

INFLUENCIA DE LA SEPARACIÓN RELATIVA EN ARREGLOS DE ESPIGONES DE GAVIÓN CON CABEZA EN FORMA DE “T” EN LOS PROCESOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Virgilio Martínez¹, Violeta Rodríguez² y Mauricio Romero³

¹Asistente de Investigación, Laboratorio de Hidráulica, Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Av. Petrolera km 4.2, 6760, Tel: +591 764 61609, Cochabamba, Bolivia.

²Laboratorio de Hidráulica, Universidad Mayor de San Simón, Av. Petrolera km 4.2, 6760, Cochabamba, Bolivia.

³Programa de Postgrado en Ingeniería de Recursos Hídricos y Medio Ambiente (PPGERHA), Universidad Federal de Paraná (UFPR), Centro Politécnico, Bloque V, 19011-81531-900- Curitiba, Paraná, Brasil.

E-mail: virgilio.mar92@gmail.com, violetrc@yahoo.es, mauri.romero.merida@gmail.com

Introducción

El presente estudio pretende contribuir al conocimiento de los procesos de socavación en las vecindades de arreglos de espigones de gavión por medio de la obtención de modelos empíricos que cuantifiquen, de manera aceptable, alturas de socavación. Con el fin de estudiar la importancia de la separación relativa ($S_p^* = S_p/L_{to}$, donde S_p es la separación entre espigones y L_{to} es la longitud del espigón perpendicular al flujo) en los procesos mencionados.

La determinación de la altura de socavación es de gran importancia y ha sido estudiado por medio de modelaciones físicas, numéricas y modelos empíricos. Suzuki et al. (1987) señalan que la altura de socavación alrededor de los espigones aguas abajo del primer espigón están influenciados por la separación entre los mismos.

En la bibliografía se cuenta con más de veinte modelos, en donde, la mayoría de estas, estudian el fenómeno en un solo espigón, es decir la influencia de la separación relativa no es considerada.

Arreglos de espigones son construidos en un ángulo de inclinación α (Yossef, 2002). Deben verse como una secuencia o conjunto de elementos armoniosamente vinculados unos a otros (Ishii et al., 1983), de esta manera, desviar el flujo de agua lejos de las zonas críticas y se promueva entonces, sedimentación en los espacios entre ellos (Przedwojski et al., 1995).

Para el desarrollo de la investigación, se utilizan datos experimentales de un estudio previo, que consiste en alturas de socavación producidas por varios arreglos de cuatro espigones de gavión con cabeza en forma de “T” instalados en un canal rectangular de pendiente regulable, bajo condiciones sumergidas, lecho arenoso uniforme y caudal constante, en instalaciones del Laboratorio de hidráulica de la UMSS. ($S_{p1}=1.65$ [m], $S_{p2}=2.10$ [m]) ($\alpha = 45, 60, 90, 120$ y 135 [°]) (Romero et al., 2014).

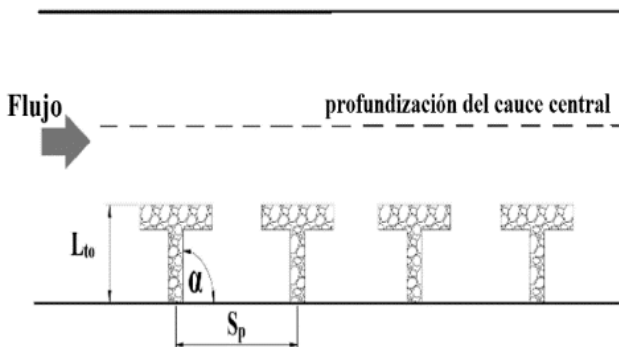


Figura 1.- Arreglo de espigones con ángulo de inclinación α (Romero et al., 2014).

Metodología

Se aplican ocho modelos empíricos existentes de la literatura al estudio experimental, con el objetivo de cuantificar el grado de ajuste entre datos observados y calculados.

Del estudio experimental se identifican las variables más representativas al fenómeno de socavación y posteriormente se reducen a parámetros adimensionales que representan de igual manera el fenómeno estudiado mediante la aplicación de análisis dimensional y el teorema Pi (Π) de Buckingham (Sharp, 1981).

Según Buckingham, la relación funcional f que describe el fenómeno de socavación es:

$$f \left(\frac{h_s}{L_{to}}, \frac{S_p}{L_{to}}, \text{cosec}\alpha, \frac{h}{L_{to}}, \frac{d}{L_{to}}, Fr, \frac{V_m}{U_{cs}^*}, \frac{V_m * h * B}{L_{to}^2 * U_{cs}^*}, \frac{B}{L_{to}} \right) = 0 \quad [1]$$

La regresión es la herramienta matemática que permite estudiar la relación entre números adimensionales.

