

ESTUDIO DE EROSIÓN LOCAL EN PILAS CUADRADAS

Juan Manuel Serra, José Daniel Brea y Pablo Spalletti

Laboratorio de Hidráulica – Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina
E-mail: serrajuanmanuel@gmail.com - dbrea@ina.gov.ar – pspallet@ina.gov.ar

Introducción

Los procesos erosivos en torno a pilas cuadradas, con separaciones del flujo bien desarrolladas en sus aristas vivas, son complejos y por ello difíciles de predecir, lo que se suma a la escasez de información relativa a este tema (Diab et al., 2009; Dey, 2005). Por ello, los estudios en modelo físico constituyen herramientas útiles para mejorar el conocimiento de este tipo de fenómenos.

El objetivo de este trabajo es describir los estudios con modelos físicos a fondo móvil de erosión local en pilas cuadradas que se han realizado en los últimos años en el Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua y, a través de ellos, caracterizar los procesos erosivos en torno a este tipo de elementos, analizar la evolución temporal de la erosión en puntos de referencia, describir las fosas de erosión durante el desarrollo de las experiencias y comparar las socavaciones máximas registradas en los ensayos con las obtenidas a través de las fórmulas de estimación más utilizadas.

Los ensayos que se presentan en el trabajo han sido desarrollados en el marco de prácticas profesionales, con la colaboración de estudiantes avanzados como Marina Bermúdez, Andrés Graisar y Germán Zñak, entre otros.

Descripción de Instalaciones y Ensayos

Los ensayos se realizaron en dos canales de 30 metros de largo y 1 metro de profundidad, uno de 2 metros de ancho y el otro de 2,50 metros, localizados en la Nave 6 del Laboratorio de Hidráulica. Ambos dispositivos disponen de una capacidad de bombeo de aproximadamente 500 litros por segundo.

Se realizaron cuatro ensayos en los cuales el lecho está constituido por arena y otro utilizando carbón mineral como material móvil. Tres de las experiencias con arena se realizaron analizando una pila cuadrada de 20 centímetros de lado con diferentes condiciones de relación tirante-ancho de pila, utilizando el canal de 2,50 metros de ancho. En el cuarto ensayo con arena, se analizaron dos pilas cuadradas de 20 centímetros de lado, separadas una distancia de 30 centímetros (50 centímetros entre ejes) y alineadas con la dirección de la corriente, en el canal de 2 metros de ancho.

En la Figura 1 se muestra el armado del modelo de dos pilas cuadradas alineadas con la corriente.



Figura 1.- Montaje de estructura

El quinto ensayo que se presenta, se corresponde con el estudio de una pila cuadrada, también de 20 centímetros de lado, en el cual el fondo del lecho móvil se materializó con carbón mineral de peso específico del orden de 1430 Kg/m³, con un d₅₀ igual a 170 μm. Este ensayo se hizo en el canal de 2 metros de ancho.

En la Figura 2 se presentan las curvas granulométricas de los materiales utilizados como fondo.

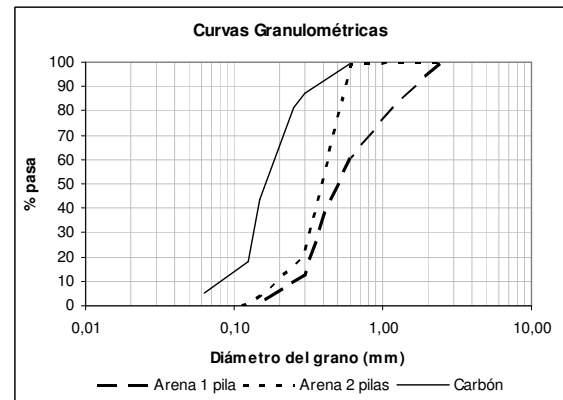


Figura 2.- Curvas granulométricas - materiales del lecho móvil

En las experiencias desarrolladas, las velocidades se registraron utilizando un Velocímetro Acústico Doppler (ADV). Para medir las erosiones en torno de las estructuras estudiadas, se utilizó un equipo ultrasónico desarrollado en el Instituto (Izquierdo, 2010).

