

EVALUACIÓN DEL ASCENSO MÁXIMO EN DIQUES ROMPEOLAS DE PIEZAS SUELTAS CON PERFIL EN S

Jair Del Valle Morales¹ y José Antonio González Vázquez²

^{1,2} Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco no.186, Col. Vicentina. C.P.09340, Iztapalapa, Ciudad de México, México. Tel: +52(55)58044600 ext.1014.
E-mail: jdvm9080@gmail.com, jgonzalezv@xanum.uam.mx

Introducción

El ascenso es la elevación que alcanza la lámina de agua al incidir sobre el talud en los Diques Rompeolas de Piezas Seltas (en adelante nombrados como DRPS) sin que exista rebase. Dicha elevación se mide a partir del nivel medio del agua en forma vertical. En este sentido, el ascenso máximo es el punto más elevado que alcanza el agua sobre el talud (Figura 1).

En la literatura especializada, el ascenso máximo (*runup* en su equivalente en inglés, *Ru*) es presentado dividido entre la altura de ola incidente (*H*), es decir, se presenta de manera adimensional y casi siempre en función únicamente del número de Iribarren, (ζ).

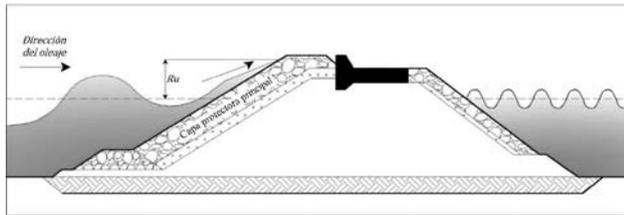


Figura 1.- Definición del ascenso máximo (*Ru*) en un dique rompeolas.

Los DRPS son las estructuras de protección costera más utilizadas en todo el mundo. El perfil en S se alcanza cuando dichas estructuras logran un equilibrio más o menos estable, es decir, la interacción oleaje-estructura permite generar un perfil que posee una alta estabilidad. En este sentido, el objetivo general del presente estudio es estimar los valores del ascenso máximo para este tipo de dique, compararlos con información disponible, así como discutir las ventajas hidrodinámicas y mecánicas que poseen este tipo de estructuras.

Metodología de trabajo y modelo numérico

La metodología del trabajo llevado a cabo se resume de la siguiente manera:

- El procedimiento del diseño geométrico del DRPS con perfil en S se explica en Del Valle (2017) y Mendoza et al. (2010). El perfil en S se idealiza a través de tres pendientes, definiéndose así tres zonas del perfil: R1, R2 y R3. El diseño de dicho perfil se muestra en la Figura 2. En este sentido, se dimensionaron cuatro secciones transversales considerando las siguientes alturas de ola de diseño: 4, 5, 6 y 7 metros (Figura 3).
- Generación de mallas y definición del dominio computacional de cálculo. Esto último se describe en Del Valle et al. (2014) y Del Valle (2017). También en este paso se definen los periodos de oleaje a emplear (9, 10, 11 y 12 segundos) así como el tipo de aproximación analítica para simular el oleaje de tipo regular.
- Post proceso de la información y discusión de los resultados

El modelo numérico empleado para evaluar el ascenso máximo en las cuatro secciones transversales mencionadas antes se puede resumir en los siguientes dos puntos:

- OpenFOAM® (*Open Field Operation And Manipulation*) CFD-Toolbox, el cual es un software de código fuente abierto desarrollado por OpenCFD Ltd. Dicho programa está actualmente disponible para los sistemas operativos Windows®, Mac® y Linux®. Es este último sistema operativo el empleado en este trabajo.
- La librería *waves2foam*. Es un grupo de herramientas numéricas desarrollado por Jacobsen et al. (2012) con el fin de generar campos de oleaje (tanto regular como irregular). Actualmente dicha librería aplica la técnica de zonas de relajación y permite definir diferentes geometrías en dichas zonas. Recientemente ya está disponible un manual con mucha información (Jacobsen, 2017) el cual está disponible para su descarga gratuita.

