

FORMACIÓN DE MACRO-ESTRUCTURAS COHERENTES EN ESPIGONES FLUVIALES SUMERGIDOS

Chaoqi Wang, Wernher Brevis y Leticia Tarrab

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Sheffield, Reino Unido.

Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental y Departamento de Minería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

Departamento de Ingeniería Hidráulica, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

E-mail: wbrevis@ing.puc.cl, ltarrab@gmail.com

Introducción

La formación de zonas de recirculación de gran escala en aguas someras se encuentra omnipresente en los ambientes fluviales. Estas zonas se pueden formar debido a separaciones importantes de la sección transversal, como por ejemplo aquellas que ocurren en la presencia de puertos fluviales o en el caso del flujo que ocurre entre espigones. Durante condiciones hidrológicas normales, estas zonas de recirculación presentan bajas velocidades del flujo, por lo cual se les ha denominado zonas muertas (ZM) (Brevis et al., 2014). Las ZM pueden afectar varios procesos fluviales como por ejemplo modificaciones del transporte de sedimentos, debido a las altas tasas de deposición que inducen (Jacoub y Westrich, 2006) y a importantes efectos en el transporte de material disuelto, lo cual se manifiesta en la modelación unidimensional como un incremento del coeficiente longitudinal de dispersión (Uijtewaal et al., 2001). Pese a la gran información existente para el caso emergido, muy pocos trabajos han estudiado los efectos de la sumergencia de los espigones en los patrones conocidos de flujo. En estos casos se han observado importantes diferencias respecto al caso emergido y a las consecuencias en los procesos descritos previamente. Uijtewaal (2005) investigó la influencia de varios parámetros en las características del flujo sumergido, como por ejemplo la forma geométrica y el nivel de sumergencia. Este nivel se define como $\xi = h/H$, donde H es la altura del espigón y h la profundidad del flujo. Los resultados de Uijtewaal (2005) mostraron que la estructura asociada a la condición sumergida exhibe características tri-dimensionales, lo cual es una importante diferencia con el flujo formado durante la condición emergida. Además, el trabajo de Uijtewaal (2005) concluye que la velocidad del canal principal tiene efectos insignificantes en los patrones de flujo, mientras que presenta una gran dependencia con ξ . Por otra parte, Yossef (2005) analiza los efectos en el transporte de sedimentos inducido por la condición de flujo sumergido y emergido. Mediciones complementarias sobre un lecho fijo permitieron observar algunas de las diferencias, causadas por la sumergencia, en la estructura de la capa de corte lateral formada entre la ZM y el cauce principal. Mientras que la zona de corte es creada desde la cabeza del espigón en el caso emergido, y muestra una tasa de crecimiento relativamente constante con la dirección longitudinal, Yossef (2005) observó un ancho constante de la zona de corte durante la condición sumergida. Los experimentos con lecho móvil realizados por el mismo autor caracterizaron el intercambio de sedimento en ambos casos. Los resultados muestran que, durante la condición emergida, el sedimento es principalmente transportado hacia el la ZM en la zona de impacto de la capa de corte lateral contra el espigón de aguas abajo, mientras que en el caso sumergido el sedimento se intercambia prácticamente a lo largo de toda la interfaz. Una caracterización del campo de flujo durante las condiciones sumergidas podría explicar algunos de las características observadas por investigaciones anteriores. En este trabajo se realiza una investigación experimental en laboratorio para describir la estructura del flujo media y la formación de estructuras coherentes en espigones sumergidos. Se analizan dos relaciones de aspecto de la ZM para una sumergencia relativa constante y se presentan las características de campo medio

turbulento y las estructuras del flujo estadísticamente dominantes usando una técnica de descomposición modal (Proper Orthogonal Decomposition, POD, Brevis y Garcia-Villalba, 2011)

Materiales y métodos

Se realizaron mediciones en un canal de 17 m de largo y 1.8 m de ancho (B) perteneciente al Instituto de Hidromecánica del Instituto de Tecnología de Karlsruhe (KIT). En el mismo se posicionaron una serie de obstáculos rectangulares, separados longitudinalmente por una distancia W , en una de las paredes laterales del canal (Figura 1). La pendiente longitudinal del fondo fue de aproximadamente 0.005 m/m, el caudal en los ensayos fue de $Q=0.0216$ m³/s y la profundidad del flujo de 0.07 m. El número de Reynolds basado en la velocidad media $U = Q/(Bh)$ fue $Re_h = hU/\nu = 11800$ y el número de Froude $Fr = U/\sqrt{gh} = 0.2$. Se colocaron obstáculos en todo el largo del canal. Los mismos se representaron con bloques de PVC de 0.25 m \times 0.075 m \times 0.05 m ($L \times T \times H$). Se simularon dos relaciones de aspecto $\lambda = W/L = 1$ y $\lambda = 2$, ambas para una relación de sumergencia de $\xi = 1.4$

