

# FORMACIÓN DE RIZOS DE ARENA INDUCIDOS POR LA INTERACCIÓN DEL OLEAJE CON UN DIQUE DE TALUD PERMEABLE

Anahí Silva Alcantar, Edgar Mendoza y Rodolfo Silva Casarín

Coordinación de Hidráulica, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Escolar s/n, Edificio 5, Ciudad Universitaria, CP 04510, Coyoacán, CDMX, México Tel. +52(55)56233600  
E-mail: asilvaa@iingen.unam.mx, emendozab@iingen.unam.mx, rsilvac@iingen.unam.mx

## Introducción

La protección de las áreas costeras, principalmente con estructuras rígidas, se ha incrementado en años recientes debido al continuo crecimiento de la población que ocupa dicha franja. El principal propósito de los rompeolas es servir de obstáculo a las olas incidentes y causando rotura y reflexión atenuando así la energía que ataca las costas. La reducción de la energía de las olas promueve la depositación de material en dirección hacia la costa enfrente de la estructura, lo cual limita la erosión de la costa (Young, 2008).

La interacción de las olas de la superficie del océano con un rompeolas permeable es compleja. Si además se considera que el fondo es móvil, la aparición de formaciones en el lecho con diversas características constituye un tema de investigación en sí mismo dado que puede tener implicaciones en la estabilidad de las estructuras.

En las inmediaciones de diques, acantilados y playas escarpadas, donde las olas no rompen, se desarrolla un patrón rítmico en el lecho marino fuertemente ligado a la reflexión del oleaje. Los esfuerzos cortantes del lecho marino, que generan un complejo campo de flujos, moldean el fondo dando origen a formaciones de pequeña escala llamadas rizos; las cuales afectan los campos de velocidad; debido a que se incrementa la rugosidad del lecho marino. La formación de rizos de arena se origina cerca de la región de la costa o de la estructura y está limitada al área donde normalmente las olas rompen (Cobos, Chiapponi, Longo, Baquerizo, & Losada, 2017). Los rizos que se observan en el fondo del mar son agrupados usualmente en tres categorías: rizos por oleaje, rizos por oleaje y corrientes y rizos por corrientes. Los rizos generados por oleaje se forman como respuesta al flujo oscilatorio cercano al fondo cuando es mucho más intenso que la velocidad de alguna corriente constante y se caracterizan por (1) su longitud es una fracción del doble de la amplitud de las oscilaciones de desplazamiento del fluido cerca del fondo; (2) crestas más agudas que los valles y (3) y tienen a poseer una forma simétrica con respecto a las crestas y a los valles (Blondeaux, Foti, & Vittori, 2015). Estas formaciones pueden clasificarse de la siguiente manera: (i) rizos de longitud de onda de  $\lambda \approx O(10^{-1})$  m donde las partículas del fluido son movidas cerca del fondo; (ii) dunas y antidunas de longitud de onda de  $\lambda \approx O(10)(10^0)$  m; (iii) barras de longitud de onda de  $\lambda \approx O(10)(10^1)$  m; (iv) barras de ares de longitud de onda de  $\lambda \approx O(10)(10^2)$  m, las cuales tienen aproximadamente la longitud de onda del oleaje (Cobos et al., 2017). En este trabajo se presenta un análisis de los procesos y evolución del lecho marino que fueron observados, en laboratorio, como resultado de la interacción oleaje-suelo en presencia de un dique en talud.

## Materiales y métodos

Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Ahí se cuenta con un canal de oleaje que tiene 22 m de largo, 0.60 m de alto, 0.40 m de ancho, con paredes de vidrio templado y una estructura de acero inoxidable, equipado con una pala de la marca HR Wallingford. El canal cuenta con una charola de

acrílico de 10 mm de espesor ubicada a 13 m desde la pala generadora, la cual está conformada por una armadura de soleras y ángulos de aluminio de 1 pulgada, con dimensiones interiores de 84.5 cm de largo, 27 cm de ancho y 20 cm de profundidad. Para registrar la variación de la superficie libre del agua se utilizaron 6 sensores de nivel por conductividad. Se colocaron dos rampas de acrílico con dimensiones de 0.75 m de largo por 0.05 m de alto para peraltar las olas y contener el material que fingió como fondo. Sobre este material se dispuso el dique fabricado con cubos de concreto de 3 cm de arista, la base del dique fue de 1.0m y su altura de coronación 0.4 m. El talud en la parte expuesta fue 1:2 y (Fig.1 y 2).

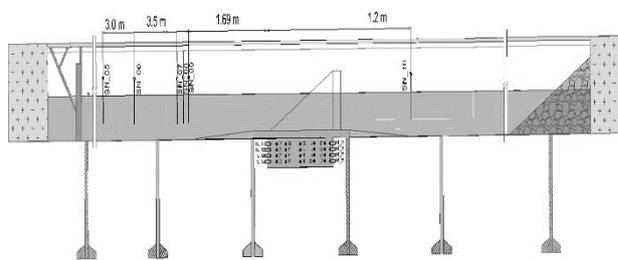


Figura 1.- Distribución de los sensores de nivel y presión, así también la ubicación del dique desplantado.

