

Formas rítmicas en playas (*)

Por ANTONIO LECHUGA ALVARO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Centro de Estudios y Experimentación de Puertos
y Costas, MOPU

En el presente trabajo se establecen las características más sobresalientes de esas curiosas formas rítmicas, "beach cusps" que aparecen en algunas playas, indicando su mecanismo de generación según la teoría más generalizada hoy día. De acuerdo con ésta, se las supone relacionadas con las llamadas ondas de orilla, "edge waves". Un sistema de resonancias entre el oleaje incidente y las citadas ondas de orilla podría explicar su formación, crecimiento y equilibrio. Nos referimos finalmente a un caso observado en la costa atlántica de Cádiz.

1. INTRODUCCION

En algunas playas que cumplen determinadas condiciones que intentaremos precisar más adelante, aparecen esas curiosas formas rítmicas en su topografía que se conocen con el nombre de «beach cusps». Este modelo longitudinal, de diferentes dimensiones, conserva una relativa uniformidad a lo largo de la playa. Dichas formas se producen en zonas de muy distinta granulometría, que va desde arena muy fina a gravas gruesas. En principio se estima que todos los tipos de «beach cusps» responden a las más complejas causas generadoras, como veremos.

La aparición de estas formas en una playa podría considerarse como un episodio anecdótico sin incidencia real sobre sus condiciones de uso y estabilidad. Sin embargo, algunas de las características, tanto del oleaje (períodos, tipo de rotura), como de los perfiles transversales favorables a su formación, nos pueden dar indicaciones sobre la probable evolución de la playa. Esto último muestra la importancia real de su estudio, ya que en determinados casos pueden ser como una especie de aviso previo del comienzo de una situación erosiva.

Este modelado longitudinal puede incidir con alguna permanencia en playas de adecuadas características, y, por el contrario, puede ser altamente inestable y variable en otras en donde sólo se trata de inicios de formación por su irregularidad. En la costa española aparecen algu-

nos casos conspicuos junto con otros no claramente marcados. A todo esto intentaremos referirnos a continuación, comenzando por definir algo más precisamente lo que se entiende por «beach cusps». Seguidamente estudiaremos las causas de su generación siguiendo las modernas investigaciones sobre el tema. Por último, tras analizar un ejemplo en la costa atlántica de Cádiz (cabo de Trafalgar), intentaremos extraer consecuencias y conclusiones respecto a la probable relación de este modelado con las situaciones progresivas o regresivas de las playas en donde se presenta.

2. «BEACH CUSPS»

Las «beach cusps» son formaciones topográficas rítmicas de una longitud de onda casi regular a lo largo de una playa. Esencialmente se pueden definir como una sucesión de zonas cóncavas hacia el mar, separadas por crestas de nivel más elevado que se encuentran conectadas generalmente a la berma de la playa. Una idea de su aspecto se ofrece en la figura número 1. El rango de dimensiones es muy extenso, variando su longitud de onda, L , entre unos pocos o varios miles de metros. Se les aplican diversos nombres dependiendo de estas: (1) típicas «beach cusps», entre 8 y 25 metros. (2) «cusps» de temporal, entre 70 y 120 metros. (3) «cusps» gigantes, entre 700 y 1.500 metros. Guza, Bowen e Inman, que son los autores que más profundamente han estudiado estos fenómenos (véase bibliografía), señalan que quizá no todas las «cusps» señaladas correspondan a las mismas causas, por lo que no conviene

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de julio de 1983.

