

TURBULENCIA EN CANALES ABIERTOS CON FONDO DE VEGETACIÓN FLEXIBLE

Edwin Jonathan Pastrana¹ y Ariosto Aguilar Chávez²

¹ Posgrado en Ingeniería Civil/Hidráulica-UNAM-Campus Morelos. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550. Tel. +52 777 5645034

² Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550. E-mail: edwin.pastrana@posgrado.imta.edu.mx; aaguilar@tlaloc.imta.mx

Introducción

La presencia de vegetación en canales abiertos da como resultado turbulencia considerable y pérdida de energía, las principales influencias de la vegetación en el flujo de canal abierto son: las distribuciones horizontales y verticales de velocidad media e instantánea, estructuras turbulentas (diferentes escalas de vórtices), esfuerzos de Reynolds y las características de la vegetación, tales como, los cambios temporales de posición y el crecimiento natural. Es decir, el flujo en un canal con vegetación es esencialmente un problema de límite móvil (Carollo, Ferro, & Termini, 2002). Debido a esto, el análisis de la turbulencia en canales con vegetación es importante.

Palmer (1945) identificó tres condiciones de flujo que podrían ser experimentados en canales con vegetación: I. Flujos bajos, con el flujo que pasa a través de los tallos y follaje son deformarlos y sumergirlos. II. Flujos intermedios, produciendo la sumergencia completa de la vegetación. III. Flujos altos, forzar a una posición casi propensa, en donde puede haber algún movimiento de tallos y hojas, pero el efecto no es considerable. De acuerdo al tipo de vegetación, es decir, a las características físicas de la vegetación, Joen (2015) las clasifica en dos tipos: vegetación rígida y vegetación flexible.

En flujos altos en canales con vegetación se presenta un punto de inflexión en los perfiles verticales de velocidad entre la vegetación y la zona exterior (sobre la vegetación), este punto es inestable a pequeñas perturbaciones, y los vórtices crecientes e inestables de tipo Kelvin-Helmholtz (KH) surgen (Finnigan, 2000). En la presencia de flujos altos, es decir, cuando la vegetación no está confinada, los vórtices Kelvin-Helmholtz interactúan con mayores escalas de vórtices, y cuando son flujos intermedios, o cuando la relación entre la profundidad del flujo y la altura de la vegetación es pequeña, los vórtices de KH dominan todo el dominio del flujo, véase Figura 1, (Nepf & Ghisalberti, 2008).

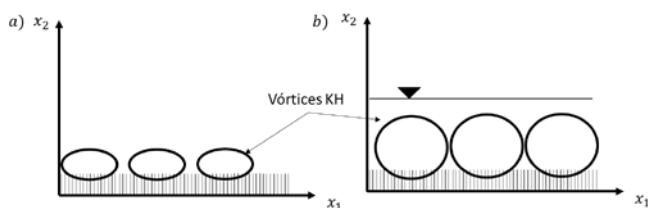


Figura 1.-Vórtices KH en diferentes condiciones de flujo. a) Flujos altos. b) Flujos intermedios o bajos.

En vegetación suficientemente densos, los vórtices no se extienden completamente al fondo del canal, entonces de acuerdo a la densidad se define la penetración del vórtice a la zona de vegetación. En presencia de vórtices de tipo KH los esfuerzos de Reynolds y las intensidades de turbulencia aumentan en la zona de vorticidad (Ghisalberti & Nepf, 2006).

En este trabajo se presenta un estudio de los vórtices de tipo Kelvin-Helmholtz en un flujo alto con vegetación flexible, mediante un análisis de los esfuerzos de Reynolds e intensidades de turbulencia.

