

## EFFECTOS PERIÓDICOS DE REMANSO EN CONFLUENCIAS

Horacio Herrero, Carlos Marcelo García, Leticia Tarrab, Matías Ragessi y Andrés Rodríguez

Laboratorio de Hidráulica – Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba  
Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria. Córdoba. Tel: (0351) 433-4446 - E-mail: hsherrero@yahoo.com.ar

### Introducción

La dinámica del flujo en confluencias fluviales ha recibido un considerable interés científico mediante la realización de estudios experimentales de laboratorio y campo, y simulaciones numéricas. Existe evidencia en la literatura de que la zona hidrodinámica de la confluencia (ZHC), la cual incluye las zonas de estancamiento y la interfase de mezcla, presenta un complejo conjunto de procesos turbulentos, como por ejemplo separación lateral y movimiento helicoidal del flujo, separación vertical de flujo causada por las variaciones espaciales en la morfología del fondo, y estructuras turbulentas generadas por esfuerzos de corte lateral entre los flujos convergentes (Rhoads y Sukhodolov, 2001). Sin embargo, no existen antecedentes sobre estudios que exploren los efectos de remanso que tienen estos procesos, en la región del flujo localizada inmediatamente aguas arriba de la confluencia. En este trabajo se exploran experimentalmente los efectos de remanso, en los flujos convergentes, de los procesos turbulentos presentes en la zona hidrodinámica de la confluencia. Para ello se utilizó una instalación experimental de laboratorio que reproduce la región de la confluencia de dos flujos que no presentan diferencia de densidades. Durante el ensayo experimental se utilizaron modernas técnicas de medición de velocidades de flujo y visualización.

### Materiales y Métodos

Los experimentos se realizaron en una instalación experimental (Figura 1) construida en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina (Bonisconti, 2008). El canal de la izquierda (Canal 1) tiene 48 cm. de ancho y para la condición experimental reportada en este trabajo, el caudal que fluye en este canal fue de 3.8 l/seg con una profundidad de 9.8 cm., mientras que el canal de la derecha (Canal 2) tiene 80 cm. de ancho, con un caudal fue de 7.5 l/seg y una profundidad de 10.8 cm. Las técnicas experimentales que han sido empleadas con el fin de producir una completa caracterización experimental del flujo turbulento fueron: velocimetría acústica Doppler (ADV), velocimetría por seguimiento de partículas (PTV), y visualización del flujo utilizando trazadores. La técnica ADV ha sido utilizada para registrar series temporales de las tres componentes del vector velocidad de flujo en puntos ubicados aguas arriba y aguas debajo de la confluencia. En forma simultánea a las mediciones con ADV, la técnica PTV fue utilizada para caracterizar la evolución temporal de los campos espaciales de velocidad superficial de flujo en la zona de la confluencia. Finalmente, la visualización del flujo en esa zona ha sido realizada mediante la inyección de un trazador compuesto por fluoresceína en solución en agua. A partir de las mediciones realizadas, la caracterización experimental del flujo turbulento se realizó en base a valores medios de velocidad, parámetros de la turbulencia tales como energía cinética turbulenta (TKE), esfuerzos de Reynolds, y el análisis espectral.

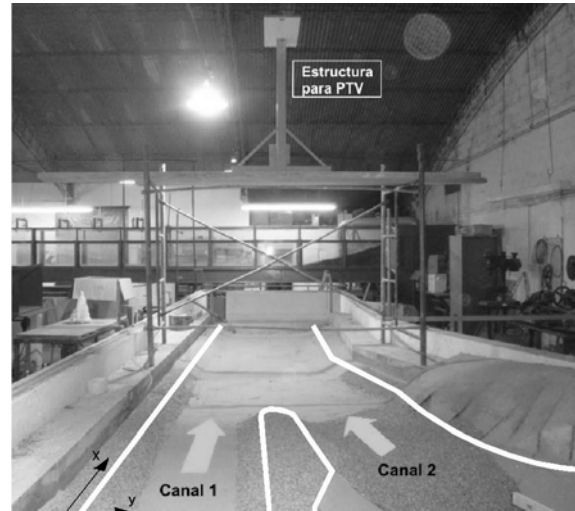


Figura 1.- Instalación experimental

### Evaluación de Resultados

En primera instancia, se observó que la zona de estancamiento presente en la confluencia (Figura 2), influye en el proceso de desprendimientos de vórtices que afecta a la interfase de mezcla en forma similar a lo que sucede en la zona de estancamiento tras un obstáculo (Rhoads y Sukhodolov, 2008).

