

INVESTIGACION SOBRE LA ZONA DE REFLEXION. CONFIRMACION DE UNA TEORIA

Carlos Garau Sagristá
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Las investigaciones sobre la zona de reflexión de una playa de Queensland, Australia, aportan interesantes datos que permiten contrastar las teorías de C. Garau sobre el perfil de equilibrio. Las conclusiones de la investigación, según su propio autor A.W. (Sam) Smith, son desalentadoras. Pero analizados los datos a la luz de la teoría de C. Garau, los resultados adquieren coherencia y confirman dicha teoría.

1. Motivación y contenido

La zona de reflexión constituye, a través de sus fluctuaciones espacio-temporales, la parte más importante de una playa desde el punto de vista paisajístico o turístico, ya que corresponde prácticamente a lo que puede llamarse playa sub-aérea, emergida o visible.

Las frecuentes aplicaciones que, para el análisis de diferentes problemas de playas, he venido haciendo de mi teoría sobre el perfil de equilibrio de la playa, no han hecho sino confirmar mis propias convicciones. Sin embargo, mi descripción queda muy distanciada de ciertas convicciones asumidas por la mayoría de los investigadores en esta materia, y creo que por ello mis teorías no están recibiendo la consideración que merecen.

La publicación en la revista *Shore and beach*, julio 1990, de un artículo de A.W.(Sam) Smith referente al estudio de la pendiente de la zona de reflexión de una playa, Broadbeach, de Queensland, Australia, me brinda posibilidad de contrastar sus resultados con las predicciones de mi teoría. El artículo de Smith ofrece además una interesante descripción de los fenómenos hidráulicos en el entorno de la orilla. Por otra parte el propio análisis de sus resultados es muy ilustrativo de lo que ocurre al desarrollar teorías de caja negra en ingeniería de costas. Tanto es así que, aprovechando el reducido volumen del artículo, se transcribe aquí íntegramente, en el capítulo 2, procurando mantener el sentido literal de sus expresiones.

Tan sólo una licencia en mi traducción, pues la tan asumida denominación inglesa «swash zone» pasa a ser «zona de reflexión» en castellano, siguiendo mi reiterada alusión al principal fenómeno que la caracteriza. Como colofón a esta excelente aportación de Smith he considerado conveniente llamar la atención sobre varios aspectos, que se presenten en tres notas. El número correspondiente a cada nota se ha intercalado entre paréntesis en el texto de Smith.

Las Figuras de Smith se reproducen junto con su artículo sin modificación alguna, afin de que el lector pueda comprender mejor las afirmaciones y conclusiones del autor. Más adelante algunas se reproducen nuevamente, dibujando sobre ellas las curvas que según mi teoría deben separar las situaciones erosivas de las constructivas, así como el haz de curvas que recoge la influencia de las variaciones de nivel.

En el capítulo 3 se destacan algunos de los principios y relaciones entre variables de mi teoría, a fin de facilitar el estudio de los datos de la investigación de Smith. En el capítulo 4 se analizan los diferentes diagramas en que Smith ha representado los datos. Según se verá, mi teoría permite definir cualitativamente la forma de las curvas de tendencia central, que deberían separar los datos, y una vez ajustadas dos de ellas (en las Figuras 4 y 7 tal como se ha procedido) las constantes que de ambas se deducen permiten predecir las curvas de tendencia central de los otros cuatro diagramas. Algunos de los resultados del análisis se destacan a modo de conclusiones en el capítulo 5.

A pesar de la notable dificultad que ofrece la existencia de una importante carrera de marea astronómica, que alcanza valores de 2,5 metros, el contraste de los resultados permite definir el tamaño medio de la masa sedimentaria de la Broadbeach, dato que no se aporta en el artículo. De todo el análisis se desprende. Creo yo, la confirmación de mis teorías.

2. Transcripción del artículo publicado en la Revista «Shore and Beach» (julio, 1990, págs. 26 a 29)

Pendiente de la zona de reflexión (Swash) de una playa oceánica

Por A. W. (Sam) Smith

La zona de reflexión de una playa natural es quizás la más dinámica y variable de todo el sistema sedimentario. En una playa oceánica, la zona de reflexión se mantiene en un continuo estado de flujo y cambio debido a la interacción entre las olas, las mareas y los sedimentos de la playa. La construcción de la zona de reflexión es resultado obvio de un propósito de la naturaleza. La función de la zona de reflexión es aceptar y absorber (1) cualquier residuo de la energía de la ola resultante tras la secuencia de rotura. Ostensiblemente, cabría esperar que la zona de reflexión fuese un dominio simple, conteniendo procesos sencillos controlados por leyes simples. Desgraciadamente para los ingenieros de costas, la verdad es lo contrario, la zona de reflexión de una playa es remarcadamente compleja y caracterizada por una variabilidad salvaje. Lo que sigue se basa en observaciones hechas por el autor a lo largo de las playas de Gold Coast, Queensland, Australia.

La variabilidad es consecuencia de diferentes propiedades hidráulicas de las funciones de fuerzas aplicadas a la zona de reflexión. La forma del movimiento de la ola que finalmente remonta la zona de reflexión puede ser una limpia ola rompiente, un resalto hidráulico, o la simple masa que refluye tras su ascenso y pérdida de energía orbital. El tipo de flujo final es controlado por lo que previamente ha ocurrido a la ola de altamar, durante su asomeramiento y proceso de rotura y por las regularidades y variables características del oleaje de altamar. Un solo frente de olas de altamar, con alturas de cresta y peraltes variables, puede terminar con diferentes longitudes de la zona de reflexión y en forma de rompiente, resalto, o flujo laminar, y esta situación puede cambiar (y frecuentemente lo hace) de una ola a otra. Así, al igual o quizás más que la zona de asomeramiento de la playa, el comportamiento de la zona de reflexión es controlada esencialmente por los umbrales de energía y los tiempos de relajación. Los cambios en la zona de reflexión son dominados por las acciones de máxima energía, como ocurre en la mayoría de los sistemas de la playa.

La ola mayor de un tren de ondas puede reformar la playa en segundos, mientras que el siguiente centenar de olas más pequeñas no modifican nada. Y además tal cambio puede ser afectado

exclusivamente por una parte (el máximo) de un frente individual de ola.

Es éste el fenómeno que origina los efectos retardados o los efectos de «memoria» de la playa. Por otra parte, este proceso no se restringe a la hidráulica de la playa. Los sedimentos pueden seguir un comportamiento similar. La zona de reflexión de la playa es prácticamente la única parte del sistema donde los procesos hidráulicos tienen forma predominantemente fluvial. A diferencia de los fondos de la zona de rotura, donde los movimientos de la ola que afectan a los sedimentos son principalmente verticales, en la zona de reflexión la grapa de la ola remonta la playa, se para y retrocede (2): equivale básicamente a un flujo reversible casi horizontal. En el flujo fluvial, todos los sedimentos pueden ser seleccionados, cernidos y transportados diferencialmente, y ello conduce a un amplio rango de desfases dinámicos y ajustes del sedimento móvil.

La zona de reflexión está constituida por este tipo de procesos. Puede observarse que los sedimentos tienden a ser más gruesos en la parte inferior de la zona de reflexión y la formación de capas se aprecia en todas sus partes.

Aunque la zona de reflexión aparece como si fuese tan sólo bidimensional, realmente es tridimensional. Las mareas locales tienen un máximo de 2,5 m, altura mucho mayor que cualquier remonte de la ola salvo durante los máximos temporales. Ello significa que en condiciones medias, la forma de la zona de reflexión acompaña a la marea salvo que, al bajar la marea, la zona de reflexión de marea alta queda relicta. Por razón similar, cuando sube la marea hasta su máximo, la zona de reflexión de marea baja puede quedar tan profunda que quede bajo la zona de rompientes; es decir, por debajo del campo de movimiento de la ola final. Esto también se traduce en una formación relicta de la marea, que no volverá a ser activa hasta la siguiente marea. Por consiguiente, entre mareas, sólo una parte de la carrera de marea será operacional en la zona de reflexión, parte del tiempo, y de ello dependerá de la ola final y su relación con la carrera de marea.

La intensidad de la energía aplicada por las olas a la zona de reflexión también depende del estado de la ola cuando alcanza la playa visible. Una ola rompiente final aplica un impacto, una energía orbital y un flujo. Un resalto aplica energía orbital y flujo. Un simple remonte aplica flujo laminar exclusivamente. En términos generales, las relaciones entre energía de flujo laminar, de resalto, y orbital de la ola puede ser groseramente 1:4:16. Ello explica porqué los efectos de retardo y de memoria pueden ser tan intensos; los rangos de energía en los trenes de onda, incluso de los oleajes de fondo normales, son muy amplios. En muchos círculos se presume que la forma de la zona de reflexión es función directa de las propiedades del tren de oleaje de altamar. Desgraciadamente para el investigador de campo, esto no es así en absoluto. La zona de reflexión sólo responde a la energía hidráulica de la ola que realmente la alcanza. Ello indica que es crucial el impacto del número de veces que la ola de altamar ha roto y se ha reordenado antes de alcanzar la zona de reflexión.