Estación experimental

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo en el canal del laboratorio de hidráulica del posgrado en ingeniería civil-hidráulica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), campus Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), ubicado en Jiutepec, Morelos, México. La estación experimental cuenta con las siguientes componentes: canal de recirculación de pendiente variable de sección rectangular, de 5 m de longitud, 0.245 m de ancho y 0.50 m de alto, con paredes de vidrio y fondo de acero, un tanque de llegada, una válvula de regulación de gasto, tubería de recirculación de 4" de diámetro de PVC, un tanque de recirculación, un aforador triangular con un ángulo de 90° instalado en el tanque de recirculación para la medición del gasto (está instalado según lo indicado en el apartado 10 de la norma ISO 1438:2008 (2008)), para la medición de la carga sobre el vertedor se tiene instalado un limnómetro de punta, una bomba centrífuga de 10 Hp y un gato mecánico que permite la variación de la pendiente del canal. El acondicionamiento de la estación experimental consistió en la colocación de una compuerta de 10 cm de alto, con el objetivo de aumentar el nivel del flujo durante la elaboración de pruebas.

El equipo utilizado para la toma de muestras se utilizó un equipo de velocimetría acústica de efecto Doppler (ADV, Acoustic Doppler Velocimeter sus siglas en ingles). Este dispositivo ADV es de la marca Nortek® o también llamado Vectrino Profiler™ (Vectrino II). El ADV tiene una tasa de muestreo de 1 – 100 Hz, y un volumen de muestreo de hasta 30 mm con un rango de tamaño de celda de 1 – 4 mm.

Pruebas experimentales

La prueba experimental consistió en la colocación de una alfombra de pasto sintético flexible 100 % polietileno, con una altura de 1.50 cm, como se muestra en la Figura 2. El número de racimos por unidad de área, es decir, la densidad es $\delta_R = 22\ 222/m^2$, y el número de tallos por racimo es 12, entonces la densidad de tallos es de $\delta_T = 266\ 664/m^2$.



Figura 2.- Fondo de pasto sintético flexible en el canal de pendiente variable. Altura de racimo de pasto.

Las mediciones realizadas fueron en tres secciones diferentes con una separación de 2.50 cm una respecto a otra, donde la sección 3 se encuentra a 167.50 cm aguas arriba de la descarga, véase Figura 3, con las siguientes características hidráulicas considerando un flujo normalizado: tirante $h = 0.20$ m, gasto $Q = 17.94$ l/s, velocidad media en el sentido principal $\bar{U}_1 = 0.366$ m/s, pendiente de plantilla $S = 0.0002$.

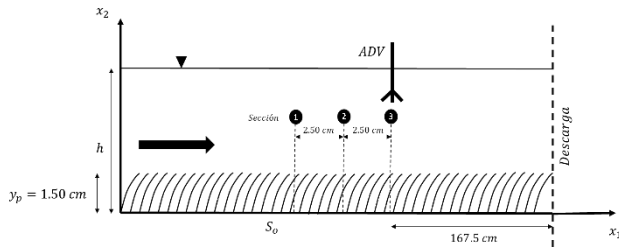


Figura 3.- Secciones de muestreo.

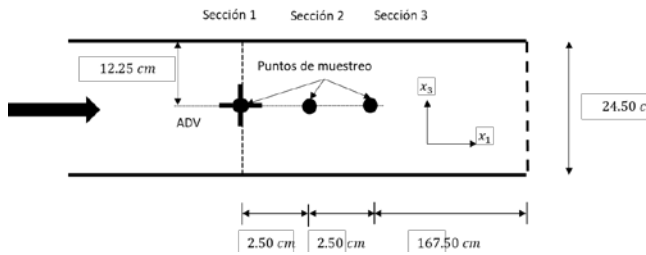


Figura 4.- Secciones de muestreo (vista en planta).

Para la toma de muestras con el equipo ADV, se consideró un perfil de 15 mm cerca de la copa de la vegetación flexible, tal como se muestra en la Figura 5, a una frecuencia de 100 Hz y una duración 40 segundos.

