia del oleaje dominante que se representa en la figura 6.

No es, pues, extraño, que teniendo ambas teorías en común, el objetivo de determinar la configuración de las playas sujetas a la influencia de los salientes, a pesar de que el modelo matemático (la herramienta) sea diferente, sus aplicaciones tengan también múltiples aspectos comunes.

Cabe presumir, no obstante, que la precisión y exactitud de una u otra teoría, y sobre todo su fertilidad, estará del lado de aquella que mejor se aproxime a la relación causal del fenómeno físico.

6. LAS FORMAS DE EQUILIBRIO Y EL VOLUMEN DE ARENAS

La figura 3 recoge la representación esquemática de una bahía ajustada a las hipótesis de R. Silvester y por ello se ha supuesto que el tramo recto paralelo al oleaje pasa por el punto B, lo cual representa la máxima capacidad volumétrica (*) (El exceso de arena se ha escapado fuera de la bahía, a sotavento de B en los ensayos de R. Silvester).

Para la forma de una playa sujeta a un oleaje claramente predominante se mantendrá constituida por una recta paralela al oleaje y una

(*) Uno de los motivos de que sea difícil exponer, y a su vez captar, todas las consecuencias de mis postulados, a pesar de la simplicidad de su contenido, es la necesidad de matizar cada aplicación, dada la amplia gama de posibilidades de las formas de equilibrio de las masas sedimentarias. En bahías muy grandes cabría la posibilidad de una situación excepcional con mayor capacidad, en el caso de que el tramo recto se ajustase a una forma en límite de vaciado, de modo que en la figura 3 se sustituiría la recta de ángulo β , paralela al oleaje, por otra ($\beta - 30^\circ$) que formase el ángulo de 30° con el oleaje. Ello requeriría la existencia de un fenómeno antipolar a sotavento y, por tanto, es una situación tan excepcional que no vale la pena contemplarla aquí. Pero podría presentarse en algún tipo de ensayo en modelo reducido y/o proporcionar un punto excepcional situado por debajo de la curva de la figura 6, sin la intervención de fondos indeformables (6).

LA FORMA DE UNA PLAYA CUANDO EXISTE UNA DIRECCION DE LOS OLEAJES

espiral ($\phi = 30^\circ$) tangente a ella, o bien simplemente por una espiral, según sea el volumen de la masa sedimentaria alojada en la bahía. En la figura 9 se indican las posibles formas de una playa, en el supuesto de que la costa en B sea perpendicular a la línea AB, si bien la construcción es válida sea cual sea el tipo de contorno rocoso en B, como se comprende fácilmente.

Las distintas posiciones de la playa, que dependen exclusivamente del volumen de arenas, se indican con los subíndices 1, 2, 3, 4 y 5; pueden representar el crecimiento de la bahía si en ella existe una fuente de sedimentos.

Obsérvese que para graficar la playa no es preciso utilizar el ángulo β pues, en definitiva, la línea AM forma 60° con la cresta del oleaje incidente.

En realidad, el tramo de espiral C_iD_i es el que sufre la refracción de 30° , siempre en el supuesto que no se interfieren fondos indeformables. El tramo D_iM_i es un tramo de transición sujeto a la acción de la onda recta, que pasa de refracción 30° en D_i, hasta refracción nula en M_i (6).

Estas construcciones son, pues, de una simplicidad singular. No obstante, requieren un sin número de matizaciones. Como fundamentales, además de las señaladas anteriormente, podemos destacar:

a) La hipótesis de oleaje dominante presuppone que, no obstante, hay algunos oleajes que pueden conducir la arena hasta C_i (1) o bien que se produce el efecto remolino en A (6). De lo contrario no se alcanzaría la forma de la espiral.

b) La zona próxima al punto B_i sufrirá erosiones reversibles cuando se presenten oleajes de adecuada componente.

c) La reflexión del oleaje en el litoral B, puede introducir asimismo deformaciones, incluso no reversibles, en el tramo de playa próximo.

d) La hipótesis de posiciones sucesivas B₁... B₅ a consecuencia de una fuente puntual, presupone una cierta deformación de las formas, toda vez que dependerán de la proporción entre el caudal de aportación y la capacidad de transporte por los oleajes. Si la aportación es superior, se producirá un apuntamiento en la

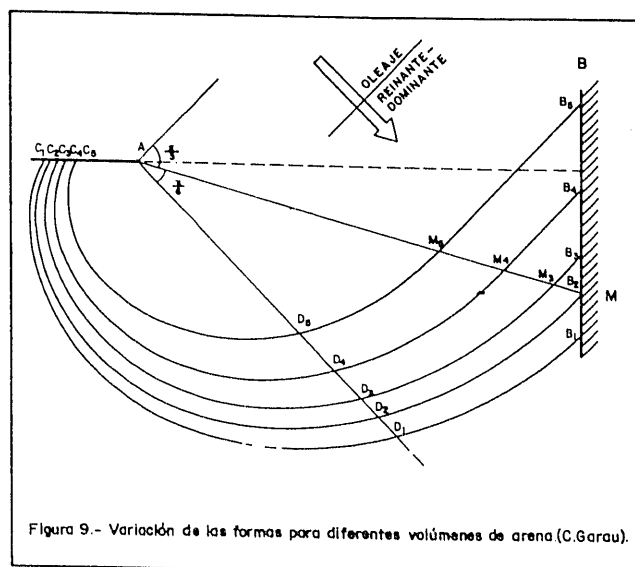


Figura 9.- Variación de las formas para diferentes volúmenes de arena (C.Garau).

desembocadura. Si es superior la capacidad de transporte longitudinal, podrá o no producirse el apuntamiento según sea la importancia de los efectos derivados de la corriente fluvial (que se comporta en ciertas ocasiones como si se tratase de un espigón con determinada permeabilidad), etcétera.