Cuando se observa la playa, los procesos de rotura y reordenación parecen muy simples, pero al

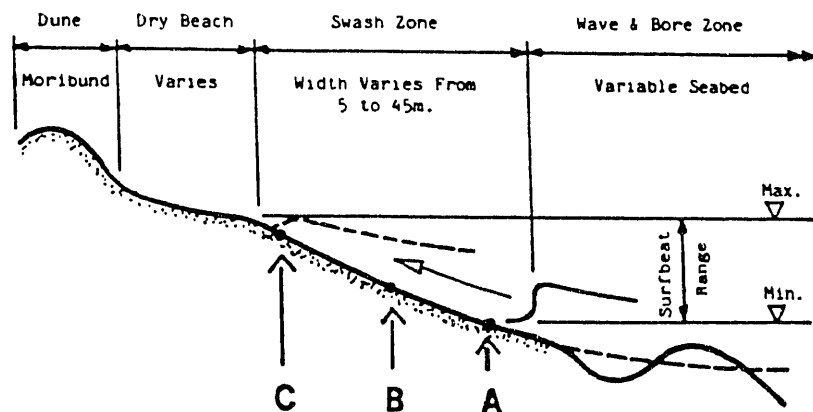
mismo tiempo acompañados de efectos de umbral y de comportamiento reológicos. La regla básica es que, cuando la playa está "en régimen", la ola rompe al alcanzar su propia profundidad y se reordena de nuevo como un resalto o como una ola de altura igual a la mitad de la que tenía antes de romper. Así una ola de 4 metros en altamar, romperá sobre su barra exterior y se convertirá en una ola de 2 metros. Esta romperá nuevamente en la barra interior convirtiéndose en un resalto de 1 metro que se consumirá sobre la playa visible.

De forma similar, una ola de 2 metros romperá y se convertirá en una ola de 1 metro que rompiendo de nuevo remontará la zona de reflexión convertida en un resalto de medio metro. Sin embargo, una ola de 3 metros generalmente romperá y se reconstruirá con 1,50 metros de altura y ésta se convertirá, tras una rotura final, en un resalto de 0,75 metros en la zona de reflexión. En este caso, la ola de 3 metros en altamar se convierte en un resalto mayor, sobre la zona de reflexión, que una ola de 4 metros, mientras que las olas de 2 y 4 metros se convierten en un resalto final del mismo tamaño.

Otra variante del proceso de rotura puede afectar fuertemente el tamaño del último resalto. Cuando el fondo de la playa está próximo a la posición de régimen pero el oleaje es todavía inmaduro, los picos más altos del tren de olas pueden cambiar su exceso de energía potencial derramándose en las crestas de las olas. Si este proceso puede recorrer 50 ó 100 metros, puede reducir la altura de pico de la ola incidente, desde unos 3 metros hasta 2 metros, sin que se produzca una rotura propiamente dicha. De forma similar, la madurez del tren de olas controlará el tipo de rotura y la celeridad de los resaltos resultantes. Un oleaje inmaduro, conteniendo mayor proporción de energía potencial que cinética tenderá a romper en derrame, resultando una mayor celeridad de resalto que un oleaje maduro, el cual en situación de régimen rompe en cascada casi estacionaria. Es pues obvio que la zona de reflexión es controlada por la energía de la ola residual «resultante» y que el comportamiento de la ola se hace progresivamente más aleatorio y variable cuanto más se acercan las olas en su recorrido hacia la orilla.

Las máximas alturas de los resaltos que remontan la zona de reflexión guardan escasa relación con la ola originaria de altamar, pues los mayores resaltos están formados por dobles o triples resaltos de diferente celeridad que se superponen unos a otros formando los super-resaltos que pueden abalanzarse sobre la playa visible y cambiar la forma de la orilla, a veces de un solo golpe. Otras veces, para cambiar la forma de la playa, pueden hacer falta centenares de estos super-resaltos, que producen pequeños cambios acumulativos, pero es fácil ver que son siempre los mayores resaltos los que constituyen o destruyen la zona de reflexión. En todos los estadios y momentos, la variabilidad de la zona de reflexión es muy alta, pues la energía de la ola que controla su forma está relacionada con las acciones extremas o de pico (3). La definición de la pendiente de la zona de reflexión se esquematiza en la Figura 1.

En un intento de detectar una relación entre la

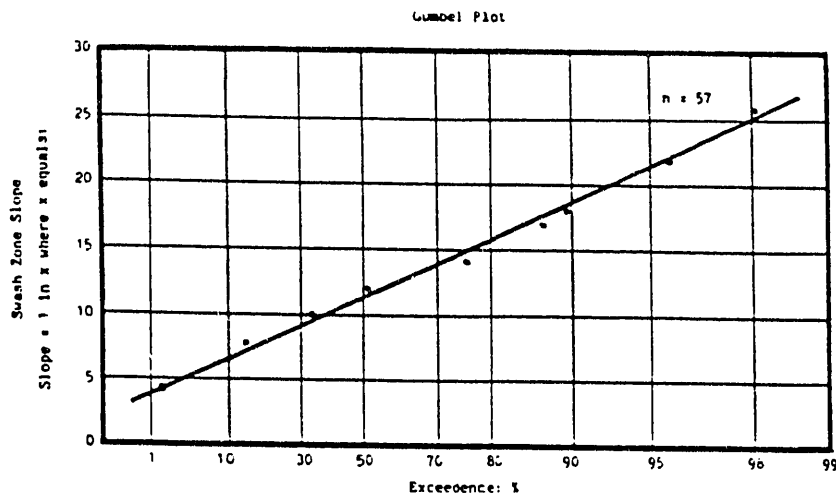


pendiente de la zona de reflexión y alguna probable función de las fuerzas hidráulicas, hemos examinado la playa de Gold Coast denominada Broadbeach, mediante mediciones diarias tomadas entre enero y febrero de 1989. Esto proporciona una serie de $n = 57$ muestras, ya que en dos días las olas eran excesivas impidiendo la medición de la pendiente de la playa. El primer test consiste en determinar la distribución de la población de pendientes de playa, y tal como se ven en la Figura 2, hay un buen ajuste con la distribución de Gumbel. Esto es lo que cabía esperar de un proceso controlado por acciones extremas. Además de los datos de oleaje y de pendiente de la playa, también se registraba el estado dinámico de la zona de reflexión; esto es, si la zona de reflexión se estaba construyendo, si se erosionaba o si era estable. Estos datos se indican en los otros diagramas como: cruz = construcción, círculo abierto = erosión, círculo cerrado = estable.

Como siguiente paso, se dibujó la pendiente de la playa versus la altura de la ola de altamar en la Figura 3, versus el período de la ola en la Figura 4, y la altura de ola de rotura final en la Figura 5. Sin embargo de ello no sacamos nada. Todos los puntos quedan dispersos, tendiendo a distribución de « tiro de escopeta » en todos los gráficos. Nuestras relaciones de causa y efecto no pueden

Figure 1. Definition of Prototype Swash Zone Slope. Slope readings made by placing clinometer (Abney Level) on surface at Points A, B, & C, and levelling the bubble. Slope = B reading for plane slopes or $= 1/2 (A+C)$ for concave-up slopes. Note that the wave and bore zone seabed offshore of A, may be plane, smooth or barred, as shown (with reverse slopes) depending upon dominance of previous memory or existing regime conditions. Locally, for majority of time, no sensible true «mean» slope can be assigned to this zone due to ongoing bar and irregular profile states. One often needs a long wait and a very quick run, to make Reading A! Convex-up slopes locally unknown.

Figure 2. The Swash Zone Slope Population Diagram.



