

La variabilidad de los perfiles de playa.

Modelo de las envolventes para equilibrio morfodinámico en perfil transversal (tercera parte) (*)

Por VICENTE NEGRO VALDECANTOS

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Profesor Titular de Universidad

El conocimiento del movimiento de la partícula sedimentaria bajo la acción de un tren de ondas de altura H y período T y de la hidrodinámica de la zona de rompiente son las premisas determinantes para definir los modelos de evolución de playas y las curvas geométricas del perfil. Conocidas éstas, se plantea la necesidad de establecer una franja de confianza entre los perfiles disipativos, de temporal o en barra y los reflejantes, acumulativos o en berma, con el objetivo de plantear una estabilidad de líneas de orilla que garanticen un equilibrio. Por consecuencia, se propone el modelo de envolventes para matemáticamente configurar transversalmente la franja costera ante distintos agentes del Clima Marítimo y geomorfología del lecho arenoso.

1. INTRODUCCION

El análisis del esquema transversal de una playa resulta muy complejo, ya que en costas de fondo móvil, la condición de formación del perfil esquemático de equilibrio es función de las velocidades en el fondo hacia costa y mar, función del oleaje y la profundidad y las características granulométricas, representadas por su diámetro medio, coeficiente de esfericidad y desviación estándar del sedimento.

Las pendientes entre la línea de rotura y el fenómeno de subida y bajada de la ola, son función del tamaño de la partícula, siendo más fuertes según crece su diámetro y según disminuye la energía del oleaje. En zonas profundas este fenómeno es imperceptible.

Este hecho queda reflejado en la acción sobre el lecho arenoso de un tren de ondas de altura H y período T , de manera que la basculación bermabarra, perfil de verano reflejante y rígido y el perfil de invierno, disipativo o de temporal, provoca un desplazamiento de la línea de rompiente hacia el mar, y un corrimiento de la línea de orilla hacia el interior. La consecuencia es inmediata, la pérdida de metros útiles de playa.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de septiembre de 1990.

Suponiendo ambos perfiles y conocidas sus expresiones matemáticas sancionadas por la práctica, así como los criterios de basculación y el umbral del movimiento de la partícula arenosa, se introduce el modelo de envolventes o franjas de confianza que disminuye la incertidumbre que existe en la determinación de la situación de retroceso y pérdida transversal de línea de orilla.

2. MODELO DE LAS ENVOLVENTES. RAZONAMIENTO TEORICO

Estudiar las franjas de estabilidad de playas tropieza inicialmente con el problema del movimiento de la partícula sedimentaria, en el sentido de aproximación o alejamiento de la costa.

El movimiento del sedimento hacia el mar tiene sentido transversal y se extiende a lo largo de la zona offshore o exterior y de la zona onshore o interior. La zona offshore se puede considerar como de barra profunda, mientras que la próxima a la orilla puede descomponerse en una rompiente surf, y un tramo de subida y bajada de oleaje, swash. Esta parte es la denominada como estrán presentando un límite de oscilación vertical por efecto del clima marítimo. Las zonas de surf y swash muestran el concepto de playa activa, donde aparece en rompiente la barra

LA VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA

interior y exterior como mecanismo natural de defensa ante los temporales.

Iribarren demostró que al producirse la rotura se crea una sobreelevación respecto al nivel medio, que provoca una corriente real que, junto a la incidencia oblicua, constituye el mecanismo transversal de sedimentos en zona onshore. El perfil de equilibrio queda, pues, definido por el ESTRAN o parte de la playa activa comprendida entre la zona de rotura y el límite alcanzado por las olas rotas más altas.

En zona offshore, las velocidades de cresta y seno son prácticamente iguales, de manera que el fondo no afecta al oleaje. Este hecho permite definir el límite inferior del perfil de equilibrio, primera condición de contorno para el modelo de envolventes. El oleaje al no ser monocromático provoca el desplazamiento del Punto Neutro o de Cornaglia, debiéndose hablar de zona neutra o franja de estabilidad. Se define, por tanto, la playa sumergida a la parte de la playa activa comprendida entre la zona neutra y la rotura.