En la Tabla 1 se resumen las condiciones hidráulicas de cada ensayo, indicando además la relación entre la velocidad del escurrimiento y la velocidad crítica de inicio de movimiento de las partículas del lecho.

Tabla 1.- Condiciones hidráulicas de los ensayos

Ensayo	Lecho	Tirante (m)	Velocidad (m/s)	Froude	U/Uc
1-1pila	Arena	0,10	0,226	0,16	0,95
2-1pila	Arena	0,15	0,239	0,17	0,95
3-1pila	Arena	0,20	0,248	0,18	0,95
4-2pilas	Arena	0,22	0,236	0,17	0,90
5-1pila	Carbón	0,20	0,150	0,11	0,93

Erosión Local

Para estimar las erosiones máximas que pueden desarrollarse en pilas suele utilizarse la expresión [1] del HEC-18 (2001).

$$\frac{S}{h} = 2.0K_1K_2K_3K_4 \left[\frac{a}{h} \right]^{0.65} Fr^{0.43} \quad [1]$$

donde “S” es la socavación máxima calculada, “h” el tirante aguas arriba de la pila, “a” el ancho de la pila, “Fr” el número de Froude y los valores de “K” corresponden a diversos factores de corrección, entre ellos la geometría.

En la Tabla 2 se muestra la comparación entre erosiones máximas observadas en los ensayos y las estimadas con la

fórmula del HEC-18.

Tabla 2.- Comparación entre las erosiones máximas observadas y calculadas

Ensayo	Lecho	Tirante (m)	S/a	S _{medida} (m)	S _{HEC 18} (m)
1	Arena	0,10	0,68	0,136	0,173
2	Arena	0,15	0,70	0,140	0,205
3	Arena	0,20	0,95	0,190	0,230
4	Arena	0,22	1,03	0,206	0,233
5	Carbón	0,20	1,03	0,206	0,185

Se aprecia que para los ensayos realizados con fondo de arena, las erosiones calculadas mediante la expresión del HEC-18 son mayores que las medidas en los ensayos con el equipo ultrasónico. En el caso del ensayo realizado con lecho de carbón, la erosión estimada es un 10 % menor que la observada.

Para analizar la evolución temporal de la erosión, se registraron las distancias entre el pelo de agua y el fondo durante el ensayo, en un punto característico ubicado a unos 5 centímetros del vértice de aguas arriba, en la zona donde la fosa de socavación tiene más profundidad. La Figura 3 muestra como se produce en el tiempo, la profundización del lecho en el punto de control para el Ensayo 3 y la Figura 4 expone lo mismo para el Ensayo 4.

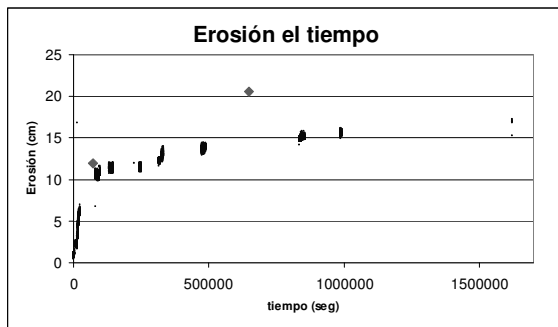


Figura 3.- Erosión en el tiempo en punto de control – Ensayo 3 y erosión en dos instantes – Ensayo 5