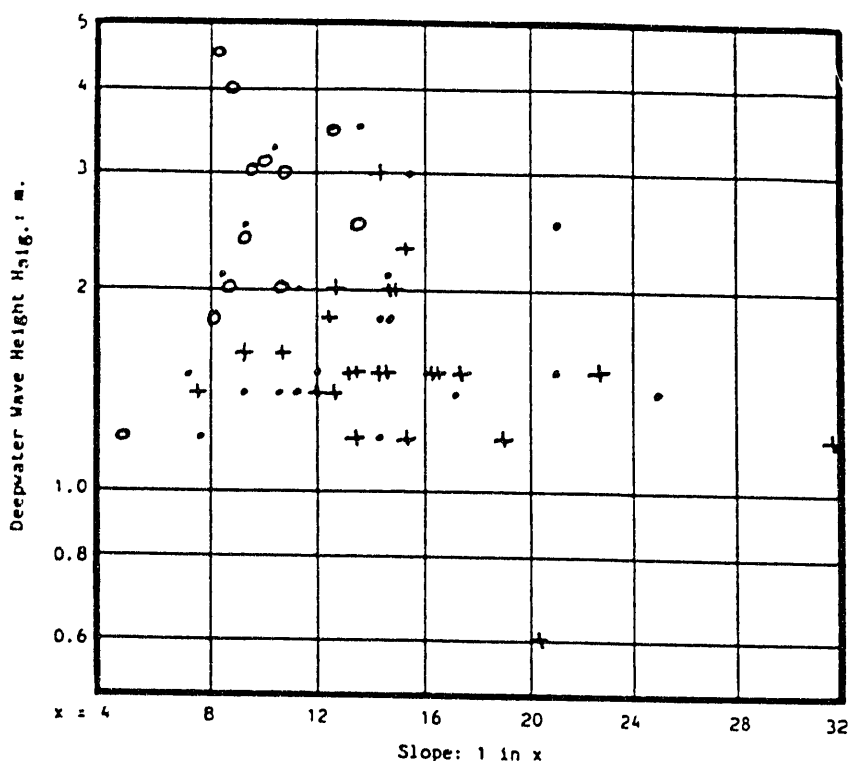
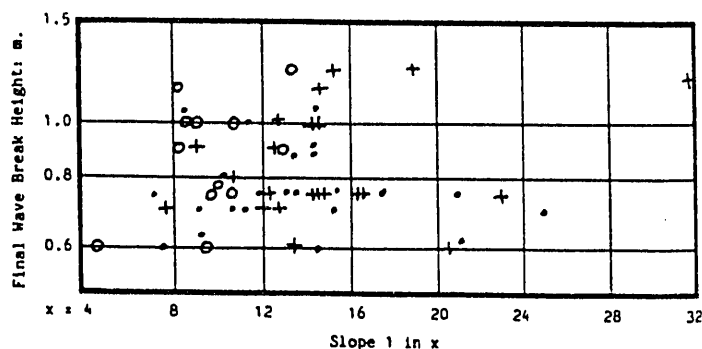
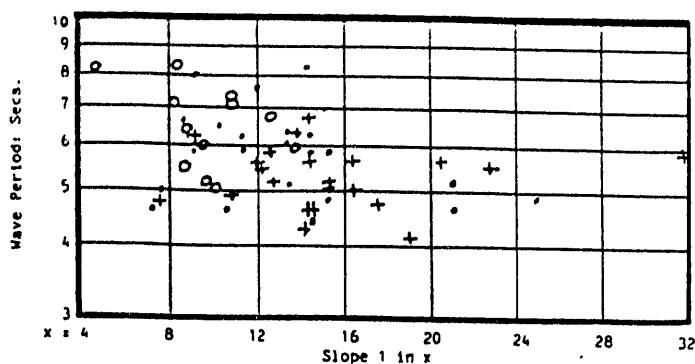


Figure 3. Swash Slope V
Deepwater Wave H_{sig}
Key: + = Build, o = Erode, • = Stable

estar en estos sencillos parámetros. A continuación estudiamos la energía de la ola como contrapunto. En primer lugar, dibujamos la pendiente de la playa versus el factor de energía de altamar, determinado por $T^2 H_{sig}^2$ en la Figura 6, pero éste resulta todavía más disperso y peor que en las primeras figuras. Todo lo que podemos decir de este gráfico es que parece corroborar nuestra afirmación de que lo que ocurre en la zona de reflexión tiene poco que ver con el tren de olas de altamar. Como alternativa estudiamos la energía de la ola rompiente final, en su forma de onda solitaria. La energía de una onda solitaria es proporcional $H^{3/2} D^{3/2}$, donde H es la altura de la ola y D la profundidad del agua bajo la ola. Dado que nuestras observaciones locales demostraban que la onda solitaria final rompe a profundidad igual a su altura, la expresión $H^{3/2} D^{3/2}$ se reduce a H^3 . Dibujamos estos valores nuevamente chasqueados; los puntos resultan incluso más dispersos

Figure 4. Swash Slope v
Wave Period. A la derecha
Figure 5. Swash Slope v
Final Wave Break Height
Key: + = Build, o = Erode, • = Stable



que en la Figura 6. Parece que la energía de la ola rompiente final no afecta a la geometría de la zona de reflexión.

Finalmente analizamos el parámetro de semejanza de la zona de rotura, generalmente expresado por $\tan \theta / \sqrt{H/L}$; o bien en nuestro caso, utilizando el período de la ola T, en lugar de la longitud de onda L, por T, $\tan \theta = \sqrt{H}$, siendo θ la pendiente de la playa. El resultado se muestra en la Figura 8 y no conseguimos gran cosa. Parece que hay un mejor ajuste que en otros diagramas, y que podemos dibujar una curva media entre los puntos, pero la dispersión sigue siendo excesivamente grande. Hay que señalar que se podía esperar cierta tendencia puesto que tenemos $\tan \theta$ en ordenadas y $\cot \theta$ en abscisas. En realidad hemos hecho una pequeña trampa.

Al considerar todos estos gráficos, cabía esperar instintivamente que si habíamos utilizado algún parámetro natural (cualquiera que fuese) que realmente controlase la zona de reflexión directamente, al graficarlo versus la pendiente los puntos correspondientes a erosión, construcción y estabilidad quedarían en grupos y zonas del gráfico. Esto no ha sucedido y los puntos quedan casi completamente mezclados entre sí en todos los diagramas. Este hecho debe interpretarse en el sentido de que todavía no hemos detectado el parámetro natural que controla la pendiente de la zona de reflexión de la playa.

¿Entonces, a dónde hemos llegado? Parece que a ninguna parte; ninguno de nuestros parámetros ordinarios que hemos contrastado muestra correlación real, y no estamos mejor que antes de comenzar el estudio. Las reglas que controlan la geometría de la zona de reflexión, todavía se nos escapan pero quizás ahora podamos conocer media docena de parámetros que no cumplen la tarea. ¡Y quizás esto es algo en definitiva!

Notas de C. Garau

(1) A mi juicio aquí le falta añadir: «o reflejar».

(2) Esto es exactamente lo que constituye la reflexión.

(3) Este apartado y los tres párrafos anteriores, describen los principales procesos de rotura que determinan la reducción de altura de la ola residual que acomete la zona de reflexión. Cuando el perfil se ha aproximado a la situación de régimen, dicha ola residual no puede rebasar la máxima admisible según mi teoría. En esta playa, como se verá más adelante, dicha altura de ola varía entre 0,60 m y 1,21 m. Interesa señalar que Smith describe alturas de ola residual