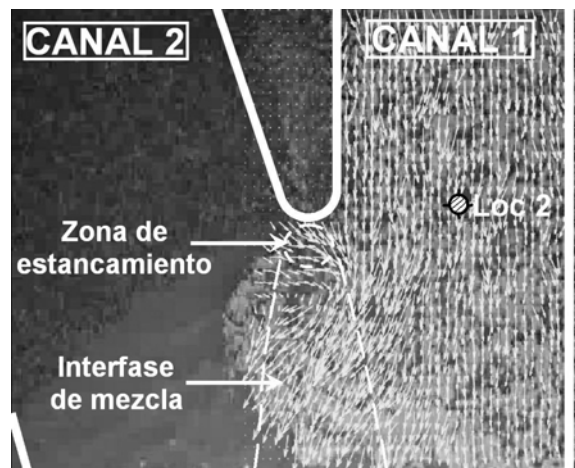
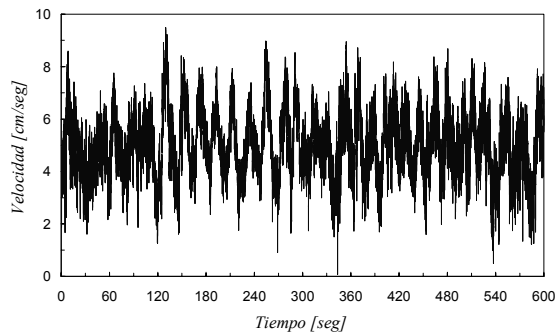


Figura 2.- Desprendimientos de vórtices en la zona de estancamiento de la confluencia.

El período de desprendimientos de vórtices generados en la zona de estancamiento es de aproximadamente 20 segundos. Este valor se obtuvo a partir del análisis digital de la secuencia de campos de velocidades superficiales de flujo obtenidos a partir de la técnica de PTV y de las visualizaciones de los procesos obtenidas con el uso de fluoresceína como trazador.

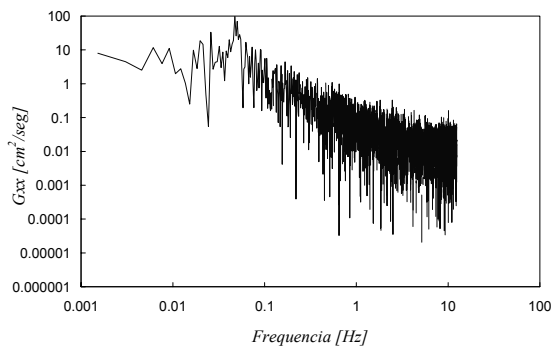
Las señales temporales de velocidad de flujo registradas con ADV, simultáneamente a las mediciones con PTV y trazadores, en un punto ubicado 1 metro aguas arriba de la confluencia en la línea central del Canal 1 (localización 1),

presentaron oscilaciones cuasi-periódicas de baja frecuencia con un periodo de aproximadamente 20 segundos (Figura 3). Esta escala de tiempo es similar a la del periodo de desprendimientos de vórtices reportado anteriormente.



**Figura 3.-** Oscilaciones cuasi-periódicas en la señal temporal de la velocidad longitudinal del flujo registrada aguas arriba de la confluencia, en el Canal 1.

La Figura 4 presenta el análisis espectral de la señal de velocidad incluida en la Figura 3. Este análisis permite cuantificar la frecuencia característica de las oscilaciones cuasi-periódicas observadas mediante un pico en el espectro de energía ( $G_{xx}$ ) para una frecuencia de aproximadamente 0.05 Hertz, lo que implica un periodo  $T_b$  de 20 segundos.