Admitido que el perfil de playa presenta una forma de estabilidad, función de los agentes del Clima Marítimo y la naturaleza del lecho arenoso, este equilibrio no sufre modificación mientras no se afectase H , altura de ola, y T , período. De esta forma, trenes de altura de ola grande y períodos cortos, erosionan inicialmente el perfil, acumulando arena por debajo de la zona media del mar, formando una barra que reduce la acción erosiva, hasta alcanzar la geometría tipo de temporal (Figs. 1 y 2).

Bajo trenes de altura de ola pequeña y largo período, la arena se acumula por encima del nivel medio formando una bermá de acumulación o perfil de verano. Conocido el mecanismo natural de formación, se desarrolla un método de cálculo una vez evaluados con los distintos datos de entrada, clima marítimo, geomorfología y lecho arenoso, las distintas teorías sancionadas por la práctica siguiendo el organigrama de flujo siguiente, para definir las envolventes transversales de equilibrio:

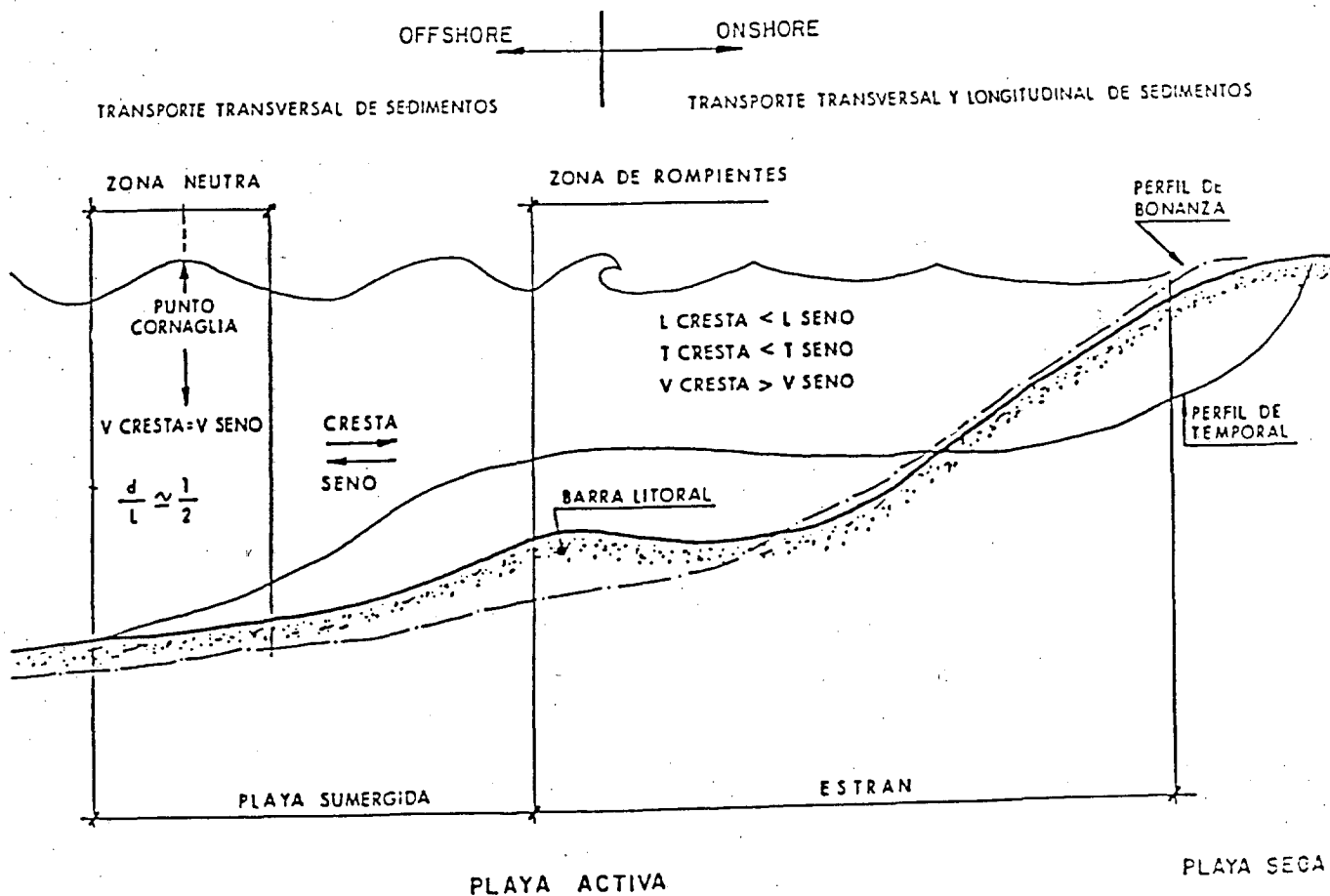


Figura 1.—Perfil esquemático de equilibrio.

LA VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA

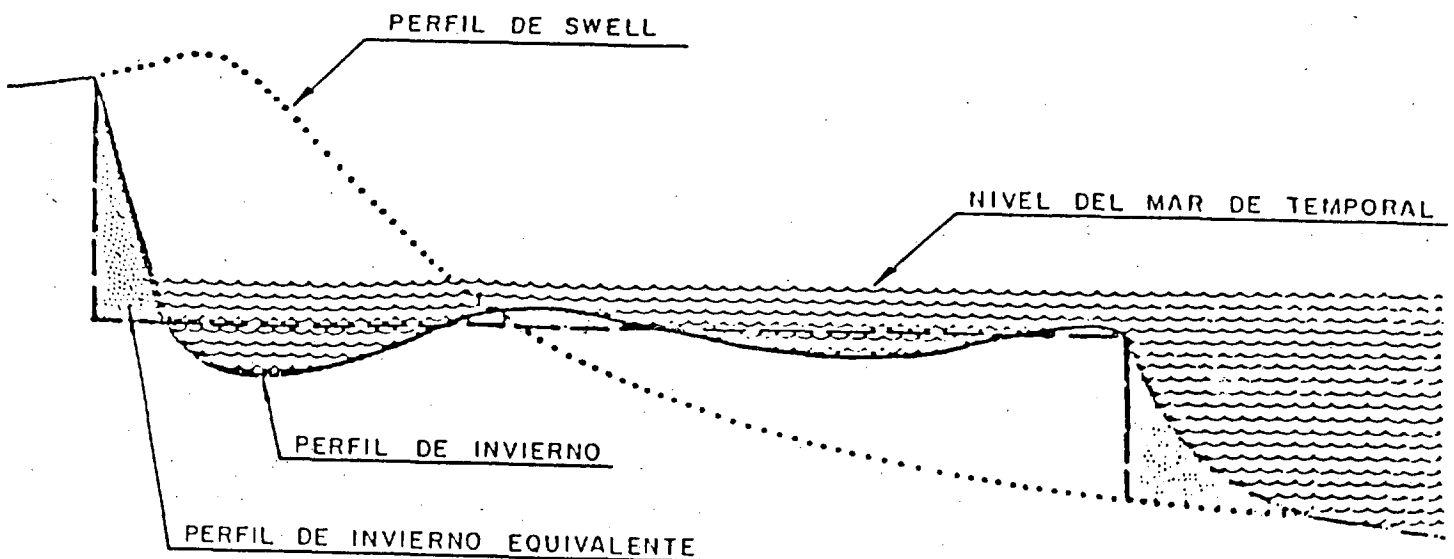


Figura 2.—Basculaciones naturales de playa.

a) Variaciones perfil reflejante y disipativo:

Meyer	(1936)
Waters	(1939)
Johnson	(1949)
Watts-Deardoff	(1954)
Rector	(1954)
Saville	(1957)
Iwagaki-Noda	(1962)
Sitarz	(1963)
Wiegel	(1964)
Nayak	(1970)
Dean	(1973)
Van Hijum	(1974)
Pilarczyk	(1974)
Sunamura-Horikawa	(1974)
Battjes	(1974)
Dalrymple-Tompson	(1976)
Thorton	(1976)
Gourlay	(1980)
Hattori	(1980)
Wang	(1981)
Allen	(1985)

b) Velocidad de iniciación del movimiento de la partícula sedimentaria:

Bagnold	(1946)
Mahomar	(1955)
Kurihara	(1956)
Vincent	(1958)
Goddet	(1960)
Dean	(1961)
Ishihara-Sawaragi	(1968)

Rance-Warren

Caisters	(1969)
Silvester	(1970)
Chan	(1972)
Komar-Miller	(1973)
Sleath	(1978)
Swart	(1978)
Hallermeier	(1980)
Burchart-Tompson	(1983)
Vellinga	(1983)

c) Modelo de rotura. Criterio H, T, L, d y m:

Bousinesq	(1881)
Mc Gowan	(1881)
Michell	(1893)
Gwyther	(1900)
Miche	(1944)
Davies	(1951)
Packham	(1952)
Yamada	(1957)
Laitone	(1962)
Lenau	(1966)
Horikawa-Kuo	(1966)
Kishi-Saeki	(1966)
Camfield-Street	(1967)
Galvin	(1969)
Collins	(1969)
Bryar-Smith	(1970)
Grimshaw	(1971)
Weggel	(1972)
Battjes	(1974)
Goda	(1975)
Gumbak	(1977)

Ostendorf-Madsen (1979)
Criterio CEPYC (1988)

d) Perfiles de equilibrio:

Keulegan-Krumbein (1949)
Bruun (1954)
Inmann-Bagnold (1954)
Larras (1963)
Sitarz (1969)
Dean (1973)
Sunamura-Horikawa (1974)
Swart (1976)
Readshaw (1979)
Hattori-Kawamata (1981)
Sayao (1981)
Moore (1982)
Bailard (1983)
Garau (1974-1984)
Vellinga (1983)

e) Método de las envolventes

La idea es recoger a partir de condiciones de clima, geología, geomorfología y granulometría, todos los datos posibles de los cuatro epígrafes anteriores, definiendo un esquema en coordenadas relativas x/x_{max} y d/d_{max} , para definir la banda de equilibrio de un determinado perfil de playa ante datos prefijados u obtenidos en la naturaleza.

3. MODELO NUMERICO DE LAS ENVOLVENTES

Para la elaboración y ajuste del método se emplearon como parámetros de entrada básicos los concernientes a los capítulos:

— Clima marítimo:

Altura de ola significativa H_s
Período T
Longitud onda indefinida y reducida LO, L
Profundidad d
Peralte H/L

— Geológicos:

Granulometría D_{50}
Densidad de la partícula σ
Viscosidad μ

— Iniciación del movimiento:

Velocidad de pico v
Gravedad g
Velocidad de iniciación del movimiento w

— Perfiles de equilibrio

Con estos datos de partida y las ecuaciones clásicas del modelado de flujo costero de continuidad, de movimiento en eje X y de movimiento en eje Y,

$$\frac{\delta s}{\delta t} + \frac{\delta w}{\delta x} + \frac{\delta w}{\delta y} = 0 \quad \text{Ecuación de Continuidad (I)}$$

$$\frac{\delta w}{\delta t} + gh \frac{\delta s}{\delta x} = 0 \quad \text{Movimiento eje X (II)}$$

$$\frac{\delta w}{\delta t} + gh \frac{\delta s}{\delta y} = 0 \quad \text{Movimiento eje Y (III)}$$