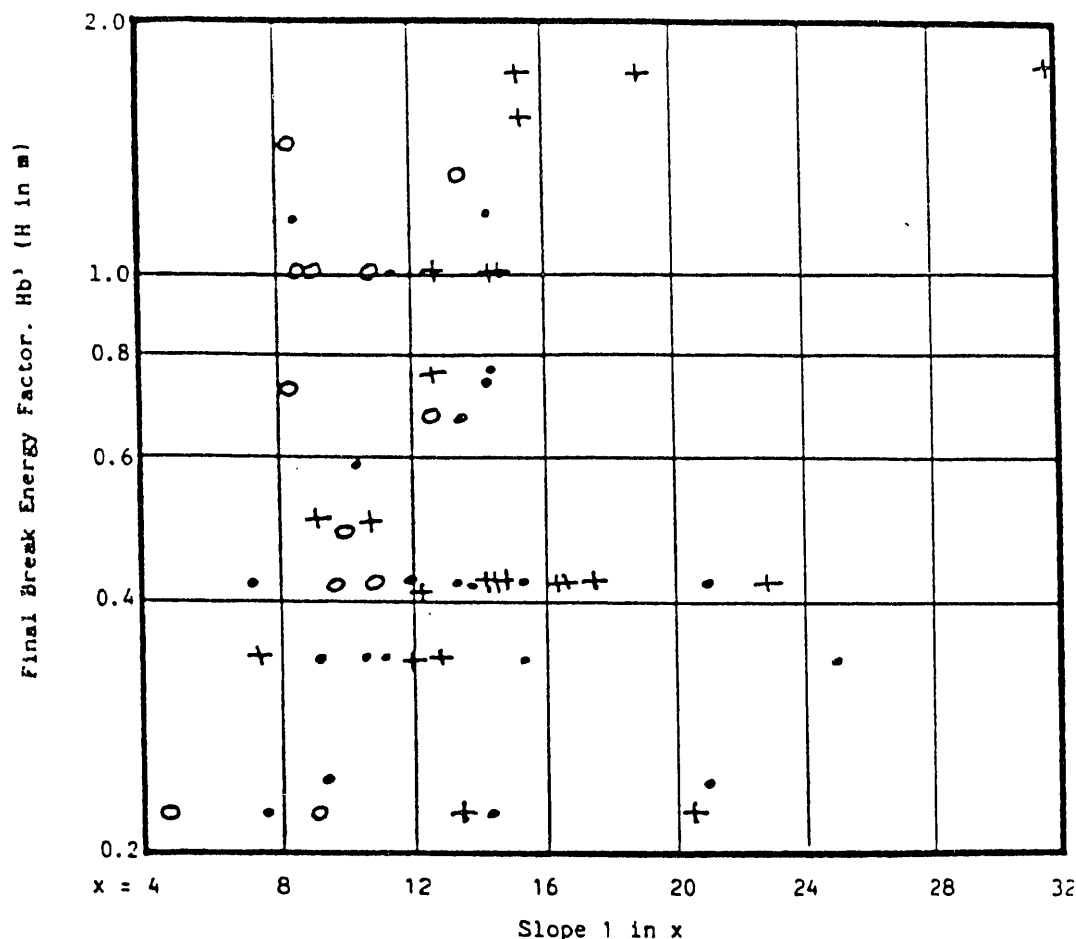
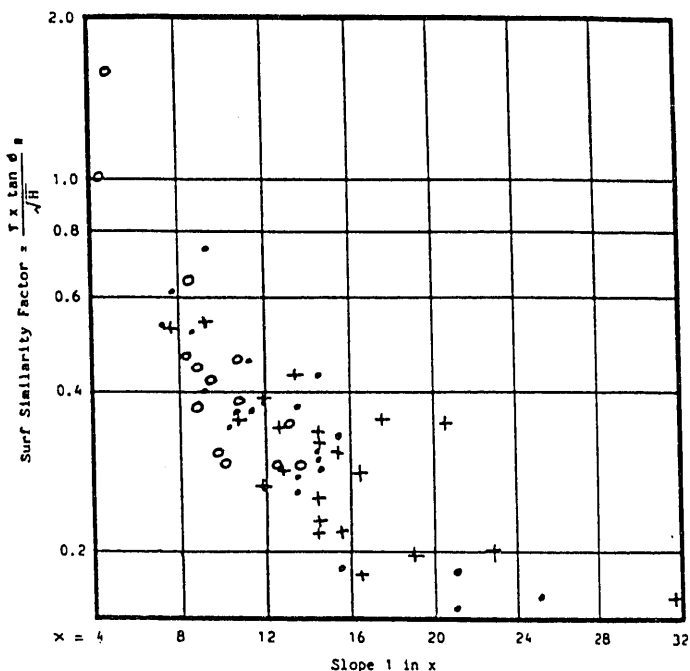
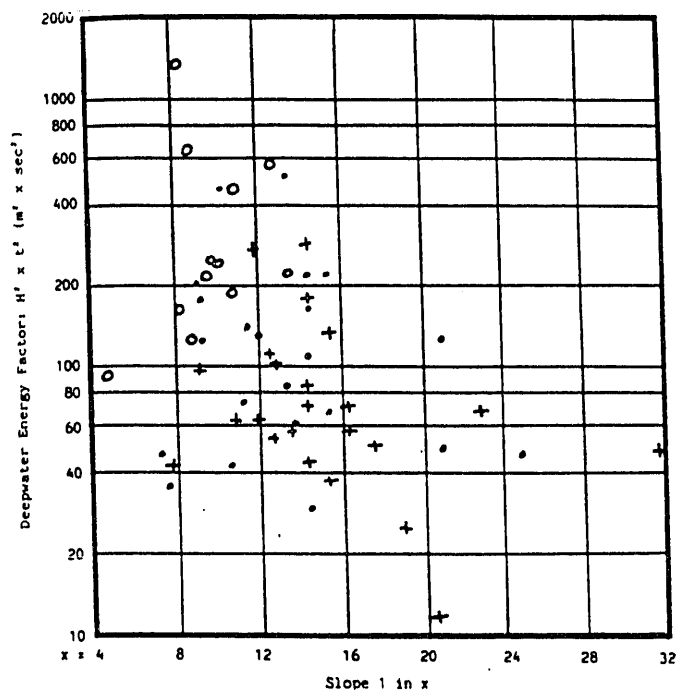


Figure 6. Swash Slope v Deepwater Wave Energy
Key: + = Build, o = Erode, • = Stable. A la derecha
Figura 8. Swash Slope v Surf Similarity Factor
*Where T = Wave Period Secs., O = Beach Slope, H = Deepwater Wave Height in m.
Key: + = Build, o = Erode, • = Stable. Abajo Figure 7.
Swash Slope v Final Breaking Wave Energy
Key: + = Build, o = Erode, • = Stable
Figure 7. Swash Slope v Final Breaking Wave Energy
Key: + = Build, o = Erode, • = Stable

en estos rangos por tratarse de una playa de arena gruesa ($D_{50} \approx 0.838$ mm, para que coincidan los valores medios teórico y real de la altura de la ola residual). De haber analizado una playa de arena fina, con $D_{50} = 0.20$ mm, por ejemplo, en las mismas condiciones de oleaje incidente,

con periodos comprendidos entre 4,15 y 8,3 segundos, habría obtenido alturas de ola residual comprendidas entre 0,09 m y 0,17 m, y en su análisis del avance de la ola habría observado nuevas roturas de la ola incidente, antes de alcanzar la orilla.

3. Principios de la teoría C. Garau a efectos del presente análisis

De una forma muy resumida, y a los simples efectos de analizar los datos de la investigación de Smith, de mi teoría sobre el perfil de la playa se pueden destacar los siguientes principios:

3.1. Altura de ola incidente

Los procesos de generación y propagación del oleaje determinan que la relación entre altura de ola y período sea del tipo definido por Iribarren:

$$H_s^T = 0,1276 T^{3/2} \quad [1]$$

siendo H_s^T la altura teórica del oleaje que sale del área de generación. En esta situación, el coeficiente Sea-Well será $K_w = H_s / H_s^T = 1$, el cual corresponde a las acciones que determinan el perfil medio o de equilibrio general de la playa, y muy especialmente la pendiente de la playa activa sumergida, m_s .

Cuando el oleaje ataca la playa estando dentro del área de generación, puede ocurrir que $K_w > 1$ y por tanto se estará en una situación erosiva respecto al perfil medio.

Cuando el oleaje ataca la playa tras un recorrido fuera del área de generación, generalmente se tendrá $K_w < 1$ y por tanto se estará en una situación constructiva respecto al perfil medio.

Sin embargo, no se puede olvidar que la condición erosiva o constructiva depende de la situación previa. Un oleaje en si constructivo puede encontrar un perfil previa construido con mayor énfasis y resultando circunstancialmente destructivo.

3.2. Altura de ola residual

La arena no puede resistir la rotura directa de la ola, salvo que tenga una altura despreciable, pero sí puede resistir la reflexión de determinada altura de ola, H_r , que depende de la velocidad de caída de las partículas en el seno del agua, V_f , y del período de la ola T a través de la sencilla relación:

$$H_r = 0,916 V_f T \quad [2]$$

3.3. Pendiente de reflexión

En condiciones de régimen o de equilibrio, es decir, cuando la playa sumergida y el desplazamiento de la orilla se han adaptado a las características del oleaje incidente, la altura de ola residual tendrá el valor dado por [2] y el talud de la zona de reflexión $\tan \delta$ será el que limita los fenómenos de reflexión y rotura,

$$\tan \delta' = \frac{8}{\sqrt{2g}} \frac{\sqrt{H_r}}{T} \quad [3]$$

según la conocida expresión de Iribarren.

Antes de alcanzar la situación de régimen, la altura de ola final, H_b , podrá ser mayor o menor que la teórica, produciendo situaciones erosivas o constructivas que implican una pendiente real de la zona de reflexión, $\tan O$, mayor o menor que $\tan \delta$, respectivamente. Y ello, como antes se ha dicho, siempre que la situación previa del perfil, construida o erosionada, no altere la tendencia teórica del oleaje a readaptar el perfil medio.

3.4. Influencia de la marea

Cuando la carrera de marea, z , es apreciable, la pendiente de la playa visible, $\tan \delta'$, debe suavizarse para tomar valores intermedios entre $\tan \delta$ y m'_s . Una estimación de esta pendiente se puede obtener mediante las ecuaciones expuestas en la R. de O.P. mayo 1990 (Fig. 1 y 2, pág. 38 y 39).

4. Análisis de los resultados en base al perfil Garau

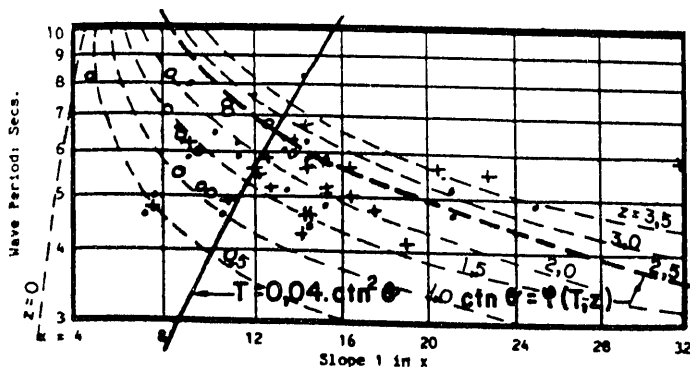
Este es el primer trabajo de investigación que llega a mi conocimiento, que toma en serio el posible papel que puede jugar el mecanismo que controla los procesos de la zona de reflexión. Por su prolijo análisis de los posibles parámetros que pueden determinar la pendiente de esta zona de playa, consideré de gran interés proceder a un detenido contraste de los resultados obtenidos con las ecuaciones vertidas en los artículos sobre mi perfil de equilibrio.