El material usado como fondo para estos ensayos fue arena, la cual fue obtenida en Puerto Morelos, Quintana Roo. La curva granulométrica y densidad de la arena fueron determinadas utilizando el Sistema de análisis granulométrico por imágenes CAMSIZER de la firma Retsch Technology. Las propiedades mecánicas del material donde  $\rho$  es la densidad de material,  $n$  es la porosidad del material,  $\phi^{\circ}$  es el coeficiente de reposo se pueden observar en la Tabla 1.

El procedimiento experimental consistió en llenar la charola y el espacio entre rampas con arena. Posteriormente, construir el dique y llenar el canal con un tirante de 0.30 m de agua.

Tabla 1.- Propiedades mecánicas del suelo.

Material	$d_{50}$ (mm)	$\rho$	$n$	$\phi^{\circ}$
Arena	0.267	2.85	0.500	35.00

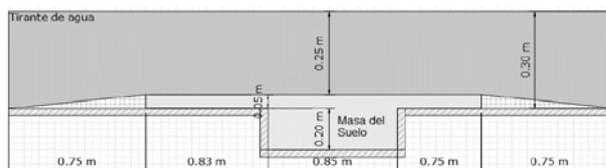


Figura 2.- Ubicación esquemática de las rampas y el suelo.

Se calculó el coeficiente de reflexión con el método (Mansard & Funke, 1980) para lo cual se utilizaron las mediciones de los sensores SN\_07, SN\_08 y SN\_09 (Fig. 1).

Se analizó la geometría del fondo con ayuda de cámaras fotográficas, para posteriormente realizar un perfil de las

condiciones iniciales y finales de las pruebas. Para determinar su altura y la longitud entre un rizo y otro; así también si existe un cambio en su distribución, posición y forma.

La geometría de un rizo es expresada como función de diferentes variables:

$$X = f(\rho, Re_d, Re, \psi) \dots \dots \dots [1]$$

Donde  $\rho$  es la densidad relativa del material,  $Re_d$ , número de Reynolds del sedimento,  $Re$  número de Reynolds y  $\psi$  número de movilidad de los sedimentos.

La altura de los rizos en equilibrio se obtuvo con la siguiente expresión (Faraci & Foti, 2002):

$$\zeta = 18.16 d_{50}^{0.097} \dots \dots \dots [2]$$

## Resultados

Se observó la formación de rizos bajo diferentes condiciones de oleaje empezando con un fondo plano arenoso no cohesivo (fig. 3). El modelo fue sometido a dos diferentes trenes de olas, el primer tren tenía  $H=6$  cm y un  $T=0.9$  s con una duración de 600 s y el segundo con una duración de 1200 s con  $H=12$  cm y  $T=1.2$  s.



Figura 3.- Foto de la estructura antes de iniciar la prueba.

Al iniciar el oleaje se empezaron a formar los rizos, los cuales fueron adoptando sus condiciones de equilibrio (fig. 4). Las alturas de los rizos fueron de 2 a 3 cm.



Figura 4.- Formación de rizos en el primer tren de ola.

La longitud entre cresta y cresta de rizos fue de 3 cm. Con el segundo tren de olas se obtuvieron rizos más definidos (fig. 4) hasta alcanzar su posición de equilibrio. La formación de estos rizos es indicativo de los esfuerzos ejercidos sobre el lecho marino y de la reflexión del oleaje producida por la estructura. Por lo que las velocidades generadas cercanas al fondo provocaron una tensión que superó los esfuerzos críticos, los cuales generaron un movimiento de material que dio origen a los rizos de arena. La evolución en la morfología de los rizos se obtuvo a partir de su variación temporal.



Figura 5.- Longitud rizos entre cresta y cresta.

En el artículo completo se mostrará la relación entre la geometría de los rizos, el periodo de las olas, el coeficiente de reflexión y la relación entre de la rugosidad y la evolución de los rizos según se estabilizan estas formaciones rítmicas.

## Referencias

- Blondeaux, P., Foti, E., & Vittori, G. (2015). A theoretical model of asymmetric wave ripples, 373. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0112>
- Cobos, M., Chiapponi, L., Longo, S., Baquerizo, A., & Losada, M. A. (2017). Ripple and sandbar dynamics under mid-reflecting conditions with a porous vertical breakwater. *Coastal Engineering* 125 (February 2018), 95–118. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.04.006>
- Faraci, C., & Foti, E. (2002). Geometry, migration and evolution of small-scale bedforms generated by regular and irregular waves. *Coastal Engineering*, 47, 35–52. Retrieved from [https://ac.els-cdn.com/S0378383902000972/1-s2.0-S0378383902000972\\_main.pdf?\\_tid=48cf663a-18f4-11e8-a4aa00000aacb35d&acdnat=1519429991\\_d263bee7b41f24e9d12802da4cc592bd](https://ac.els-cdn.com/S0378383902000972/1-s2.0-S0378383902000972_main.pdf?_tid=48cf663a-18f4-11e8-a4aa00000aacb35d&acdnat=1519429991_d263bee7b41f24e9d12802da4cc592bd)
- Mansard, E. P. D., & Funke, E. R. (1980). The Measurement of Incident and Reflected Spectra Using a Least Squares Method. In *Coastal Engineering 1980*. <https://doi.org/10.1061/9780872622647.008>
- Young, D. (2008). *A laboratory study on the effects of submerged vertical and semicircular breakwaters on near-field hydrodynamics and morphodynamics*. Clemson University. Retrieved from [http://tigerprints.clemson.edu/all\\_theses](http://tigerprints.clemson.edu/all_theses)