

MODELO COSENOIDAL DE PERFILES DE EQUILIBRIO

Daphne Prestegui C.¹, Miguel Ángel Vergara S.², Sergio Cruz L.³

¹Maestra en Ingeniería Civil, SEPI ESIA-UZ, Ciudad de México.

²Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Académico en SEPI ESIA-UZ, Ciudad de México.

³Dr. en hidráulica, Académico en SEPI ESIA-UZ, Ciudad de México.

E-mail: daphneprestegui@gmail.com, maver_g_ipn@hotmail.com, scruzl@ipn.mx

Resumen

El estudio de los perfiles de playa requiere evaluar el estado y sus cambios, que son el resultado de la acción de diversos forzamientos hidrodinámicos, de ahí la dificultad de determinar un único perfil transversal de playa representativo llamado perfil de equilibrio.

El objetivo de este trabajo es establecer un modelo analítico que integre el perfil de equilibrio transversal medio para una playa, tanto de una o doble curvatura.

La función analítica resultó de la combinación del modelo de la ecuación de Dean y un modelo cosenoidal que se ajuste a perfiles continuos de una y doble curvatura.

Para validar esta función se usaron mediciones realizadas sobre los perfiles en una playa de Puerto Marqués en Acapulco, Gro., Puerto Progreso, Yucatán, y Cancún, Quintana Roo. México

Introducción

El estudio del perfil transversal a la playa se realizó a través de un análisis complejo que conducen a representaciones matemáticas capaces de esquematizar las formas y las relaciones con la geomorfología, procesos hidrodinámicos y el transporte de sedimentos longitudinal y perpendicular a la playa. Para ello se identifica y caracteriza los factores hidrodinámicos derivados de la actuación de una tormenta que impactan en la evolución de los perfiles de la playa a partir del modelo de Dean y de la superposición de un modelo cosenoidal, mismo que fue aplicado en las playas de México.

Debido a la gran complejidad de la relación de factores hidrodinámicos y del transporte de sedimentos en el proceso morfológico de las playas, se ha generado un importante número de modelos o ecuaciones simplificadas para describir individualmente el perfil transversal de equilibrio de playas, tanto de una curvatura como de doble curvatura por ejemplo Dean (1977), Hughes y Chiu (1978), Bowen (1980), Moore (1982), Vellinga (1983), Houston (1996), Larson (1999), González et al. (1997), Bernabeu (1999).

Desarrollo y aplicación del modelo propuesto

Para el desarrollo de este modelo se asume la existencia de dos tramos diferenciados en el perfil, asociados básicamente a la zona de rompiente y a la zona de asomeramiento. El primero se delimita entre la barra sumergida y la berma en lo alto de la playa, mientras que el segundo se extiende desde la barra hacia mar adentro, como se indica en la Figura 1.

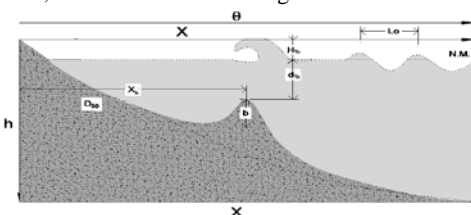


Figura 1.- Perfil de equilibrio y parámetros del modelo propuesto.

En primera instancia se considera que el perfil en la zona de rompiente tiene la geometría definida por el modelo potencial de Dean (1977). Para el tramo en la zona de asomeramiento, la

geometría del perfil está sujeta a las dimensiones de la barra; ambos tramos se constituyen en una curva continua de la forma que se indica en el Cuadro 1:

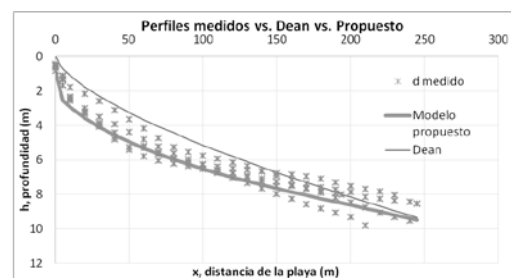
Cuadro 1.- Desarrollo del modelo.