De antemano sabía que existía una dificultad importante, derivada de la presencia de una notable carrera de marea de unos 2,5 metros, lo cual complica los resultados ya que en este caso la pendiente de la zona de reflexión pasa de ser gobernada por las ecuaciones [8] y [11] (R. de O.P. marzo 1989, pág. 165), a serlo por la ecuación de la Fig. 2 (R. de O.P. mayor 1990, pág. 39). Más adelante se verá el significado de esta dificultad. Sin embargo, se podía considerar, con cierta aproximación grosera, que para cierto valor medio de la carrera de marea, se podría pasar del valor $\tan \delta$ (pendiente de la zona de reflexión sin variaciones de nivel) al valor de $\tan \delta' \approx \tan O$ (pendiente de la zona de reflexión afectada por determinada carrera de marea) mediante un coeficiente reductor.

Antes de iniciar el estudio de los resultados de cada gráfico, hay que señalar que Smith no informa sobre el tamaño de la arena, si bien presupone que se trata siempre de una misma masa sedimentaria, la cual caracteriza la Broadbeach en la que se obtienen los datos de esta investigación.

4.1. Análisis de la Figura 4

Dado que, según mi teoría y supuesta condición de régimen, la pendiente es función inversa de la raíz cuadrada del período (ec. [2] y [3]) procedí en primer lugar a analizar la Figura 4, buscando la curva de la forma $\tan O = K/\sqrt{T}$ que separa lo mejor posible los datos constructivos de los erosivos



Esta curva, tal como se dibuja sobre la reproducción de la Figura 4 resulta ser $\tan \theta = 0,2 / \sqrt{T}$, o bien

$$T = 0,04 \cdot \text{ctn}^2 \theta \quad [4]$$

Puede observarse que dicha curva de trazo continuo deja 11 puntos estables a cada lado, 11 de los 12 erosivos a la izquierda y 16 de los constructivos a la derecha.

En cuanto a la dispersión de los resultados, además de otras justificaciones, debe señalarse que la curva que representa el criterio de separación sólo corresponde a situaciones de equilibrio o de régimen, supuesta una acción indefinida de un temporal de características invariantes, situación que sólo se dará excepcionalmente. El tiempo de relación de la playa sumergida es generalmente superior al tiempo de invariancia del oleaje.

Más adelante se explicará la razón de ser de las líneas de trazos que también se dibujan sobre la Figura 4.

4.2. Análisis de la Figura 7

A pesar de la dispersión de los datos que Smith recalca al referirse a la Figura 7, observé que en este gráfico aún parecía más clara la separación de los diferentes grupos, y además se refería a la altura de ola residual que, según mi teoría, tiene importancia fundamental.

Teniendo en cuenta que la altura de la ola residual, según mi teoría, es, en condiciones de régimen, $H_r = K T$ (ec. [2]) y teniendo en cuenta el valor de T antes obtenido, será $H_r^3 = K \text{ctn}^6 \theta$. Ajustando una curva de este tipo en la Figura 7, se llega a

$$H_r^3 = 2,01 \cdot 10^{-7} \text{ctn}^6 \theta \quad [5]$$

que proporciona una buena separación entre datos erosivos y constructivos.

4.3. Análisis de la Figura 5

La última ecuación se puede escribir:

$$H_r = 0,00586 \text{ctn}^2 \theta \quad [6]$$

que nos da el valor de la altura de ola residual en función de la pendiente.

Dibujada esta curva en la Figura 5, puede observarse la correcta separación entre situaciones erosivas y constructivas. La curva se dibuja de trazo y punto para indicar que su posición se deriva de la Figura 7 antes analizada. Nada nuevo aporta este gráfico, toda vez que las ordenadas son simplemente la raíz cúbica de las de la Figura 7.

4.4. Análisis de la Figura 3

Para encontrar el criterio de separación de las diferentes situaciones de erosión o construcción, partiendo de la característica de la ola de altamar que se representa en la Figura 3, acudimos al razonamiento de que el valor de la altura de la ola teórica, H_s , está relacionado con el período T por la ec. [1]. Teniendo en cuenta el valor obtenido