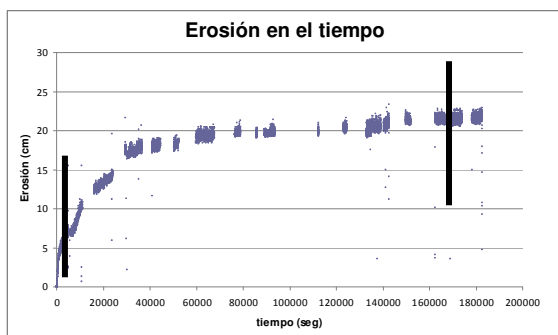


Figura 4.- Erosión en el tiempo en punto de control - Ensayo 4

En ambas figuras se puede ver que transcurrido cierto tiempo el proceso de erosión tiende a estabilizarse y es en este momento donde se midió lo que en las tablas se indica como máxima socavación medida. Las duraciones de las experiencias fueron de 470 horas para el Ensayo 3 y de 51 horas para el Ensayo 4.

En la Figura 3 también se presentan mediante rombos, las erosiones registradas en el punto de referencia del Ensayo 5 a 20 horas y 180 horas, tiempo en el cual finalizó la experiencia. La duración total del ensayo fue de 180 horas.

En la Figura 5 se muestran las fosas de erosión en torno a las dos pilas cuadradas transcurridas 1,5 horas y 60 horas de iniciado el ensayo, momento en que finalizó la experiencia. Además se ubican los puntos de control, que se encuentran en el vértice izquierdo del lado de aguas arriba a 5 centímetros de distancia. En la Figura 4 se indican los tiempos mencionados con una recta vertical.

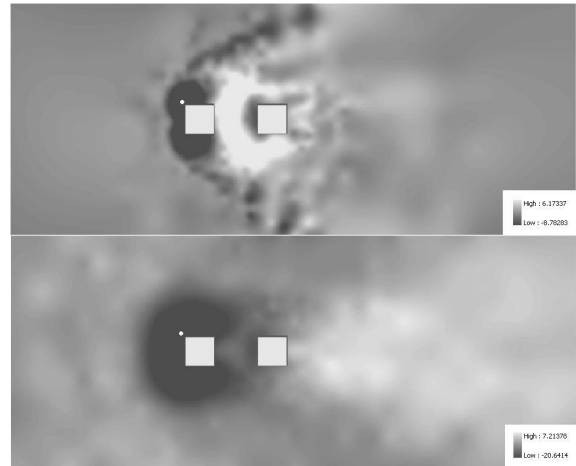


Figura 5.- Fosas de erosión. Imagen superior luego de 1,5 hs. Imagen inferior luego de 60 hs de iniciado el ensayo

Conclusiones

Se han presentado una serie de experiencias para estudiar erosión local en pilas cuadradas, en las que para poder realizar comparaciones, se han analizado los procesos para situaciones de Uc/U cercanas a 1, variando un parámetro hidráulico y/o geométrico por vez.

Más allá del análisis de las máximas socavaciones locales observadas en cada situación, se prestó especial atención a la evolución temporal de la fosa de erosión, registrándose durante los ensayos el desarrollo de los procesos en puntos característicos, perfiles del lecho en torno a las pilas para diferentes tiempos de ensayo y hasta relevándose la totalidad del lecho móvil al final de los ensayos y a las pocas horas de iniciadas las experiencias.

En todos los casos los ensayos tuvieron duraciones del orden de los días, de forma tal que las erosiones sean lo más cercanas, dentro de las posibilidades prácticas de las instalaciones, a las máximas esperables.

Referencias Bibliográficas

Dey, S.; Barbhuiya, A. K. (2005): “Flow Field at a Vertical-Wall Abutment”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE Vol. 131. No. 12, December, 2005.

Diab, R.; Link, O.; Zanke, U. (2009): “Experimental Investigation of 3D Flow Field around Square Pier”, *33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment*.

Izquierdo, J. M.; Tatone, G. (2010): “Equipo Ultrasónico para Estudio de Erosión en Modelos Físicos”, *XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Punta del Este, Uruguay, Noviembre 2010.

Richardson, E.V. & Davis, S.R. (2001). *Evaluating Scour at Bridges, Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC-18)*, Rep. No. FHWA NHI 01-001, Federal Highway Administration, Washington DC, USA.