Tomando como punto de partida la librería *waves2foam*, Alcérreca (2014) desarrolló una aplicación llamada *wavePorousFoam*, la cual integra las capacidades de la librería anterior y permite definir de manera sencilla distintas zonas porosas, resolviendo las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas de Reynolds y promediadas en un volumen (VARANS).

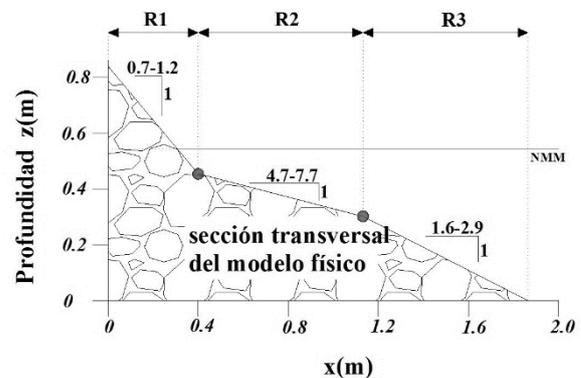


Figura 2.- Definición de las tres zonas que integran el perfil idealizado en S en un DRPS.

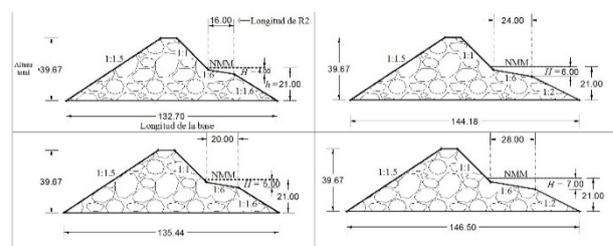


Figura 3.- Diseño geométrico de las cuatro secciones transversales analizadas en este trabajo.

Casos de estudio

Para este trabajo se han propuesto analizar dos casos de estudio, los cuales se describen a continuación.

Caso 1: DRPS-S homogéneo

En este caso se considera el dique rompeolas completamente como una masa porosa representada a través del valor de porosidad $n = 0.45$ (Figura 4).

Caso 2: DRPS-S con cubos en zona R2 del perfil en S

En este caso se definen cubos con arista igual a 2 metros, orientados con dos ángulos específicos. Estos ángulos se han medido previamente en el laboratorio para piezas cúbicas elaboradas de concreto simple. Los ángulos que se muestran en la Figura 5 definen una “auto-organización” de estos elementos prefabricados. El tema de la auto-organización para dichos elementos de concreto se explica en Clavero (2007), Mendoza et al. (2010) y Del Valle (2017).

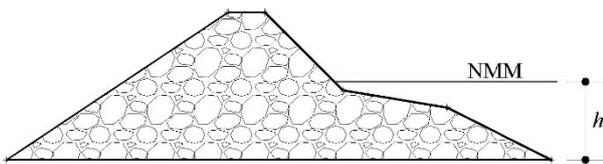


Figura 4.- Caso 1: DRPS-S homogéneo

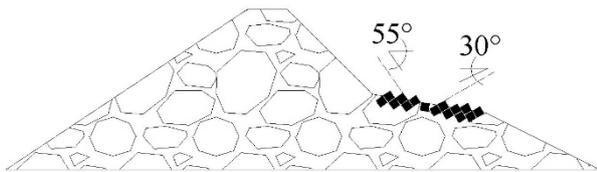


Figura 5.- Caso 2: DRPS-S con piezas cúbicas auto-organizadas en la zona 2 del perfil en S.

Obtención de resultados

El procedimiento para determinar el ascenso máximo se describe a continuación:

- i. Se define la frontera que existe entre los dos fluidos: el agua y el aire. La frontera se puede obtener a lo largo del perfil en S, pero es en las zonas R1 y R2 de dicho perfil donde interesa determinar esta superficie puesto que es ahí donde ocurre el fenómeno de ascenso y descenso de la lámina de agua. Para esto se utiliza una variable denominada alfa 1, (llamada $\alpha 1$ en la versión 2.1.0 de OpenFOAM), uno de los parámetros que arroja la modelación numérica. Esta variable representa el contenido de agua definido dentro del dominio de cálculo.
- ii. La frontera entre ambos fluidos o fases queda entonces determinada cuando $\alpha 1 = 0.5$

Con base en el procedimiento anterior, se han comparado los resultados numéricos obtenidos en este análisis con 6 formulaciones elegidas de la literatura especializada (Tabla 1). También se ha comparado estos resultados con información que presenta Van der Meer y Stam (1992).