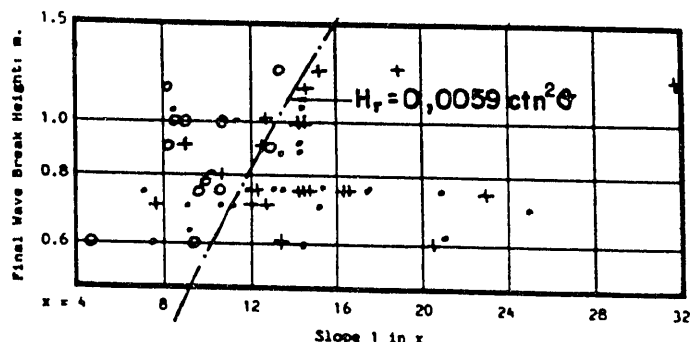


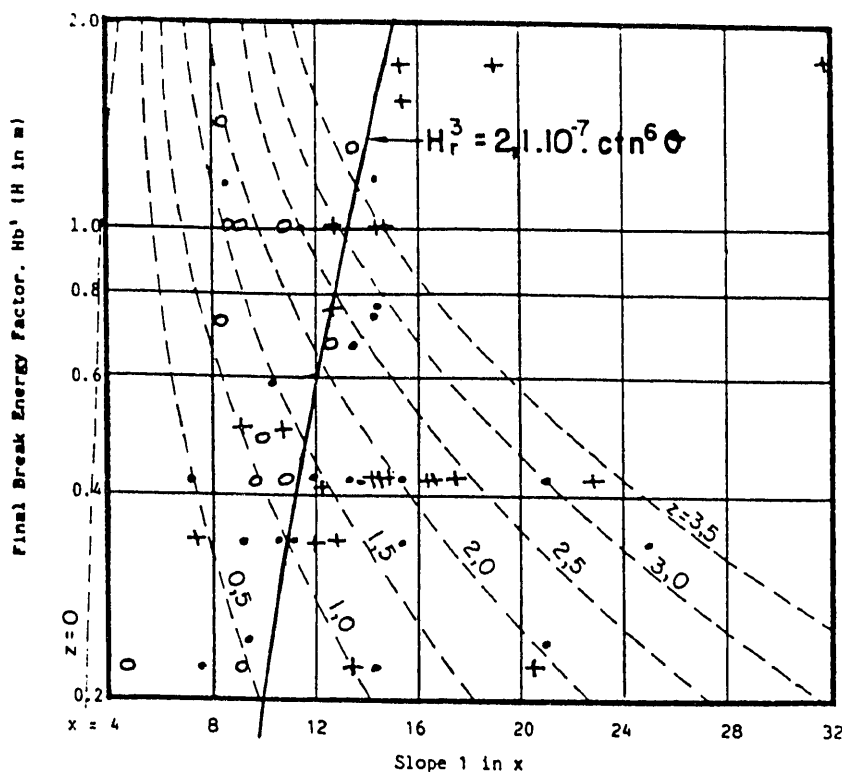
Figure 4. Swash Slope v Wave Period

Figure 5. Swash Slope v Final Wave Break Height

Key: + = Build, o = Erode, . = Stable

Figure 7. Swash Slope v Final Breaking Wave Energy

Key: + = Build, o = Erode, . = Stable



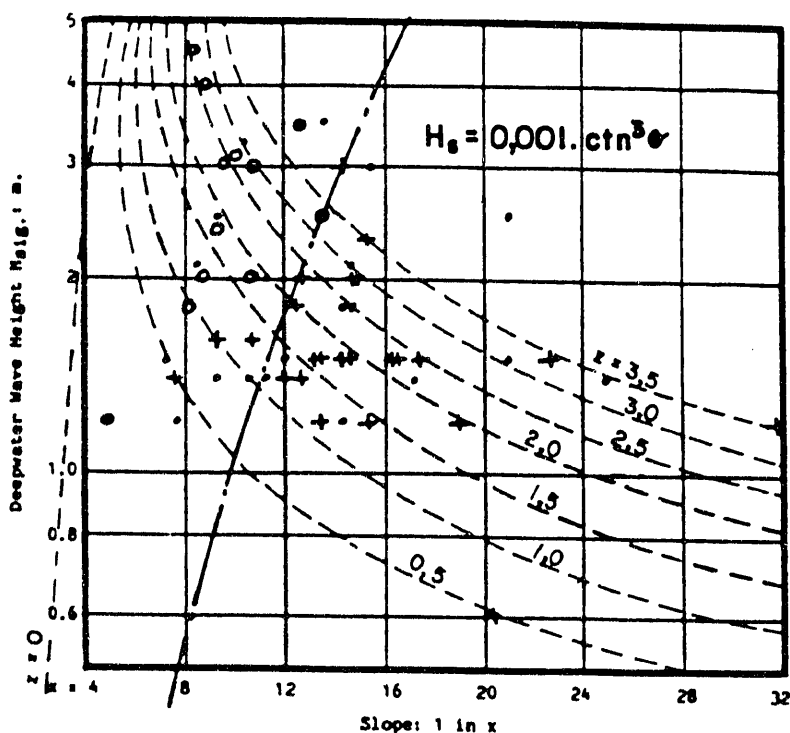
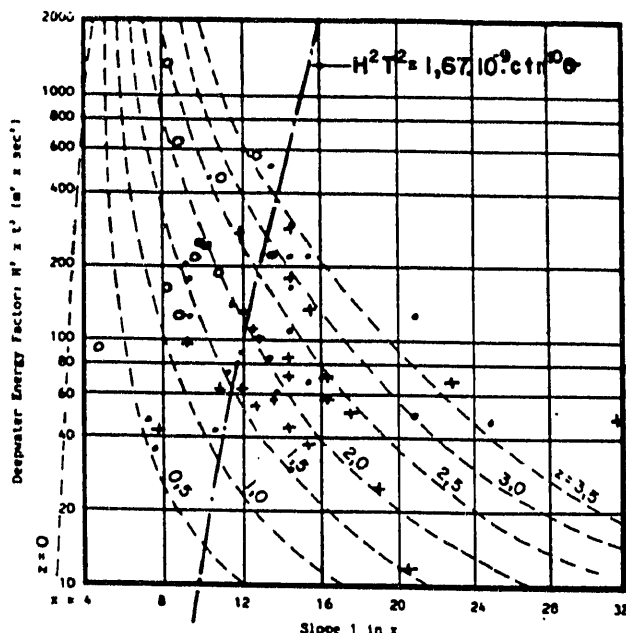


Figure 3. Swash Slope v Deepwater Wave H_{sig}
Key: + = Build, o = Erode, * = Stable. Abajo Figure 6.
Swash Slope v Deepwater Wave Energy
Key: + = Build, o = Erode, * = Stable. Figure 8. Swash Slope v Surf Similarity Factor *Where T = Wave Period Secs., 0 = Beach Slope, H = Deepwater Wave Height in m.
Key: + = Build, o = Erode, * = Stable.

antes para el período en función de la pendiente resulta

$$H_s = 0,1276 \cdot 0,04^{3/2} \text{ctn}^3 \phi = 0,001 \text{ctn}^3 \phi \quad [7]$$

Dibujada esta curva (de trazo y punto indicando que se deduce de la curva de la Figura 4) en el gráfico se observa que separa nuevamente con claridad los puntos de la Figura 3 correspondien-



tes a erosión o construcción. Este resultado viene a confirmar, no sólo cualitativa sino cuantitativamente, la aplicabilidad que, según mi teoría, tiene la ec. [1] de Iribarren para la determinación del perfil de equilibrio de la playa.

4.5. Análisis de la Figura 6

También en la Figura 6 los datos se comparan en base a la altura de ola de altamar y por ello la relación energía/pendiente, que se estudia con su factor proporcional $H^2 T^2$, debería ser según mi teoría y en condiciones de régimen

$$H_s^2 T^2 = 0,1276 T^5 = 0,1276 \cdot 0,04^5 \text{ctn}^{10} \phi = 1,67 \cdot 10^{-9} \text{ctn}^{10} \phi \quad [8]$$

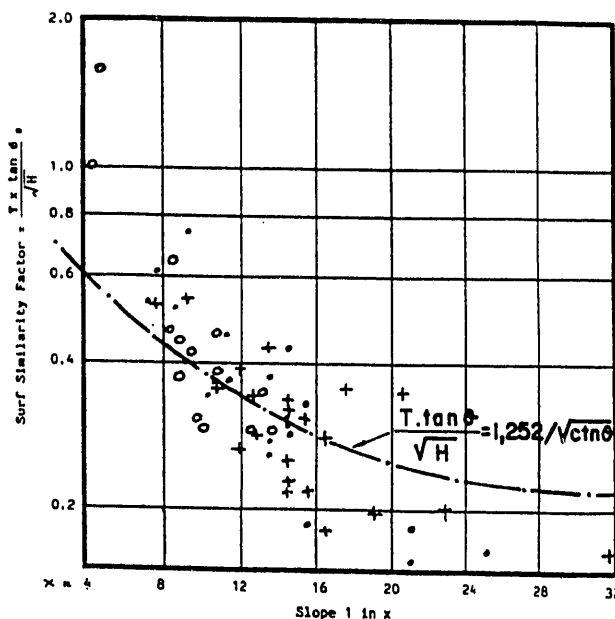
Dibujada esta línea de trazo y punto en la Figura 6, se observa una aceptable separación de los casos erosivos y constructivos.

4.6. Análisis de la Figura 8

En principio, según mi teoría no cabe esperar un carácter de criterio o parámetro especial a la relación $T / \sqrt{H}$, donde H se refiere a la altura de la ola de altamar, pues la pendiente de la zona de reflexión de la ec.[3] se refiere a la altura de ola residual. Sin embargo, podemos determinar igual que antes el valor del parámetro utilizado en las ordenadas de la Figura 8

$$\frac{T \tan \phi}{\sqrt{H_s}} = \frac{0,04 \text{ctn}^2 \phi \tan \phi}{0,1276^{1/2} \cdot 0,04^{3/4} \text{ctn}^{3/2} \phi} = 1,252 \text{ctn}^{-1/2} \phi \quad [9]$$

Dibujada esta curva de trazo y punto en la Figura 8 se observa que la separación entre erosión y construcción es inexistente, sin que ello tenga



nada que ver con la pequeña trampa de que habla Smith.

4.7. Estimación del tamaño de la arena

De las curvas obtenidas en las Figuras 4 y 7 (líneas de trazo continuo) y de mi ec.[2] se puede deducir el tamaño que, según mi teoría, tiene la playa de Broadbeach.

$$\text{ec. [2]} \dots H_r = 0,916 V_f T$$

$$\text{Fig. 4} \dots T = 0,04 \text{ ctn}^2 \varnothing$$

$$\text{luego } H_r = 0,0366 V_f \text{ ctn}^2 \varnothing$$

$$\text{Fig. 7} \dots H_r = 0,00586 \text{ ctn}^2 \varnothing$$

$$\text{de donde } \sqrt{V_f} = 0,04$$

Teniendo en cuenta la relación aproximada entre V_f y el diámetro mediano D_{50} de la arena [$\sqrt{V_f} = 0,428 + 0,172 \ln D_{50}$], donde V_f viene expresado en m/s y D_{50} en mm, (ec. [10], R. de O.P. marzo 89, pág. 165. Resulta:

$$D_{50} = 0,85 \text{ mm} \quad [10]$$

Este resultado parece razonable toda vez que se trata de una arena bastante gruesa que hace posible apreciar una respuesta de la playa visible ante la acción de la ola residual, circunstancia que probablemente indujo a la investigación que describe Smith. Precisamente mi propio examen de playas con $D_{50} \approx 2 \text{ mm}$, y con carrera de marea despreciable (Mediterráneo) fue el que me condujo a formular el mecanismo regulador de la altura de ola residual (1974) que a la postre ha llevado a una descripción completa del perfil de equilibrio (1984, 1985, 1986, 1989, 1990). Para dar una idea del orden de magnitud, la altura de ola residual máxima en la playa Broadbeach se puede estimar en base a un período de 16 segundos mientras en el mediterráneo occidental debe utilizarse un período de 12 segundos. Así se tendría $H_r = 2,35 \text{ m}$ en Broadbeach y $H_r = 3,29 \text{ m}$ en las playas catalanas que me indujeron a formular la teoría basada en la importancia de la reflexión en la orilla (R. de O.P. diciembre 1974).

4.8. Variación de la pendiente de la zona de reflexión en presencia de marea astronómica apreciable

Ahora que presumiblemente conocemos el tamaño de la arena de la Broadbeach de Queensland, Australia, podemos determinar las curvas que, según mi teoría, relacionan la pendiente teórica de la zona de reflexión con el período en función de los diferentes valores de la carrera de marea.

Debe advertirse que durante los dos meses de tema de datos, la carrera de marea tuvo que variar sustancialmente. Comparando con las varia-

ciones que se producen en las costas cantábricas, cabe presumir que la marea astronómica oscilaría en Broadbeach entre 0,5 m y 2,5 m. Si tenemos en cuenta además la marea meteorológica, es posible que la variación de nivel oscilase entre $z = 0$ y $z = 3,5 \text{ m}$.