Finalmente, los datos obtenidos en Romero et al. (2014) son sometidos a una comparación a los correspondientes de los modelos empíricos propios, lo cual permite evaluar la precisión que alcanzan dichos modelos a través de los siguientes indicadores de la literatura científica basados en magnitudes de errores:

Coefficiente de Nash-Sutcliffe COE_x :

$$COE_x = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_{oi} - x_{ci})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{oi} - \bar{x}_o)^2} \quad [2]$$

0 Error Estándar Promedio de Estimación S_x :

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{ci} - x_{oi}}{x_{oi}} * 100 \right)^2}{n - 1}} \quad [3]$$

Error medio Absoluto EPA_x :

$$EPA_x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{|x_{oi} - x_{ci}|}{n} * 100 \right) \quad [4]$$

Donde x_{oi} y x_{ci} son los valores observados y calculados de la variable x (h_s); n cantidad de datos y \bar{x}_o el promedio de los valores observados.

Resultados

Para el grado de ajuste con modelos existentes en la literatura, la mayoría de estas subestiman o sobrestiman los valores observados en la modelación física.

El modelo propuesto por Suzuki et al. (1987) demuestra que la socavación local alrededor de un espigón aguas abajo del primero en un arreglo de espigones para $\alpha = 90^\circ$, es una función de la relación del espaciamiento entre espigones S_p y la longitud del espigón perpendicular al flujo L_{to} .

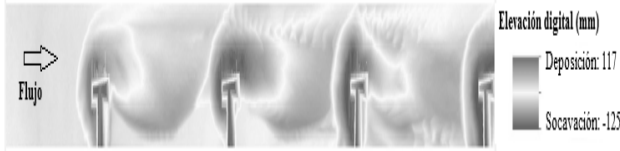


Figura 2.- Relieve del lecho socavado para $\alpha = 90^\circ$; $S_{p2}=2.10$ [m]; $Q=0.025$ [m³/s] (Martínez y Romero, 2016)

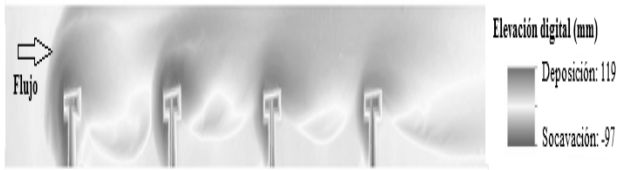


Figura 3.- Relieve del lecho socavado para $\alpha = 90^\circ$; $S_{p1}=1.65$ [m]; $Q=0.025$ [m³/s] (Martínez y Romero, 2016)

Del resultado del análisis dimensional, a continuación se muestran cuatro modelos propios en consideración, donde a , b , c , d y e son constantes de calibración que se obtienen del software estadístico SPSS v22 a través de regresión no lineal y minimizando las funciones con el algoritmo de Levenberg-Marquardt (Ranganathan, 2004).

Modelo I

$$\frac{h_s}{L_t} = 0.374 * \left(\frac{S_p * h}{L_t^2} \right)^{-0.058} * (sen\alpha)^{1.478} * (Fr)^{-1.254} * \left(\frac{V_m}{U_{cs}^*} \right)^{-0.333} \quad [5]$$

Modelo II

$$\frac{h_s}{L_t} = 4.61E - 07 * \left(\frac{S_p}{L_t} \right)^{-0.125} * (sen\alpha)^{-5.652} * (Fr)^{-4.671} * \left(\frac{V_m * h * B}{L_t^2 * U_{cs}^*} \right)^{3.550} \quad [6]$$

Modelo III

$$\frac{h_s}{L_{to}} = 0.715 * \left(\frac{S_p}{L_{to}} \right)^{0.044} * (coseca)^{-0.302} * (Fr)^{-1.000} * \left(\frac{V_m}{U_{cs}^*} \right)^{-0.503} \quad [7]$$

Modelo IV

$$\frac{h_s}{L_{to}} = 0.275 * \left(\frac{S_p}{L_{to}} \right)^{0.044} * (coseca)^{-0.302} * (Fr)^{-1.193} * \left(\frac{V_m * h * B}{L_{to}^2 * U_{cs}^*} \right)^{-0.309} \quad [8]$$

Donde h_s es la altura de socavación máxima, en [m]; L_t es la longitud del espigón, en [m]; S_p es la separación entre espigones, en [m]; h es el tirante del flujo aguas arriba del primer espigón, en [m]; α es el ángulo de inclinación del espigón, en [°]; Fr es el número de Froude en el centro del canal, adimensional; V_m es la velocidad media en el centro del canal, en [m/s]; U_{cs}^* es la velocidad de corte crítica antes del movimiento, en [m/s]; B el ancho del canal, en [m]; L_{to} la longitud del espigón perpendicular al flujo, en [m].