Con base en los resultados, se han llegado a conclusiones valiosas, siendo una de ellas que este tipo de estructuras promueve una disminución del valor del ascenso máximo, llegando a tener, por lo tanto, secciones transversales para este tipo de estructuras con alturas más pequeñas reduciendo con ello, por ejemplo, los costos en su construcción.

Tabla 1.- Ecuaciones para evaluar el ascenso máximo adimensional en DRPS.

Autor (es)	Ecuación	
Hunt (1959)	$\frac{Ru}{H} = \xi$	[1]
Losada y Gimenez-Curto (1981)	$\frac{Ru}{H} = 1.7887[1 - \exp(-0.4552 \times \xi)]$	[2]
Ahrens y Heimbaugh (1988)	$\frac{Ru}{H} = \frac{1.154 \times \xi}{1 + 0.202 \times \xi}$	[3]
Mase (1989)	$\frac{Ru}{H} = 0.88 \times \xi^{0.69}$	[4]
Van der Meer y Stam (1992)	$\frac{Ru}{H} = 0.47 \times \xi, \quad \xi \leq 1.5$ $\frac{Ru}{H} = 0.6 \times \xi^{0.34}, \quad \xi > 1.5$	[5]
Hedges y Mase (2004)	$\frac{Ru}{H} = 0.25 + 1.10\xi \quad \text{para } 0.13 < \xi_0 \leq 2.2$	[6]

Referencias

- Ahrens, J.P. y Heimbaugh, M.S. (1988). “Irregular Wave Runup on Riprap Revetments”. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 114, 524-530.
- Alcérreca, J.C. (2014). *Process-based modelling of waves interacting with porous bonded revetments and their sand foundation*. Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig. Ph.D-thesis. pp. 202.
- Clavero, M. (2007). *Comportamiento de los diques en talud frente a la acción del oleaje y criterios para el reparto de la probabilidad conjunta de fallo en la vida útil.*, Universidad de Granada, España. Ph.D-thesis. pp. 231.
- Del Valle, J., Alcérreca, J.C., Mendoza, E. y Silva, R. (2014). “Modelación Numérica en OpenFOAM aplicada al estudio Hidromecánico de Diques Rompeolas de Piezas Seltas”. *XXVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Santiago, Chile. pp. 10
- Del Valle, J. (2017). *Criterios para el diseño geométrico y mecánico de diques con sección en S. Evaluación de modos de falla*. Facultad de Ingeniería, UNAM. Ph.D-thesis, pp. 181.
- Hedges, T.S. y Mase, H. (2004). “Modified Hunt’s Equation Incorporating Wave Setup”. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 130, 109-113.
- Hunt, I.A. (1959). “Design of seawalls and breakwaters”. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng. Sept (WW3)*, pp. 123-152.
- Jacobsen, N.G., Fuhrman, D.R. y Fredsøe, F.J. (2012). “A wave generation toolbox for the open-source CFD library: OpenFOAM[®]”. *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 70, pp. 1073-1088.
- Jacobsen, N.G. (2017). *Waves2Foam Manual, version 0.9. DRAFT* Deltares, The Netherlands, pp. 75.
- Losada, M.A. y Gimenez-Curto, L.A. (1981). “Flow characteristics on rough, permeable slopes under wave action”. *Coastal Engineering* 4, 187-206.
- Mase, H. (1989). “Random Wave Runup Height on Gentle Slope”. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 115, 649-661.
- Mendoza, E., Silva, R., Clavero, M. y Losada, M.A. (2010). “Evolución del comportamiento hidráulico y de la geometría de diques homogéneos al ser deformados por el oleaje”. *Tecnología y Ciencias del Agua* 1, 21-35.
- Van der Meer, J.W. y Stam, C.-J.M. (1992). “Wave Runup on Smooth and Rock Slopes of Coastal Structures”. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 118, 534-550.