Para evaluar la influencia de tal variación de nivel, se desarrolla la Tabla 1 que nos da:

a) los valores $\text{ctn } \delta' = 5,414^{-1} \sqrt{gT}/\sqrt{V_f}$ ($\text{ctn } \delta' = 0,2891 \text{ ctn} O$, según ec. [4] y $\sqrt{V_f} = 0,4$) y que corresponde a la pendiente teórica de la zona de reflexión del perfil de equilibrio en la hipótesis de nivel invariante.

b) los valores $\text{ctn} O = 5 \sqrt{T}$ de la ec. [4].

c) los valores de $\tan \delta'$ para diferentes variaciones de nivel, z , obtenidos por aplicación de mi teoría.

El examen de la tabla pone de relieve en primer lugar la enorme influencia de la variación de nivel en la pendiente de la zona de reflexión.

Esta influencia altera incluso cualitativamente la relación entre pendiente y período, ya que de ser creciente la $\text{ctn } \delta'$ con el período pasa a ser decreciente la $\text{ctn } \delta'$ al aumentar el período.

Con el fin de visualizar mejor el significado de la influencia de la variación de nivel en la pendiente de la zona de reflexión, en las Figuras 3, 4, 6 y 7 se representan las curvas correspondientes a $\text{ctn } \delta' = \varphi(T, z)$ para los distintos valores de z . No se representa en la Figura 5 por corresponder tan sólo a un cambio de escala de ordenadas de la Figura 7, ni tampoco en la Figura 8 ya que carece de interés.

Puede observarse como mi teoría da cuenta de la presunta dispersión de resultados. La opinión de Smith se basa en la hipótesis, absolutamente errónea para mí, de que la carrera de marea no influye en la pendiente de la zona de reflexión. Según mi teoría habría que analizar por separado los datos correspondientes a una misma variación de nivel del mar, o por lo menos dentro de ciertos intervalos.

Quedan ahora dos aspectos que interesa señalar:

TABLA 1. Pendientes de la playa visible

Pendiente		Periodo (segundos)							
		3	4	5	6	7	8	9	10
a	ctn δ'	2,50	2,89	3,23	3,54	3,82	4,09	4,33	4,57
b	ctn O	8,66	10,00	11,18	12,25	13,23	14,14	14,99	15,81
c	ctn δ'' (z)								
	0,5	16,93	9,93	7,26	6,10	5,55	5,31	5,23	5,25
	1,0	24,18	14,16	9,96	7,92	6,86	6,28	5,98	5,85
	1,5	31,45	18,49	12,80	9,91	8,32	7,40	6,87	6,56
	2,0	38,70	22,86	15,72	12,00	9,38	8,61	7,84	7,36
	2,5	45,97	27,25	18,69	14,14	11,51	9,89	8,87	8,21
	3,0	53,23	31,67	21,70	16,33	13,17	11,21	9,94	9,11
	3,5	60,49	36,09	24,72	18,55	14,88	12,57	11,05	10,04

a) Dispersión de algunos resultados en la Figura 7.

En la Figura 7 aparecen tres datos de tipo constructivo (+) que se desvían mucho respecto del haz de curvas $\tan \delta = \varphi(T, z)$. Es presumible que se trata de situaciones excepcionales en donde no se produce rotura, ya que la altura de ola final H_b es muy similar a la altura de ola incidente H_s ($H_b = H_s = 1,20$ m). En tales situaciones se producen efectos singulares que permiten una altura de ola residual mayor que la teórica (datos de R. Gourlay, ver R. de O.P. diciembre 1984, pág. 951), mientras que la altura de ola incidente menor que la teórica determina una situación constructiva ($K_w < 1$).

b) Erosión - construcción

Desde el punto de vista teórico, los puntos estables (•) representados en los gráficos deberían quedar sobre su correspondiente curva $\varphi(T, z)$, mientras que los puntos erosivos (") deberían quedar ligeramente desviados a su izquierda y los constructivos (+) a su derecha. Ello explica que el agrupamiento de los datos en zonas de erosión-construcción no sea rotunda, ya que sólo conduce a una cierta tendencia de los datos erosivos hacia la izquierda de los gráficos.

4.9. Sobre el tamaño de la arena. Reconsideración del análisis efectuado

La representación de las curvas de la Tabla 1 sobre los gráficos pone de relieve que el tamaño de la arena obtenido en 4.7 es sensiblemente correcto. Sin embargo, una vez profundizado el análisis de la pendiente de la zona de reflexión modelada por los oleajes en presencia de una importante variación de nivel, surgen dudas sobre la bondad del criterio de proporcionalidad entre $\tan \delta'$ y $\tan \delta$ ($\tan \delta = 0,2891 \tan \delta'$, según Tabla 1).

Ante tal duda se ha analizado los datos de las Figuras y se ha obtenido el valor medio de la altura de ola final de la Figura 7, que es $H_b = 0,828$ m, mientras que la altura de ola residual basada en la relación [2] y los datos del período de la Figura 4, para $V_i = 0,16$ m/seg, da un valor medio $H_r = 0,838$ m. Ello significa una pequeña corrección de la velocidad de caída de las partículas anteriormente estimada, que pasa a ser $V_i = 0,1581$, y que conduce a un

$$D_{50} = 0,838 \text{ mm} \quad [11]$$

que nos da el valor medio $H_r = 0,828$ m.

Tan pequeña corrección respecto de la aproximación obtenida en [10], basada en la hipótesis de que la curva de separación de datos erosivos y constructivos sería del tipo $T = K \tan^2 \delta$ y las que de ella se derivan, indica que tal hipótesis es correcta. Podemos señalar que donde más claramente se cumple la hipótesis es en la Figura 7 (o en la Figura 3 que simplemente recoge la raíz cúbica de las ordenadas de la Figura 7). Presumiblemente ello se explica por la importancia que tiene la máxima altura de ola admisible para la reflexión, como mecanismo regulador del perfil de equilibrio.

5. Conclusiones

Del análisis efectuado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

5.1. Pendiente de la playa visible

Tal como predice la teoría de C. Garau y según confirman los datos de Smith, la pendiente de la playa visible ($\tan \delta' = \tan \delta$) se hace tanto más suave cuanto mayor es la variación de nivel durante la acción del oleaje. Este efecto es más notable cuanto menor es el período de la ola y también lo será cuanto menor sea el tamaño de la arena, es decir cuanto mayor sea la relación entre la variación de nivel y la altura de la ola residual.

5.2. Problemas de las teorías de caja negra

El análisis efectuado por Smith mediante sus gráficos corresponde a lo que se llama teorías de caja negra, ya que se busca una posible relación desconocida entre unos parámetros que se miden y contrastan con los resultados de la investigación. La decepción de Smith ante sus gráficos se debe fundamentalmente a no haber tenido en cuenta la variación de nivel. Smith espera encontrar una sola curva donde la fuerte variación de nivel, a lo largo del período de toma de datos, obliga a contemplar un haz de curvas. El análisis del tipo de caja negra raramente podrá revelar lo que no se está buscando, aunque ello no quita interés a los datos obtenidos en la investigación. En este caso Smith no se da cuenta de la gran influencia que tiene la variación de la carrera de marea, porque de antemano no presume que la pendiente de la «swash zone» dependa de dicha carrera o variación de nivel.

En el supuesto de reordenar los datos según intervalos de variación de nivel, presumiblemente se lograría la determinación de las curvas correspondientes a cada intervalo, que a su vez separarían las situaciones erosivas y constructivas. No obstante, aún quedarían dos razones para la dispersión de los datos: a) De un lado el alejamiento del perfil real respecto de su forma de equilibrio ante el oleaje en cuestión, por falta del tiempo necesario para la relajación del proceso de rotura. b) De otro lado la influencia de la situación previa en la asignación del carácter erosivo o constructivo.

A pesar del buen planteamiento de la toma de datos, la interpretación de los resultados es incorrecta, no pudiéndose considerar inoperantes 5 de los 6 parámetros contrastados por Smith (ver 4.10).

5.3. Operatividad de los diferentes parámetros

La teoría de C. Garau sobre el perfil permite interpretar los datos de Smith y evaluar la operatividad de los diferentes parámetros analizados.

1. Período y altura de ola final.

El período T y la altura de ola final H_b juegan un papel fundamental en la determinación de la pendiente de la zona de reflexión ($\tan \delta'$ según ec. [3]) y de la pendiente de la playa visible ($\tan \delta' = \tan \theta$) en función de la variación de nivel. Dada la relación que existe entre la altura de ola residual admisible H_r y el período (ec. [2]), tales pendientes también se relacionan: a) Sólo con el período, tal como confirma la Figura 4. b) Sólo con la altura rompiente final, tal como confirma la Figura 5, y con el cubo de ésta que se admite proporcional a la energía de ola solitaria final (Figura 7).