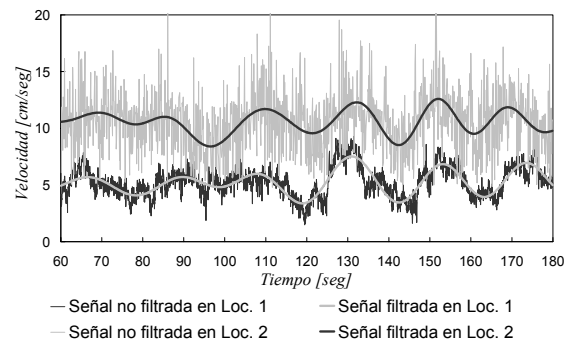


**Figura 4.-** Espectro de energía de la señal de velocidad representada en la Figura 3.

Es necesario diferenciar esta escala de tiempo  $T_b$  (representativa del proceso turbulento de baja frecuencia generado por el desprendimiento de vórtices), de la escala de tiempo  $T$  propia de la turbulencia del flujo generada por la fricción del fondo. La escala de tiempo  $T$  de la turbulencia se puede aproximar como  $T=L/U_c$ , siendo  $L$  la escala de longitud de los vórtices más grandes generados por la fricción del fondo (del orden de la profundidad del flujo) y  $U_c$  la velocidad convectiva de esos vórtices, del orden de la velocidad en la dirección principal del flujo (García et al., 2007). Para la condición experimental reportada en este trabajo, la escala de tiempo  $T$  de las estructuras turbulentas generadas por la fricción del fondo es de aproximadamente de 2 segundos.

La Figura 5 muestra los efectos de remanso, en los flujos convergentes, de los procesos turbulentos presentes en la zona hidrodinámica de la confluencia. Esta figura muestra las señales de velocidades longitudinales filtradas y sin filtrar (utilizando un filtro pasa bajo de frecuencia de corte de 0.06 Hz) registradas en forma simultánea durante un tiempo de 120 segundos en la localización 2 en la zona de la confluencia (ver Figura 2) y en la localización 1 ubicada 1 metro aguas arriba de la confluencia en la línea central del Canal 1. Los valores de velocidades registradas en la localización 2 son mayores, debido a que se trata de

velocidades superficiales (obtenidas a partir de la técnica de PTV), mientras que las velocidades del flujo (registradas con ADV) en la localización 1 se realizaron a 4 cm. del fondo del canal. Se puede observar una buena correlación en las fluctuaciones de baja frecuencia de las señales de velocidad registradas en las dos localizaciones.



**Figura 5.-** Comparación entre las señales de velocidades longitudinales filtradas y sin filtrar registradas simultáneamente en la confluencia, y aguas arriba de la misma.

## Conclusiones

Se puede concluir que el efecto cuasi-periódico de remanso observado en las señales de velocidad de flujo registradas aguas arriba de la confluencia es una consecuencia del desprendimiento de vórtices en la zona de estancamiento de la confluencia. La escala de tiempo  $T_b$  de estas oscilaciones periódicas, que se obtuvo a partir del análisis de mediciones puntuales y campos espaciales de velocidad del flujo y de imágenes digitales obtenidas de la visualización utilizando trazadores, es de aproximadamente 20 segundos, o sea un orden de magnitud mayor que la escala de tiempo de la turbulencia  $T$  generada por la fricción del fondo.

Los resultados presentados en este trabajo brindan un aporte a la comprensión de la hidrodinámica del flujo en confluencias a través de un conjunto de datos experimentales útiles para validar modelos numéricos utilizados para la caracterización de la dinámica de flujos en confluencia con diferentes condiciones geométricas. En trabajos futuros se extenderá este análisis para distintas condiciones experimentales cambiando la relación de caudales entre ambos canales.

## Referencias

- Bonisconti, G.** (2008). Construcción y operación del modelo físico de las obras de evacuación de caudales del Aprovechamiento Múltiple Presa Los Monos. Tesis de Grado de la carrera de ingeniería civil, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.
- García C, Cantero M, Jackson P y García M.** (2007). Characterization of the flow turbulence using water velocity signals recorded by acoustic doppler velocimeters. Civil Engineering Studies, Hydraulic Engineering Series N° 75.
- Rhoads, B. L. y Sukhodolov, A.** (2001). Field investigation of three-dimensional flow structure at stream confluences: 1. Thermal mixing and time-averaged velocities. Water resources research, vol. 37, no. 9, pages 2393–2410.
- Rhoads, B. L., y Sukhodolov, A.** (2008). Lateral momentum flux and the spatial evolution of flow within a confluence mixing interface, Water resources research, vol. 44, w08440, doi:10.1029/2007wr006634.