$h = Ax^{2/3} + b \cdot k_1 \cos(\theta) + b \cdot k_1$		
$h = Ax^{2/3}$	$B \cdot k_1 \cos(\theta)$	
$A = f(D_{50})$	$b = f(g, H_b, Ho, Lo, T, k_1)$	$\theta = f(x_b, x_c, m, H_b, D_{50}, T, d_b, A)$
$A = 0.41 D_{50}^{0.94}$ Si $D_{50} < 0.4$	$k_1 = 0.43$	$\theta = \frac{\pi}{2L_b} \cdot x$
$A = 0.23 D_{50}^{0.32}$ Si $0.4 \leq D_{50} < 10$	$b = 0.035 T \sqrt{g H_b}$	$L_b = \frac{x_b}{\cos(\phi)}$
$A = 0.23 D_{50}^{0.32}$ Si $10 \leq D_{50} < 40$	$H_b = Ho(0.56) \left(\frac{Ho}{L_o}\right)^{-0.2}$	$\phi = \frac{0.013}{\left(\frac{H_b}{g D_{50}^2}\right)^2} + 0.15$
$A = 0.46 D_{50}^{0.11}$ Si $D_{50} \geq 40$	$L_o = \frac{g T^2}{2\pi}$	$x_b = \frac{d_b^{3/2}}{A}$
		$d_b = \frac{H_b}{0.78}$

Donde: h es la profundidad del perfil de playa (m), x la distancia a lo largo del perfil medido a lo largo de la playa (m), b es altura de la berma o barra (m), k_1 es un coeficiente de calibración igual a 0.43 (adimensional) y d es una constante que determina la altura o elevación de posición de la berma (m), D_{50} (mm) es el diámetro medio del sedimento, θ es ángulo de fase del coseno, x es la distancia horizontal a la costa (m), L_b igual a distancia desde el origen del perfil hasta su cruce con el eje de la barra, ϕ la pendiente de la playa y d_b es la profundidad a la barra, x_b es la distancia desde el origen del perfil hasta la cresta de la barra, b es la altura de la barra, H_b es la altura de la ola rompiente, L_o es la Longitud de la ola en aguas profundas, dependiente del periodo T.

Perfil de una curvatura

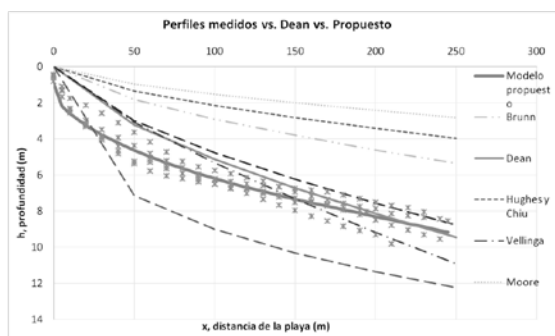
Puerto Marqués Guerrero, se ubica al sureste de la Bahía de Acapulco México. Los Datos recolectados fueron $D_{50}=1.12\text{mm}$, $Ho=5\text{m}$, $T=8.5\text{s}$. De los levantamientos batimétricos se seleccionaron cinco perfiles, considerados representativos Cruz León (2002). Con el uso del método presentado en el Cuadro 1 se determinaron los siguientes valores: $L_o=112.801\text{m}$; $A=0.238$; $H_b=5.22\text{m}$; $\zeta_b=0.78$; $d_b=6.69\text{m}$; $x_b=148.68\text{m}$; $L_b=150.51\text{m}$; $b=2.12\text{m}$; $\phi=0.15$; $b=0.91\text{m}$; $B_1=4.11\text{m}$; $d=0.91\text{m}$; $k_1=0.43$. Con estos resultados se representó la Gráfica 1 correspondiente al perfil de equilibrio de acuerdo con el modelo analítico propuesto que resultó de mejor ajuste. También se muestran los perfiles medidos representativos de playa sobre los cuales se superpone el modelo de Dean de una curvatura.



Gráfica 1.- Comparación entre las secciones medidas representativas vs. el perfil teórico de Dean (1977) vs. el modelo analítico propuesto.

Comparación con otros modelos

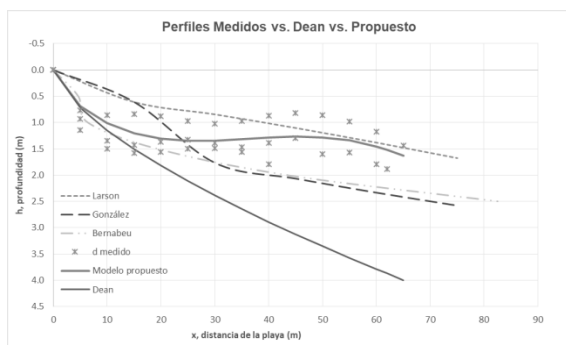
Con base a los datos indicados en el Cuadro 1, y siete modelos seleccionados, se determinaron los perfiles respectivos y que se presentan en la Gráfica 2. Y el modelo propuesto tiene un mejor ajuste.



Gráfica 2.- Solución gráfica de los perfiles teóricos de Brunn (1954), Dean (1977), Hughes Y Chiu (1978), Bowen (1980), Moore (1982), Vellinga (1983), Houston (1996) y Larson (1999).