Por otra parte, la figura 8 pone de relieve un hecho notable. Si adoptamos cualquier línea AB_i como «línea de control» de R. Silvester y veremos saber cual es el máximo entrante en la dirección perpendicular a la línea AB_i, se cumplirá:

$$\frac{a_i}{b_i} = \frac{\text{sen } \beta_i}{e \beta_i / \sqrt{3}} \quad [9]$$

según se desprende de la reconstrucción, para cada caso, de la figura 4 para dicha línea AB_i.

Es por ello que la expresión «9» no tiene ningún valor intrínseco para la utilización del «compás de playas». Lo cual no quita el enorme significado que tiene el hecho de que los análisis de R. Silvester implican una comprobación experimental de una sencilla aplicación de mis postulados a sus hipótesis de partida.

Por el contrario, para el análisis de R. Silvester la relación [9] se convierte en dato de partida esencial, y por ello buscó su determinación experimental. Es decir, para mí la relación «9» es una consecuencia de un hecho experimental mucho más elemental, que se resume en mis postulados; para R. Silvester la expresión [9]

constituye el hecho experimental más completo del que parte directamente para sus análisis.

7. RESUMEN Y CONCLUSION

Hemos visto como el análisis que realiza R. Silvester (8, 9 y 10), puede reducirse a una utilización de mis postulados (1 y 6), en una determinada hipótesis restrictiva de la acción de los oleajes.

Hemos visto las diferencias entre el hecho físico analizado por R. Silvester y por C. Garau (fig. 7) y cómo ello conduce a una contradicción tan sólo aparente, entre ambas teorías.

Hemos visto que en el fondo la variabilidad de «a/b» en función del ángulo « β » no responde a una relación causal, si no a una mera propiedad geométrica de la figura formada por una espiral logarítmica (de característica $\phi = 30^\circ$ y centro en el saliente), tangente a una recta paralela al oleaje.

Hemos visto el extraordinario ajuste de la relación «6» y «8» a los datos experimentales de R. Silvester (fig. 6) y la aclaración del origen de la desviación que pueden presentar algunos puntos, en razón de corresponder a realidades físicas que se apartan de las hipótesis de partida.

Tan perfecto ajuste constituye, por lo tanto, una comprobación experimental de una sencilla aplicación de mis postulados (1 y 6) a las hipótesis de partida de R. Silvester, es decir, una comprobación experimental de mis postulados.

8. RECOMENDACION

Espero que la reflexión de lo expuesto y la constatación de que los planteamientos de R. Silvester sobre la configuración de las playas, constituyen un caso particular deducible de mis postulados, induzca a muchos a «jugar» con el «compás de playas». Creo que si de verdad siguen con paciencia y tesón mis exposiciones, al final verán luces bastante más claras de los que les tiene acostumbrado el tema.

BIBLIOGRAFIA

1. GARAU, C.: «Aplicación de los principios del método de los "planos de oleaje" al estudio de los movimientos de arenas». R.O.P., julio, 1973.
2. GARAU, C.: «El rozamiento y la estabilidad de las playas». R.O.P., agosto, 1973.
3. GARAU, C.: «Comentarios. Playas lobuladas». R.O.P., julio, 1974.
4. GARAU, C.: «Reflexión del oleaje sobre la playa. Influencia del fenómeno sobre la configuración del perfil y de la forma en planta de la propia playa». R.O.P., diciembre, 1974.
5. GARAU, C.: «Ensayos en modelo reducido de las formas de la playa en los procesos de llenado y de vaciado lateral». Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona, sin publicar, 1973-1976.
6. GARAU, C.: «Condicionantes de la estabilidad de las playas. Análisis de la función polar de los salientes». R.O.P., enero, 1981. II Curso de Ingeniería Oceanográfica y Portuaria. Santander, 1979.
7. GARAU, C.: «Algunas consecuencias y aplicaciones del conocimiento de la función polar de los salientes». R.O.P., julio, 1982.
8. SILVESTER, R.: «Growth of cremulate shaped bays to equilibrium». Proceedings ASCE, mayo, 1970.
9. SILVESTER, R.: «Zeta bays, pocket beaches and healand control». Proceedings 17th Coastal Engineering Conference, 1980.
10. SILVESTER, R.: «Use of cremulate shaped bays to stabilize coasts». Proceedings 13th Coastal Engineering Conference, 1972.

Carlos Garau Sagristá.



Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. D. A. D. IESE (Universidad de Navarra). Especialista en Ingeniería de Costas. Ha sido jefe regional de Costas de Cataluña (1964-1973) y profesor de Puertos en la ETS de I. de C. C. y P. de Barcelona (1977 a 1979). Es autor de diversos artículos sobre los temas de la génesis, razón de ser y formas de estabilidad de las playas, y de conferencias y ponencias sobre temas litorales.