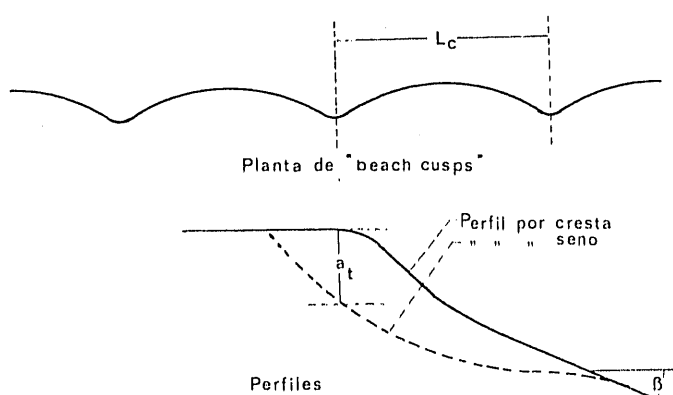


Fig. 1.

hacer demasiado énfasis en su clasificación por dimensiones. Respecto a su altura, a , en la figura, puede variar entre algunos centímetros a algo más de un metro.

Como ya hemos señalado, su presentación es prácticamente independiente de la granulometría del material de la playa, aunque dado que están ligadas, como veremos, con pendientes acusadas el tamaño del árido suele ser algo grueso (estadísticamente hablando).

En la costa española existen playas donde se presenta con bastante persistencia este modelo rítmico. Entre las que nosotros conocemos, hemos de destacar las siguientes: (1) Playa de Yas o Lobás, en el golfo de la Masma, al Oeste de la Ría de Foz, en Lugo. Su longitud de onda típica oscila entre 35 y 40 metros. (2) Playa de Zahora, al Norte del cabo Trafalgar, en Cádiz, con $L_c = 25$ metros. (3) Playa de las Canteras, en las Palmas de Gran Canaria. En este caso su longitud de onda es algo mayor, entre 55 y 60 metros. Como vemos, estos tres ejemplos corresponden al Océano Atlántico, y son playas relativamente expuestas y rodeadas en mayor o menor medida por bajos rocosos.

Tradicionalmente se ha considerado que estas formas se presentaban con oleaje incidiendo normalmente en la playa y de una manera intuitiva se intentaba explicar su aparición mediante el efecto de refracción producido por una perturbación inicial en la topografía de una playa de pendiente uniforme. En la actualidad, mediante las investigaciones de los autores citados con anterioridad, se conoce bastante bien el mecanismo de su generación en base a la aparición en la línea de costa de las llamadas ondas de orilla o «edge waves».

La teoría y la subsiguiente experimentación sobre la interrelación entre formas rítmicas y

ondas de orilla ha confirmado la mayoría de las ideas intuitivas que sobre aquéllas existían con anterioridad, en particular la necesidad de una incidencia normal del oleaje y la fuerte pendiente de la playa, aunque en determinados casos también pueden presentarse con incidencia oblicua, como veremos.

3. ONDAS DE ORILLA

Las ondas de orilla, o «edge waves», se definen como movimientos ondulatorios periódicos del agua a lo largo de la costa. Se pueden presentar como oscilaciones libres en los bordes de las extensiones acuáticas y tienen carácter progresivo o estacionario. Su periodicidad espacial a lo largo de la línea de costa contrasta con su perfil aperiódico y dependiente de su «modo» en sentido perpendicular a la misma. Se manifiestan en costas rectilíneas o ligeramente curvadas de pendiente uniforme.

La importancia de su estudio viene marcada precisamente por el hecho, señalado por A. J. Bowen y D. L. Inman en 1969, de ser la causa generadora de las formas rítmicas topográficas que hemos visto con anterioridad. Dicha circunstancia se produce debido a la excitación resonante de las «edge waves» por el oleaje incidente, siendo ésta una de sus características más sobresalientes. Otra es el no poder radiar energía desde las zonas de orilla a las aguas profundas, por lo que su disipación sólo puede deberse a la fricción y a su interacción con el oleaje y las corrientes.

En este momento hay que hacer una distinción entre los llamados sistemas reflectivos y sistemas disipativos de energía. En los primeros el oleaje incidente es reflejado en la playa, correspondiendo su rotura a los tipos «surging» y «collapsing» de la clasificación de Galvin. Por el contrario, en los sistemas disipativos la rotura es claramente «plunging», con pérdida de energía por propagación de la ola rota. Según esto, la teoría de las ondas de orilla se ajusta mucho mejor a los sistemas reflectivos, aunque no de una manera excluyente.