ECUACIONES INCREMENTALES DE MODELADO DE FLUJO COSTERO

$$\frac{1}{\Delta t} (w_{jk}^{n+1} - w_{jk}^n) + \frac{gh_{jk}}{2\Delta x} (H_{j+1,k}^{n+1/2} - H_{j-1,k}^{n+1/2} - h_{j+1,k} - h_{j-1,k}) = 0 \quad \text{(IV)}$$

$$\frac{2}{\Delta t} (H_{jk}^{n+1/2} - H_{jk}^n) + \frac{1}{2\Delta x} \left(\frac{1}{2} (w_{j+1,k}^{n+1} - w_{j-1,k}^{n+1}) + \frac{1}{2} (P_{j+1,k}^n - P_{j-1,k}^n) \right) + \frac{1}{2\Delta y} (w_{jk+1}^n - w_{jk-1}^n) = 0 \quad \text{(V)}$$

$$\frac{1}{\Delta t} (w_{jk}^{n+1} - w_{jk}^n) + \frac{gh_{jk}}{2\Delta y} \left(\frac{1}{2} (H_{j,k+1}^{n+1} - H_{j,k-1}^{n+1}) + H_{j,k+1}^n - H_{j,k-1}^n \right) - h_{j,k+1} + h_{j,k-1} = 0 \quad \text{(VI)}$$

$$\frac{2}{\Delta t} (H_{jk}^{n+1} - H_{jk}^{n+1/2}) + \frac{1}{2\Delta x} \left(\frac{1}{2} (w_{j+1,k}^{n+1} - w_{j-1,k}^{n+1}) + \frac{1}{2} (w_{j+1,k}^n - w_{j-1,k}^n) \right) + \frac{1}{2\Delta y} (w_{jk+1}^{n+1} - w_{jk-1}^{n+1}) = 0 \quad \text{(VII)}$$

LA VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA

y si se supone una malla en locales centrada en el punto P, limitada por las condiciones de contorno. Este punto se incrementa horizontalmente en un espaciamento longitudinal de manera que se alcance el punto donde la velocidad de seno coincide con la de cresta, el efecto profundidad sea imperceptible y no exista transporte de sedimentos. Hecho este primer barrido, se emplea un barrido hacia atrás para el calibrado del punto inicial de partida en sentido del eje X.

Se fija posteriormente un punto en columna para efectuar incrementos verticales, hasta encontrar la profundidad de equilibrio correspondiente al punto de Cornaglia.

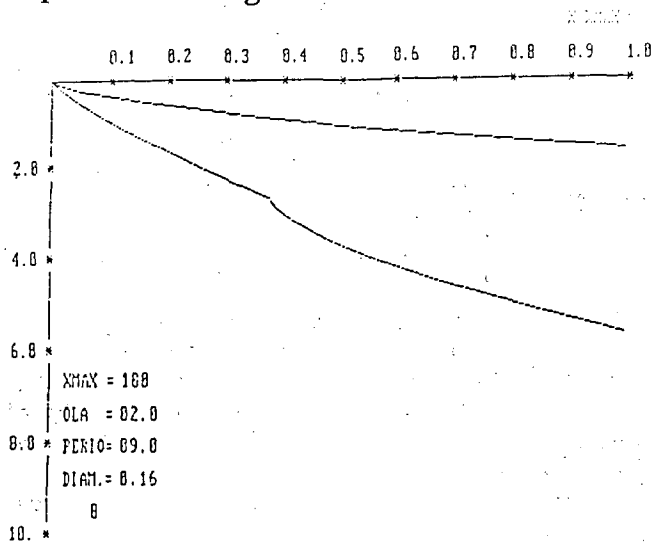


Fig. 3.—Envolvente de estabilidad. Text de Bruun y Sayao.

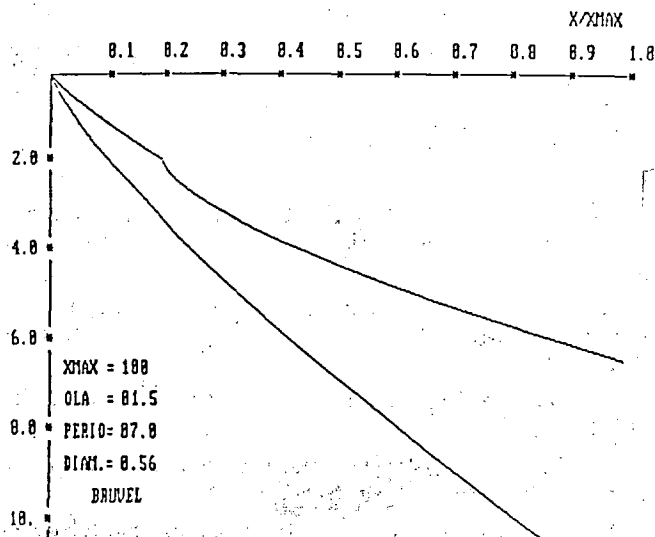


Fig. 4.—Envolvente de estabilidad. Text de Bruun y Vellinga.