Tabla 1.- Valores de COE_x , S_x y EPA_x para h_s ; **modelos propios;** Fase de Validación.

Modelo	COE_x	S_x [%]	EPA_x [%]
I	0.830	5.6	4.3
II	0.538	16.1	11.8
III	0.905	4.2	3.1
IV	0.905	4.2	3.1

Los cuatro modelos contienen variables relevantes. Dos de ellos cuantifican de manera aceptable el fenómeno de socavación (ver Tabla 1).

Conclusiones

Se evalúan siete modelos existentes en la literatura científica, los cuales estiman la altura de socavación para el caso de un espigón aislado y no para la de un arreglo de espigones. La mayoría no toman en cuenta parámetros como la velocidad media V_m , esfuerzo de corte τ , esfuerzo de corte crítico U_{cs}^* , diámetro medio de la partícula d , y solo tienen como parámetros en común el ángulo de inclinación α , la pendiente de la pared lateral del espigón m_s , la longitud del espigón perpendicular al flujo L_{to} y el ancho del canal B .

Los resultados muestran que los modelos III y IV presentan los valores más satisfactorios de $COE_x=0.905$ y 0.905 , y muestran los valores más bajos de $S_x=4.2$ [%] y 4.2 [%] y $EPA_x=3.1$ [%] y 3.1 [%] respectivamente. Por lo tanto, demuestran la importancia de S_p^* en el funcionamiento grupal o independiente en un arreglo de espigones.

El modelo de Suzuki es el único modelo encontrado en la literatura que analiza la socavación generada en arreglos de espigones, por lo que se evalúa la precisión del mismo, en la estimación de la altura de socavación del espigón aguas abajo del primero para $\alpha = 90^\circ$, al estudio experimental realizado por Romero et al. (2014). Se hace notar que para valores considerables de S_p/L_{to} , cada espigón trabaja de manera independiente y la altura de socavación en los espigones aguas abajo se aproximan a la del primer espigón el cual según la bibliografía es el más afectado por recibir primero los efectos de la corriente (ver Figura 2); y para valores pequeños de S_p/L_{to} los espigones trabajan en grupo (ver Figura 3), lo cual, para ambos casos, confirman la teoría expuesta por Suzuki et al. (1987).

Sin embargo, se recomienda continuar con las investigaciones acerca de arreglos de espigones ya que en nuestro medio no existen investigaciones que cuantifiquen estos procesos de socavación. Se sugiere que los ángulos sean mayores de 90° , los cuales favorecen el desvío de la corriente y son los más usados para la protección de márgenes.

Referencias bibliográficas

- Ishii, C., Asada, H. and Kishi, T. (1983). "Shape of separation region formed behind a groyne of non-overflow type in rivers". IAHR XX Congress. Moscow.
- Martínez, V. y Romero, M. (2016). "Determinación de expresiones empíricas para la estimación de alturas de socavación producidas en arreglos de espigones de gaviones en un modelo físico". Proyecto de grado presentado para optar el diploma académico de licenciatura en Ingeniería Civil, Cochabamba, Bolivia.
- Przedwojski, B., Blazejewski, R. and Pilarczyk, K. W. (1995). *River training techniques-undamentals, design and application*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Ranganathan, A. (2004). *The Levenberg-Marquardt Algorithm*. London.
- Romero, M., Ballesteros, N. and Lucana, V. (2014). "Experimental assessment of scouring and deposition processes around arrays of permeable gabion groynes". River Flow, Hydraulics Laboratory, San Simon University, Cochabamba, Bolivia. Pág. 2083-2092.
- Sharp, J.J. (1981). *Hydraulic Modelling*. Butterworth's, London.
- Suzuki, K., Michiue, M. and Hinokidani, O. (1987). "Local bed form around a series of Spur-Dikes in alluvial channels". XXII IAHR Congress, Lausanne, Belgium. Pág. 316-321.
- Yossef, M. F. M. (2002). "The Effect of Groynes on Rivers". Literature review for Ph.D. study, Delft University of Technology. Países Bajos, pp. 1-6.