La teoría matemática de las «edge waves» se debe fundamentalmente a Eckart (1951) y Ursell (1952), aunque su desarrollo más reciente es obra de Bowen e Inman (1969-1970), Guza e Inman (1975, 1978 y 1981) y otros que se citan en la bibliografía. Enunciaremos brevemente la teoría de Eckart para aguas poco profundas.

Según ésta, la solución del potencial de velocidades para la onda de orilla es:

$$\phi = \frac{g \cdot a_n}{w_n} \cdot L_n(2kx) \cdot e^{-kx} \cdot \cos ky \cdot \cos w_n t$$

en la cual:

a_n es la amplitud en $x = 0$, x la coordenada normal a la costa, y la coordenada a lo largo de la costa, k el número de onda en la dirección de la costa, w_n la frecuencia de la onda de orilla, n el modo y $L_n(2kx)$ los polinomios de Laguerre de orden n . Para los modos $n = 0, 1$ y 2 , su valor es:

$$L_0(2kx) = 1$$

$$L_1(2kx) = 1 - 2kx$$

$$L_2(2kx) = 1 - 4kx + 2k^2x^2$$

Según esta solución, la relación de dispersión se escribe:

$$w_n^2 = gk(2n + 1) \cdot \operatorname{tg} \beta$$

siendo $\operatorname{tg} \beta$ la pendiente de la playa.

Los perfiles de la superficie del agua valdrán:

$$\eta = \frac{1}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t} = a_n \cdot L_n(2kx) \cdot e^{-kx} \cdot \cos ky \cdot \sin w_n t$$

Su representación en dirección normal a la costa para un instante determinado para los modos 0, 1, 2 y 3 se expone en la figura número 2. En abscisas aparece la variable no dimensional, χ , cuyo valor es:

$$\chi = \frac{w_n^2 \cdot x}{g \cdot \operatorname{tg} \beta}$$

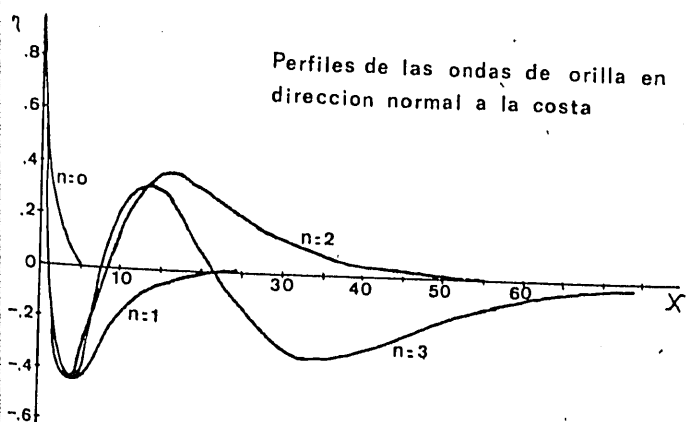


Fig. 2.

Una vez esbozada la teoría matemática de las ondas de orilla estamos en condiciones de abordar el aspecto más interesante, que es sin duda su excitación por el oleaje incidente. En efecto Guza y Davis (1974) señalaron que en una playa de pendiente uniforme el oleaje incidente normal cuando es fuertemente reflejado puede excitar a las «edge waves» de bajo modo mediante un mecanismo de resonancia.

Experimentalmente se comprueba que las ondas de orilla más susceptibles de ser excitadas son las subarmónicas de modo cero $n = 0$, y de frecuencia mitad que la del oleaje incidente, $w_n = 1/2 w_i$. En este caso el período T_n será igual a $2 \cdot T_i$, siendo T_i el período del oleaje. Existe además una limitación en cuanto a la amplitud a_i de dicho oleaje, ya que por una parte ha de superar determinado valor para que no se produzcan mecanismos de disipación viscosa, y por otra debe acotarse superiormente para estar dentro del campo de los sistemas reflectivos. Simplificando se puede decir que el parámetro, r , cuyo valor es:

$$r = \frac{a_i \cdot w_i^2}{g \cdot \operatorname{tg}^2 \beta}$$

marca el límite entre los sistemas.