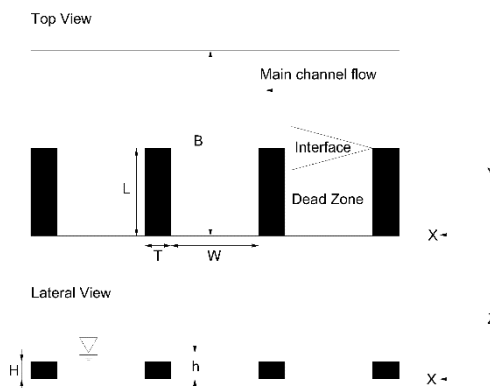


Figura 1.- Definición de parámetros geométricos del ensayo.

Se midieron campos de velocidades con la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas (PIV) en 2 planos horizontales, uno en superficie y el otro en $h/2$, y en 6 planos verticales. Las mediciones en los planos horizontales fueron realizadas a una frecuencia de 5 Hz durante 10 minutos y mientras que en los planos verticales se midieron a una frecuencia de 15 Hz y durante 13 minutos.

Resultados

Las curvas de corriente correspondientes a la estructura del flujo promedio en $h/2$ se muestran en la Figura 2. Para ambas razones de aspecto se puede observar la formación de una zona de recirculación análoga a la del caso emergido (ver Brevis et al.,

2014), pero con un centro de giro localizado mas cerca del muro del canal y desplazado longitudinalmente hacia aguas abajo. En términos de la magnitud de velocidad, estas disminuyen a valores por debajo de $0.2U$ en gran parte del volumen entre espigones, induciendo un gradiente de velocidad en la interfaz que resulta en la formación de una capa de corte lateral.

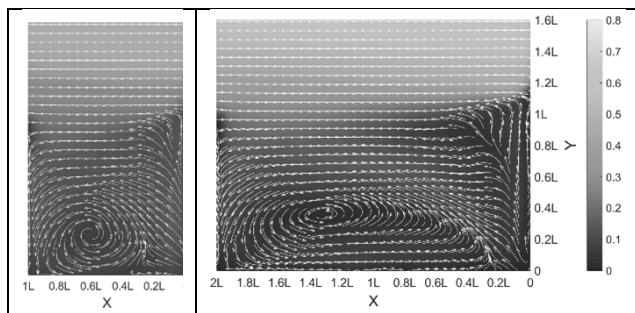


Figura 2.- Campos de flujo horizontales medidos en $h/2$. Izquierda: $\lambda = 1$, Derecha: $\lambda = 2$. La escala de grises muestra la magnitud de la velocidad adimensional $\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}/U$, donde \bar{u} y \bar{v} corresponden a las componentes promedio de velocidad en la dirección longitudinal y transversal, respectivamente.

La presencia de una capa de corte horizontal es evidente en la Figura 3, la cual describe la distribución de esfuerzos de Reynolds en $h/2$. En la figura es también posible observar la generación de una capa de corte diagonal, de signo opuesto, formada por el flujo proveniente por sobre el espigón y la zona de recirculación. En el caso emergido, la distribución de esfuerzos de Reynolds en la dirección transversal presenta una distribución mas estrecha que en este caso (Brevis et al., 2014).

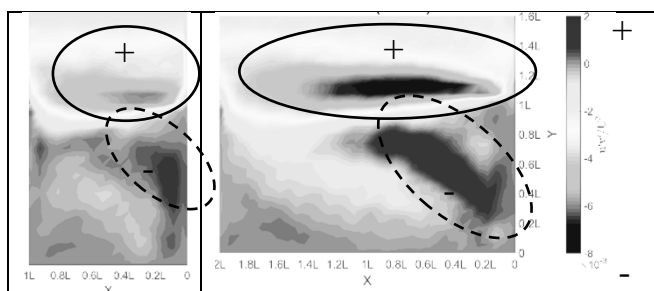


Figura 3.- Distribución de los esfuerzos de Reynolds en $h/2$. Izquierda: $\lambda = 1$, Derecha: $\lambda = 2$. Se muestra la magnitud de los esfuerzos de Reynolds dimensionales $\bar{u}'v'/U^2$, donde u' y v' corresponden a las fluctuaciones instantáneas de velocidad en la dirección longitudinal y transversal, respectivamente. La línea sólida muestra la capa de corte lateral formada en la interfaz con el canal principal. La línea segmentada muestra la posición de la capa de corte diagonal de signo contrario.