Este método permite resolver mediante técnica de doble barrido las ecuaciones del modelado de flujo costero para los parámetros iniciales y con distintos perfiles sancionados por la práctica o recogidos en la naturaleza, de manera que se puede elaborar una envolvente de máximos y mínimos por la que radique el perfil teórico de estabilidad.

La citada banda de confianza concede una seguridad adicional a la disposición horizontal y vertical de la playa, indicando equilibrio transversal para aquellas zonas donde la acción humana altera la zona activa y, por consecuencia, el mecanismo natural de basculación.

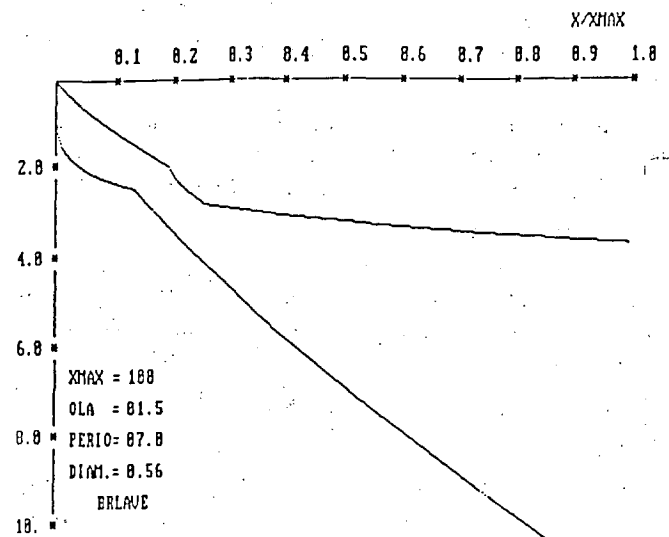


Fig. 5.—Envolvente de estabilidad. Text de Bruun, Larras y Vellinga (temporal).

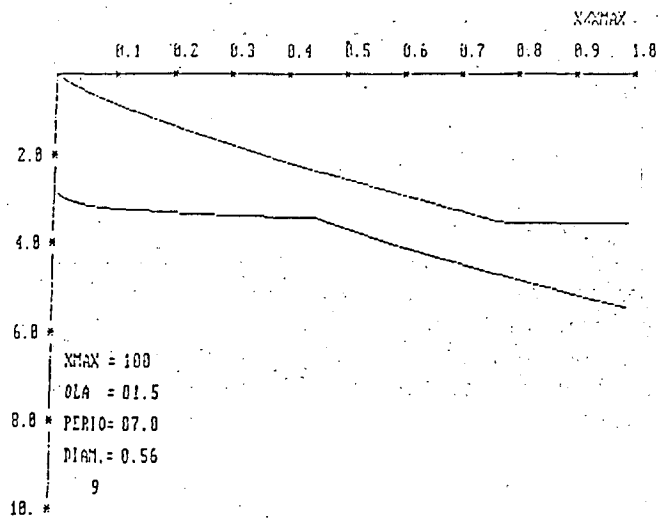


Fig. 6.—Envolvente de estabilidad. Text de Bruun, Larras y Vellinga (calma).

Estas envolventes en coordenadas relativas de longitud y profundidad se presentan en los textos siguientes (Figs. 3 a 6).

4. CONCLUSIONES

La idea básica es la obtención de un método numérico convergente y estable para determinar las franjas de estabilidad o envolventes de equilibrio para, ante distintas condiciones físicas e hidráulicas, determinar la confianza de un perfil, determinando su límite inferior o punto de Cornaglia, y su límite superior para evitar las basculaciones no estables producidas generalmente por la acción humana, al introducirse en la parte activa de las playas.