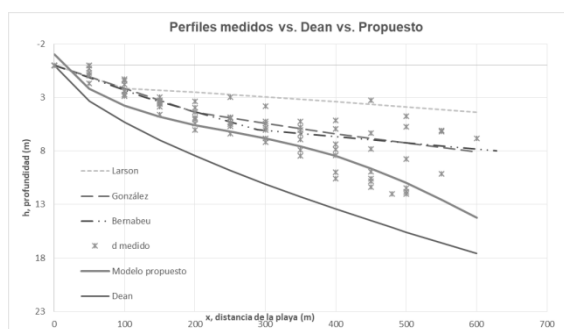
Perfil de Doble Curvatura

La medición de perfiles se realizó en el malecón del puerto de Progreso, Yucatán, México al norte de la Península de Yucatán. Datos recolectados fueron $D_{50}=0.25\text{mm}$, $H_o=1\text{m}$, $T=18.5\text{s}$. En la Gráfica 3 se muestran los perfiles medidos de playa de Progreso, Yucatán Sánchez (2008). Los cuales se comparan para validar el modelo propuesto.



Gráfica 3.- Secciones de Puerto de Progreso, Yucatán. Comparación de mediciones y los modelos de Larson (1999), González et al. (1997), Bernabeu (1999) y Dean (1977).

Otro caso de doble curvatura se presenta para las playas de Cancún, Quintana Roo, México, Gráfica 4. La zona de interés se encuentra delimitado al Norte por Punta Cancún y al Sur por Punta Nizuc. Datos recolectados $D_{50}=0.25\text{mm}$, $H_o=5\text{m}$, $T=16.5\text{s}$.



Gráfica 4.- Comparación del perfil propuesto y los perfiles teóricos de doble curvatura Larson (1999), González et al. (1997), Bernabeu (1999) aplicados a Cancún, Quintana Roo.

Conclusiones

En los perfiles de las playas medidos, hay formas de los fondos que varían con la influencia de diferentes factores hidrodinámicos. En el perfil de playa de la Bahía de Puerto Marqués, no resalta doble curvatura, pudiendo percatarse que el modelo propuesto funciona en caso de una sola curva.

El modelo de perfil de equilibrio propuesto permite obtener un buen ajuste a los datos medidos en el campo. Se ha estudiado el comportamiento de los coeficientes en cada uno de los tramos respecto a los parámetros desarrollados.

El modelo desarrollado permitió buena aproximación a la forma de los perfiles, sin embargo el cálculo de los coeficientes requirió el uso de un coeficiente k_f constante, con valor de 0.43 y la inclusión de parámetros que en realidad son variables observables (A y b) de las formaciones arenosas en las playas.

Este modelo tiene la ventaja que mediante una variación en la ecuación básica representar más de una barra arenosa. En los casos estudiados de este modelo permite la ubicación de un punto muy importante en la dinámica de la playa: la profundidad h_b y la distancia a la que se encuentra esta profundidad x_b . Es decir, el modelo también marca el inicio de discontinuidad donde se presenta la barra arenosa, y en los perfiles analizados este punto se encuentra antes de la barra arenosa.

Con base a los resultados, el modelo de perfil de equilibrio propuesto, a través del valor de sus coeficientes, describe el perfil de equilibrio en playas tanto de una y doble curvatura lo que lo convierte en una herramienta muy útil para estudios de ingeniería.

Referencias bibliográficas

- Bernabeu, A. M.** (1999). *Desarrollo, validación y aplicaciones de un modelo general de perfil de equilibrio en playas*. Santander: Universidad de Cantabria.
- Bowen, A.** (1980). Simple models of near shore sedimentation; beach profiles and longshore bar. *The coastline of Canada*.
- Cruz León, S., Et Al.** (2002). *Proyecto del estudio de agitación con modelación numérica en el sureste de la bahía de puerto Marqués, Acapulco, Guerrero*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Dean, R.G.** (1977). "Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and the Gulf Coasts.". En *Department of Civil Engineering*. Newark, DE.: University of Delaware.
- González, Et Al.** (1997). Equilibrium beach profiles: Effect of refraction. *Proc. Coastal Dynamics'97, ASCE*, 933-942.
- Houston, J. R.** (1996). Simplified Dean's Method for Beach-Fill Design. *Journal of Waterways, Port, Coastal, and Ocean Engineering (mayo-junio)*, 143-146.
- Hughes, S. A., & Chiu, T. Y.** (1978). The variations in Beach Profiles when Approximated by a Theoretical Curve;. *Coastal and Oceanographic Engineering Department*.
- Larson, M.** (1999). Equilibrium profile of a beach with varying grain size. *Proc. Coastal sediments'99, ASCE*, 905-919.
- Moore, B.** (1982). Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height. Master Thesis. *Dept. of Civil Engng.*
- Vellinga.** (1986). A tentative description of a univesal erosion profile for sandy beaches and rock beaches. *Coastal Engineering*, 177-188.