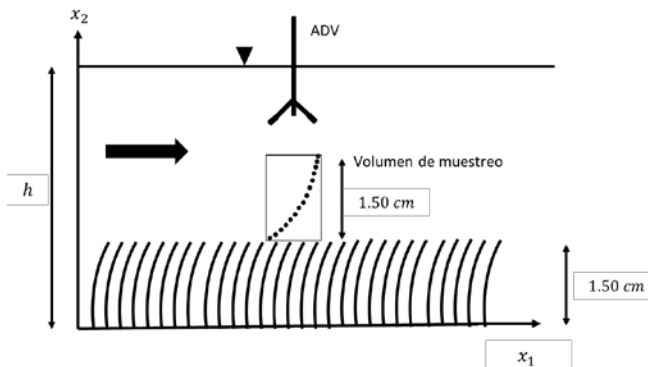


Figura 5.- Esquema de la celda de muestreo sobre la vegetación flexible.

Resultados

La secuencia experimental de los puntos de medición de la velocidad y por encima de vegetación se muestra en la en la Tabla 1, con claves específicas para cada muestreo en la secciones indicadas en las Figura 3 y Figura 4.

Tabla 1.- Claves de las pruebas experimentales con fondo vegetativo.

Clave	Sección de análisis	Distancia aguas arriba de la descarga (cm)
PFV_1	1	172.50
PFV_2	2	170
PFV_3	3	167.50

En la Figura 6 se muestran los resultados de las mediciones en el canal experimental según la secuencia experimental.

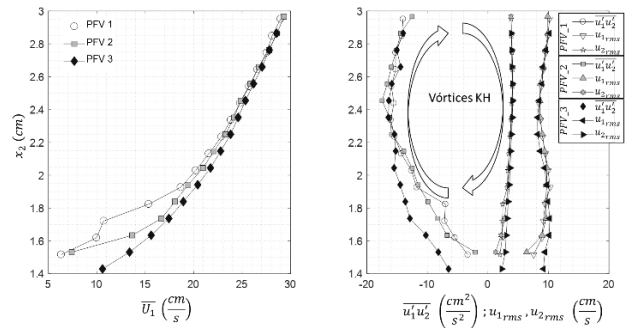


Figura 6.- Resultados de las mediciones en las secciones de muestreo PFV_1, PFV_2 y PFV_3. En la figura de la izquierda se muestra el perfil respecto a la velocidad de \bar{U}_1 (cm/s); en la figura de la derecha la distribución de los esfuerzos de Reynolds en el sentido vertical $u_1'u_2'$, las

intensidades de turbulencia $u_{1rms} = \sqrt{u_1'^2}$ y $u_{2rms} = \sqrt{u_2'^2}$ en el sentido principal y vertical respectivamente, y la ubicación del vórtice de tipo KH, así como su magnitud (≈ 1.5 cm).

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos se visualizó la presencia de los vórtices de tipo Kelvin-Helmholtz, en la zona ubicada aproximadamente a 1.0 cm por encima de la copa de la vegetación flexible, en donde se presentan los valores máximos de los esfuerzos de Reynolds $u_1'u_2'$, y se observa la presencia de un vórtice de 1.50 cm. La técnica aplicada en este experimento con el equipo ADV permite identificar la presencia de estructuras turbulentas por encima de la vegetación.

Referencias bibliográficas

- 1438:2008, I. (2008). *Hydrometry-Open Channel Flow Measurement using Thin Plate Weirs*.
- Carollo, F., Ferro, V., & Termini, D. (2002). Flow Velocity Measurements in Vegetated Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 664-673.
- Finnigan, J. (2000). Turbulence in Plant Canopies. *Annual Reviews Fluid Mechanics*, 519-571.
- Ghisalbert, M., & Nepf, H. (2006). The Structure of the Shear Layer in Flows Over Rigid and Flexible Canopies. *Environmental Fluid Mechanics*, 277-301.
- Jeon, H.-S. (2015). *Flow and Sediment-POM Transport in Stream with Vegetation*. Japan: Nagoya University.
- Nepf, H., & Ghisalberti, M. (2008). Flow and Transport in Channels with Submerged Vegetation. *Polish Academy of Sciences*, 753-777. doi:10.2478/s11600-008-0017-y
- Palmer, V. (1945). A Method for Designing Vegetated Waterways. *Agricultural Engineering*, 516-520.