Definir la profundidad de dragado que no altere el equilibrio por considerar franjas incrementales donde no existe transporte diferencial de sedimentos.

Con este motivo y acotada la zona neutra, donde el transporte diferencial es nulo, la velocidad del seno coincide con la cresta y el oleaje no afecta al lecho arenoso; es fácil determinar el uso del material sedimentario sin afectar al equilibrio morfodinámico del perfil y observar cómo los dragados fuera de estos límites no producen variaciones en nuestras líneas de orilla. Este hecho se sitúa en nuestras costas mediterráneas en profundidades próximas a los 20 metros.

Asimismo, se pone de manifiesto que en la configuración natural del perfil, los parámetros base de análisis son el número de Iribarren [$\text{tg } \alpha / \sqrt{H/L}$] y los factores de la velocidad adimensional de sedimentación y caída, $H/T w$ y $w/g T$.

5. AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su máximo agradecimiento y cariño a don Pedro Suárez Bores, director de esta investigación; a la Cátedra de Puertos y Oceanografía de la ETS de Ingenieros de Caminos de Madrid, y al Departamento de Medio Ambiente, Urbanismo y Ordenación del Territorio.

6. BIBLIOGRAFIA

1. BAILARD, J. A.: An energetics load model for a plane sloping beach: local transport. *J. Geophys. Res.* 86. pág. 2035-2043. 1981.
2. BRUUN, P., y SCHWARTZ, M.: Analytical prediction of beach profile change in response to a sea wave level. *R. Geomorph.* pág. 33-40. December 1985.
3. DALRYMPLE, R. A.: Offshore Beach Nourishment Scheme. *Proc. 12th Coast. Eng. Conf.* 1970.
4. DALRYMPLE, R. A., y THOMPSON: Study of equilibrium beach profile. *Proc. 14th Coast. Eng. Conf.* 1976.
5. DEAN, R. G.: Compatibility of borrow material for beach fills. *Proc. 14th Coast. Eng. Conf.* 1976.
6. FERNANDEZ DUPUY, V., y NEGRO VALDE-CANTOS, V.: El problema de la defensa y regeneración de costas en España. *Revista de Obras Públicas.* Pág. 7 a 14. Enero 1988.
7. GARAU, C.: Las pendientes de la playa y el tamaño de la arena. *Revista de Obras Públicas.* Diciembre de 1984.
8. GOURLAY, M.: Beaches: profiles, processes and permeability. *Proc. 17th Coast. Eng. Conf.* 1980.
9. GRASSA, J. M.: Evolución del perfil de playa con el clima marítimo. *Centro de Estudios de Puertos y Costas. CEDEX-MOPU.* 1987.
10. HATTORI, M., y KAWAMATA, R.: Onshore-offshore transport and beach profile change. *Proc. 17th Coast. Eng. Conf.* 1980.
11. LECHUGA, A.: Formas rítmicas en playas. *CEDEX-MOPU,* 1988.
12. LOSADA, M. A.: Morfodinámica de playas. *Curso de Doctorado. Univ. Cantabria.* 1981.
13. LOSADA, M. A.: Perfil de playa. Características de diseño. *CEDEX-MOPU.* 1988.
14. SUAREZ BORES, P.: Formas costeras. *ETSICCP de Madrid.* 1980.
15. SUARES BORES, P.: Protección de costas y ordenación del medio litoral. *Proc. 21th Coast. Eng. Conf.* 1988.
16. SUNAMURA, T., y HORIKAWA, K.: Two dimensional beach transformation due to waves. *Proc. 14th Coast. Eng. Conf.* 1974.
17. SWART, D. H.: Offshore Sediment Transport and Equilibrium Beach Profile. *Delft hydraulic. Lab. Publicación 131.* 1974.
18. VELLINGA, P.: Master Thesis. *Delft University of Tech.* 1975.
19. WIEGEL, R. L.: *Shore Protection Manual.* U. S. Corps of Engineering. 1973-1977 y 1984.
20. ZENKOWITH, V. P.: *Processes of coastal development.* London. 1967.