Para $r > 2$ nos encontramos ante un sistema disipativo, y para $r < 2$ ante un sistema reflectivo. Es esta última, por tanto, la limitación impuesta a la excitación de las ondas de orilla por el oleaje incidente.

Guza y Davis señalaron también que a veces «edge waves» del mismo período que el oleaje incidente son excitadas por un oleaje fuertemente reflejado en la playa. Esta excitación sincrónica es la responsable de la formación de las «rip currents» o corrientes de retorno. Hasta aquí nos hemos referido a un oleaje incidente normalmente. En el caso de oleaje con incidencia oblicua, Guza y Bowen (1975) estudiaron el mecanismo de resonancia comprobando que ésta se establece entre dicho oleaje y dos sistemas progresivos de ondas de orilla que se propagan a lo largo de la playa con direcciones contrarias. En general, ambos serán de diferente período y número de onda; sin embargo, cuando la oblicuidad es pequeña o existen obstáculos naturales o artificiales que limitan la playa se puede establecer un conjunto estacionario modulado de ondas de orilla que se desplaza lentamente a lo largo de ésta.

Ya que son, presumiblemente, las «edge

waves» estacionarias las generadoras de las formas rítmicas en playas, y en particular las subarmónicas de modo cero, estamos en condiciones de calcular su espaciamento o longitud de onda L_c (véase la fig. 1). Dada la relación de dispersión, $w_e^2 = gk(2n+1) \cdot \operatorname{tg} \beta$, $k = \frac{2\pi}{L_c}$, tendremos:

$$L_c = \frac{2\pi \cdot g}{w_e^2} (2n+1) \cdot \operatorname{tg} \beta, \text{ como } w_e = 1/2 w_i,$$

y a su vez $L_c = 1/2 L_{ci}$, será:

$$L_c = \frac{4\pi \cdot g}{w_i^2} (2n+1) \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{g \cdot T_i^2}{\pi} (2n+1) \cdot \operatorname{tg} \beta, \text{ para } n=0,$$

$$L_c = \frac{g \cdot T_i^2 \operatorname{tg} \beta}{\pi} (*)$$

4. UN EJEMPLO EN LA COSTA DE CÁDIZ

Como hemos indicado anteriormente, en la playa de Zahora, al Norte del cabo de Trafalgar, se producen frecuentemente estas formas rítmicas. Su persistencia y regularidad es realmente notable, por lo que nos pueden servir de ejemplo. Mediante la obtención de perfiles sucesivos en una pequeña zona de playa resguardada en el extremo Sur de la anterior, observamos su formación y sus características más esenciales. Las mediciones se efectuaron entre el 18-VIII-82 y el 25-VIII-82. Hasta el día 24 la playa no presentaba ninguna perturbación rítmica, siendo su pendiente relativamente uniforme, aunque bastante fuerte. El día 25 aparecen unas «beach cusps» muy bien marcadas, con las dimensiones indicadas en la figura número 3, donde se reflejan los perfiles por cresta y por seno. Como vemos, el perfil por el seno conserva una cierta convexidad en correspondencia con lo que sería el extremo de la berma.

Teniendo en cuenta que el valor de la pendiente de la playa antes del día 25 se puede estimar como:

$\operatorname{tg} \beta = 0,0574278$, $\beta = 3,28676^\circ$, y que la longitud entre crestas es de $L_c = 25,5$ metros, podemos calcular por medio de (*) el período del oleaje incidente que se corresponde, al menos teóricamente, con la aparición de este modelado.