Se realizaron visualizaciones de flujo y en las mismas se observó una oscilación periódica de la capa de corte lateral. Con el fin de entender el campo de flujo asociado a estas oscilaciones, se realizó una descomposición modal del tipo POD sobre las series de tiempo extraídas de las mediciones realizadas con la técnica PIV. Los resultados de la forma espacial del modo dominante así como el espectro de energía asociado a sus coeficientes se muestran en las figuras 4 y 5. En la Figura 4, la escala de grises corresponde al rotor del campo descrito por los resultados modales y muestra la presencia de estructuras vorticales. La línea sólida muestra que este modo corresponde a la presencia de un macro vórtice generado en la interfaz con un tamaño espacial similar en ambos casos. La figura 5 muestra el espectro de energía asociado a los coeficientes del modo dominante tanto en superficie como en $h/2$ para ambas razones de aspecto. La figura muestra que la

presencia de los macro-vórtices horizontales puede ser observada en ambas posiciones y en todas ellas, independiente de la razón de aspecto, su frecuencia es la misma.

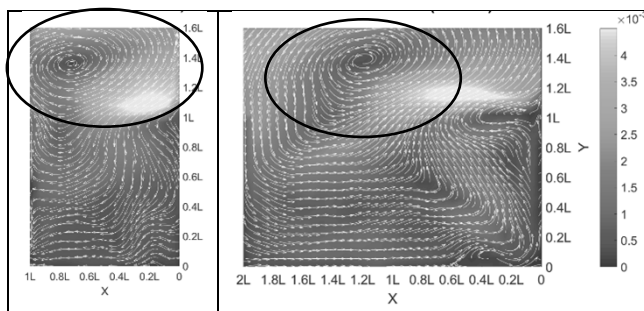


Figura 4.- Resultados de la descomposición modal. La figura muestra el modo dominante para ambas razones de aspecto. Izquierda: $\lambda = 1$, Derecha: $\lambda = 2$.

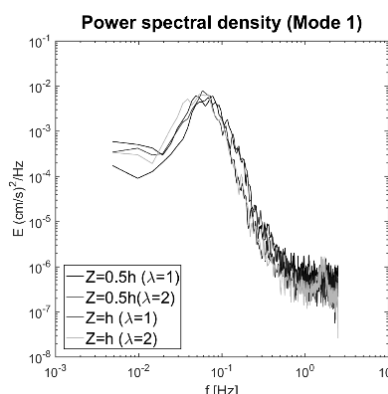


Figura 5.- Espectro del coeficiente α_1 correspondiente al primer modo modo del POD en diferentes planos horizontal y diferentes relaciones de aspecto.

Conclusiones

Por medio de un trabajo experimental se ha demostrado que los patrones de sedimentación observados por Yossef (2005) para el caso de espigones sumergidos es debido a una oscilación de la capa de corte lateral inducida por la presencia de macro-vórtices generados en la zona de la interfaz. El trabajo muestra que estos macro-vórtices son las estructuras más energéticas en el campo de flujo y que su tamaño y frecuencia es independiente de la razón de aspecto del campo de espigón.

Referencias

Brevis, W. and García-Villalba M. (2011). "Shallow-flow visualization analysis by proper orthogonal decomposition". *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 49, No. 5, pp. 586-594.

Brevis, W., García-Villalba, M. and Niño, Y. (2014) 'Experimental and large eddy simulation study of the flow developed by a sequence of lateral obstacles.' *Environmental Fluid Mechanics*, 14(4), pp. 873-893

Jacoub, G. and Westrich, B. (2006) 'Effect of river groyne structures on flow, sedimentation and erosion dynamics in rivers (Case study: the River Elbe).' *Geophys Res Abstr*, 8(6), p. 315.

Uijtewaal, W.S.J., Lehmann, D. and van Mazijk, A. (2001) 'Exchange processes between a river and its groyne fields: Model experiments.' *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(11), pp. 928-936.

Uijtewaal, W.S.J. (2005) 'Effects of groyne layout on the flow in groyne fields: Laboratory experiments.' *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(9), pp. 782-791.

Yossef, M.F.M. (2005) *Morphodynamics of rivers with groynes*. PhD thesis, Delft University of Technology.