Una altura de ola final H_b superior a la residual admisible, H_r , induce una situación erosiva y una pendiente, $\tan \theta$, mayor que la de régimen, en la playa visible. Ello es causa de que los casos erosivos queden arriba y a la izquierda de los gráficos 5 y 7.

2. Carácter erosivo o constructivo y pendiente de la playa visible

Dado que las situaciones erosivas implican una pendiente de la playa visible ($\tan \theta$) mayor que la de régimen ($\tan \delta'$), en todos los gráficos 3 a 8 aparece la agrupación de los datos erosivos hacia la izquierda.

3. Altura de ola incidente

La pendiente de la playa sumergida del perfil medio se ajusta bajo las condiciones de la ec. [1], y cuando la altura de la ola incidente se ajusta al valor teórico dado por esta ecuación, también la ola final, H_b , tiende a ajustarse a la residual admisible, H_r . Cuando la altura de la ola incidente H_s es mayor que la teórica, generalmente implicará una altura de ola final superior a la residual admisible y por consiguiente se estará en una situación erosiva. Ello es causa de que los casos erosivos queden a la izquierda del gráfico 3.

4. Otros parámetros

Dada la relación que existe entre la pendiente de la playa visible y las tres variables T , H_b , H_s , también existirá relación con una combinación de tales variables. Así ocurre con el producto $H_s^2 T^2$ que se admite como representativo de la energía de la ola incidente, el cual en el gráfico 6 también refleja la agrupación de datos erosivos hacia la izquierda. Al igual que en los otros gráficos, el haz de curvas $\tan \delta' = \varphi(T, z)$ explica la amplia distribución de los datos.

También los valores de $T \tan \theta / \sqrt{H_s}$ que se representan en el gráfico 8 revelan la misma tendencia de agrupación de los datos erosivos hacia la izquierda. Sin embargo la curva de tendencia central deducida de la teoría ya no separa los casos erosivos de los constructivos, y deja de tener sentido el haz de curvas $\tan \delta' = \varphi(T, z)$. Ello indica que el comúnmente denominado «factor de semejanza en la zona de rotura» juega un reducido papel en el equilibrio de la zona de reflexión.

5.4. Validez de la teoría C. Garau

La determinación cualitativa de las curvas de trazo continuo de las Figuras 4 y 7, y muy espe-

cialmente la determinación cuantitativa de las curvas de trazo y punto en las Figuras 3, 5, 6 y 8, prueban la validez de mi teoría sobre el perfil de equilibrio. El haz de curvas $\varphi(T, z)$, dibujadas en línea de trazos para diferentes valores de la variación de nivel, z , sobre las Figuras 3, 4, 6 y 7, revelan el buen ajuste cuantitativo de la teoría.

5.5. Importancia de la altura de ola residual

Ya he repetido muchas veces que la altura de la ola residual es muy pequeña en las playas de arena fina y muy alta en las de arena gruesa. Para $T = 10$ segundos, un $D_{50} = 0,2$ mm implica una $H_r = 0,21$, mientras que un $D_{50} = 2$ mm implica una $H_r = 2,74$ m. La simple contemplación de una playa de arena gruesa bajo un fuerte temporal pone en evidencia la importancia de la ola residual. Mi teoría extiende esta importancia a todas las playas al presuponer que la máxima altura de ola residual admisible regula todo el perfil activo de la playa y, de una manera trascendental, los procesos de la zona de reflexión.

Si en una playa encajada y de arena gruesa incide un oleaje con cierta oblicuidad, es fácil observar como en el extremo abrigado la pendiente visible es más fuerte y no se produce rotura. Allí la reflexión de la ola llega a ser perfecta y se hace patente con claridad, mientras la pendiente se ajusta a $\tan \delta'$. Por el contrario, en el extremo abierto al oleaje, el proceso de reflexión queda enmascarado, ya sea por una fuerte rotura de la ola a su pie (rotura en colapso) o bien por la formación de resaltos según describe Smith, mientras la pendiente visible se ajusta a un valor intermedio entre $\tan \delta'$ y m'_s . En el extremo abrigado el tiempo de relajación del perfil es corto, ya que apenas afecta a la playa sumergida al no existir rotura, alcanzándose rápidamente el talud de la zona de reflexión con el valor H_r teórico.

6. Consideración final

En un artículo de Vicente Negro Valdecantos (R.O.P. abril 1990, pág. 57 a 58) se menciona mi perfil de equilibrio. Aunque en el extracto que hace demi teoría observé varias anomalías, no quise entrar en discusión sobre su comparación con las teorías de otros investigadores de prestigio internacional. Quiero recordar aquí que mientras V. Negro sólo menciona mi relación $m = \varphi(D_{50})$ de 1984, en el perfil que yo describo la pendiente media de la playa sumergida depende no sólo del tamaño del sedimento, sino también de otros tras factores: del efecto barrera de los fondos frontales (1984, 1986, 1989, 1990), del efecto de abrigo (1984, 1985, 1986, 1989, 1990) y del efecto de transporte frontal (1989, 1990), y no es influenciada por las variaciones de nivel del mar. Por el contrario, la pendiente de la zona de reflexión depende prácticamente sólo del tamaño del sedimento y del período (1974, 1984, 1986, 1989, 1990), si el nivel del mar es invariante; pero si el nivel varía sustancialmente durante la acción del oleaje, la pendiente de la zona de reflexión se suaviza también sustancialmente

La altura de la ola residual es muy pequeña en las playas de arena fina y muy alta en las de arena gruesa

y adquiere cierto carácter de similitud con la zona de rotura (1989, 1990).

Uno de los problemas más graves que presenta el estudio del comportamiento de las formaciones sedimentarias en Ingeniería de Costas, es la falta de ajuste entre las elucubraciones teóricas y la realidad. Ejemplo de ello lo expresa Smith en el primer párrafo de su artículo. Por ello creo interesante reproducir el juicio que emitía H. Swart el 2.10.87 sobre mi teoría:

...«Only now that I see it in English and not in Spanish do I fully recognize the potential of this approach. I have very little problem with your concept as it is and I feel that it falls as a method between the completely black box approaches such as those by myself or Dean on the one hand, and the more detailed flow description approaches by authors such as Marcel and Stive, on the other hand. A great advantage of this approach is that it gives a physical interpretation of parameters, it thus allows for a better understanding of differences between model and prototype processes»...

7. Agradecimientos

Desde estas páginas quiero agradecer la objetividad de la investigación de A. W. (Sam) Smith y la sinceridad de sus conclusiones, que me animaron a profundizar en el estudio de sus resultados. También una vez más a H. Swart por el ánimo que siempre me ha dado para continuar profundizando en mi teoría sobre el perfil de equilibrio de las playas.

Referencias

- GARAU, C. 1974: «Reflexión del oleaje sobre la playa». R.O.P. dic. 1974: pp. 869-882 (R.O.P. = Revista de Obras Públicas).
- GARAU, C. 1984: «Las pendientes de la playa y el tamaño de la arena». R.O.P. dic. 1984: pp. 943-960.
- GARAU, C. 1985: «Discusión sobre el artículo anterior». R.O.P. marzo 1985: pp. 195-198.
- GARAU, C. 1986: «Un model de perfil de la platja». Espais (Generalitat de Catalunya) n. 2: pp. 41-47.
- GARAU, C. 1986: «Litoral processes on the Maresme Coast: Man's impact or natural effects?». Proceedings IGU Comision on Coastal Environment: THALASSAS 1986. 4.: pp. 71-78.
- GARAU, C. 1986: «Las pendientes de la playa y el tamaño de la arena (2)». R.O.P. ag. 1986: pp. 601-612.
- GARAU, C. 1989: «Perfil de la playa y tamaño de la arena (3)». R.O.P. mar. 1989: pp. 161-175.
- GARAU, C. 1989: «Ingeniería de Costas: Soluciones duras o blandas versus condiciones genéticas». R.O.P. mayo 1989: pp. 341-357.
- GARAU, C. 1990: «El perfil de la playa y sus factores de equilibrio». R.O.P. mayo 1990: pp. 35-42.
- GOURLAY, M. R. 1980: «Beaches: Profiles, processes and permeability». Proceeding 17th Coastal Engineering: pp. 1320-1339.
- NEGRO, V. 1990: «La variabilidad de los perfiles de playa. Perfil morfodinámico de equilibrio». R.O.P. abr. 1990: pp. 53-58.
- SMITH, A. W. (SAM) 1990: «Swash zone slope of an oceanic beach». Shore and Beach, jul. 1990: pp. 26-29.
- SWART, D. H. 1974: «A schematization of onshore-offshore transport». Proceeding 14 th Coastal Engineering: pp. 884-900.
- VELLINGA, P. 1984: «A tentative description of universal erosion profile for sandy beaches and rock beaches». Coastal Engineering, 8: pp. 177-188.