Tendremos $T_i = 11,93$ sg., que concuerda

aceptablemente con los valores observados del período del gran «swell» oceánico en la zona. La amplitud, a_i , de las «beach cusps», siguiendo a Guza y Bowen, tendría un valor máximo para unas condiciones dadas que dependería no solamente del oleaje incidente y de las características de la playa, sino también de la propia forma rítmica del modelado. La explicación de esto último es la siguiente: Si, como hemos señalado, la causa generadora de los «beach cusps» es la resonancia entre las ondas de orilla de frecuencia, $w_e = 1/2 w_i$, y el oleaje, conforme se va produciendo su formación va variando la frecuencia natural, w_e , de las citadas ondas, ya que dicho valor correspondía en un principio a pendiente uniforme y ahora ésta se encuentra alterada por las formas rítmicas. Este efecto limitador de la amplitud se conoce como «detuning» (desintonización). De no existir tal, los autores citados señalan que:

$a_{i\max} \ll 0,02 g T_i^2 \operatorname{tg}^2 \beta$; aproximadamente 10 cm. en nuestro caso, lo que indica, dado que $a_i = 44$ cm. en la playa de Zahora, la importancia de este efecto.

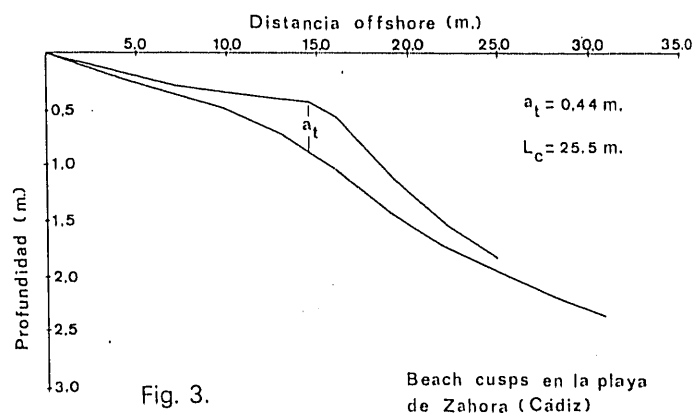


Fig. 3.

Beach cusps en la playa de Zahora (Cádiz)

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta todo lo apuntado anteriormente, podemos resaltar las siguientes conclusiones:

- La teoría matemática de las ondas de orilla explica con suficiente aproximación la generación y el equilibrio de las formas rítmicas longitudinales en playas, en base a la excitación resonante de aquéllas por el oleaje incidente.
- Las «beach cusps» se producen prioritariamente en sistemas reflectivos, lo cual implica playas relativamente pendientes

y rotura del oleaje de tipo «surging» o «collapsing». Se necesita una amplitud mínima de la ola para superar la disipación viscosa.

- Si en una determinada formación arenosa aparecen acumulaciones rítmicas no observadas frecuentemente en el pasado, esto puede ser índice de un aumento en la pendiente del perfil, por lo que, de no mediar otras circunstancias, cabría pensar en el comienzo de una situación erosiva. Algo así hemos constatado en nuestro reciente estudio sobre la playa de la Victoria (Cádiz).

BIBLIOGRAFIA

- BOWEN, A. J.: «Rip currents, 1, Theoretical investigation». *Journal of Geophysical Research*, 74, 1969.
- BOWEN, A. J., e INMAN, D. L.: «Rip currents, 2, Laboratory and Field Observations». *Journal of Geophysical Research*, 74, 1969.
- GUZA, R. T., y BOWEN, A. J.: «The Resonant Instabilities of Long Waves Obliquely Incident on a Beach». *J. Geophys. Res.*, 80, 1975.
- GUZA, R. T., y BOWEN, A. J.: «Finite amplitude edge waves». *Journal of Marine Research*, 34, 2, 1976.
- GUZA, R. T., e INMAN, D. L.: «Edge Waves and Beach Cusps». *Journal of Geophysical Research*, 80, 1975.
- GUZA, R. T., y BOWEN, A. J.: «On the Amplitude of Beach Cusps». *Journal of Geophysical Research*, 86, 1981.
- HOLMAN, R. A., y BOWEN, A. J.: «Edge Waves on Complex Beach Profiles». *J. Geophys. Research*, 84, 1979.
- HUNTLEY, D. A.; GUZA, R. T., y THORNTON, E. B.: «Field Observations of Surf Beat. 1. Progressive Edge Waves». *J. Geophys. Research*, 86, 1981.