

## EVALUACIÓN NUMÉRICA DEL COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DE CONFLUENCIAS FLUVIALES PARA DISTINTAS CONFIGURACIONES GEOMÉTRICAS Y DEL FLUJO

Cecilia Pozzi Piacenza<sup>1</sup>, Horacio Herrero<sup>1,2</sup>, C. Marcelo García<sup>1,2</sup>, Paloma Furlan<sup>1</sup>, I. Matías Ragessi<sup>1</sup> y Santiago Márquez Damian<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>CETA (Centro de Estudios y Tecnologías del Agua). Laboratorio de Hidráulica. FCEFYN – UNC, Av Filloy s/n. Ciudad Universitaria, (5000) Córdoba, Argentina. E-mail: [cpozzi@efn.uncor.edu](mailto:cpozzi@efn.uncor.edu) - Web: [www.efn.uncor.edu](http://www.efn.uncor.edu)

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

<sup>3</sup>CIMEC (Centro de Investigaciones en Mecánica Computacional), UNL - CONICET, Colectora Ruta Nacional 168 / Paraje El Pozo, (3000) Santa Fe, Argentina.

### Introducción

Las confluencias fluviales han adquirido un gran interés para su estudio por parte de la comunidad científica, ya que los procesos hidrodinámicos que ocurren en la zona de unión de dos tributarios tienen influencia en diferentes aspectos tales como morfológicos, dando origen a zonas de erosión y sedimentación, como así también aspectos referidos a patrones de mezcla de los flujos provenientes de los tributarios. Las variables que gobiernan estos procesos se pueden clasificar en variables geométricas, del flujo y del fluido. La complejidad de la caracterización del flujo en confluencias ha llevado a que su análisis requiera el uso de analogías con casos estudiados con mayor detalle en la mecánica de los fluidos, como el caso del flujo aguas abajo de un obstáculo sugerido por Rhoads y Sukhodolov (2008) a partir de observaciones en una pequeña confluencia fluvial. Sin embargo es necesario extender el estudio a diferentes condiciones geométricas y del flujo, de forma tal de evaluar la conveniencia del uso de esta analogía en esas condiciones (Chang et al, 2011). En este trabajo se presenta un análisis de sensibilidad, realizado con simulaciones numéricas, del comportamiento de la hidrodinámica del flujo combinando distintas alternativas de variables geométricas y del flujo. Para ello se ha implementado un modelo numérico perteneciente al código libre y abierto OpenFOAM(R) (Open Field Operation and Manipulation).

### Objetivos

En este trabajo se evalúa, mediante el uso de modelos numéricos validados con datos experimentales, la sensibilidad de la hidrodinámica del flujo en confluencias para diferentes condiciones geométricas y del flujo y el alcance de la validez de la analogía con el flujo generado en aguas abajo de un obstáculo (estelas turbulentas).

### Materiales y Métodos

La metodología utilizada se basó primeramente en reproducir a través de una modelación matemática en volúmenes finitos los resultados experimentales obtenidos en una instalación de laboratorio. Una vez calibrado y validado el modelo matemático con esos datos experimentales se analizó el cambio en la configuración geométrica (diámetro de la nariz de la confluencia) y del flujo (relaciones de cantidad de movimiento). En la simulación se ha utilizado el código *PisoFoam* perteneciente al código libre y abierto OpenFOAM(R) que resuelve las ecuaciones completas de Navier Stokes y Continuidad para flujo incompresible, sin modelo de cierre de turbulencia,

con discretizaciones en espacio y tiempo pequeñas de manera de simular los procesos físicos presentes (por ejemplo, desprendimiento de vórtices).

En la Figura 1 se observa la malla de cálculo utilizada para una de las configuraciones geométricas utilizadas.

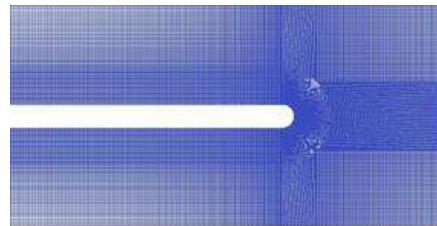


Figura 1.- Malla de volúmenes finitos utilizada para una configuración simulada

Los datos experimentales fueron medidos en un canal horizontal de sección rectangular de 1.5m de ancho (Herrero et al, 2013). La Figura 2 muestra la instalación experimental de la confluencia con un diámetro de nariz de 0.16m. Las mediciones de velocidad fueron realizadas con dos modernas técnicas: velocímetro acústico Doppler (ADV) y perfilador ultrasónico de velocidad (UVP).



Figura 2.- Instalación experimental

Las Figuras 3 y 4 muestran la visualización de la estructura del flujo para un caudal de 80 l/s (40 l/s en cada tributario con un tirante de 0.26m y velocidades medias de aproximación de 0.23m/s) y el campo de velocidad media aguas abajo de la confluencia registrado con UVP en un plano horizontal a 14 cm del fondo.



Figura 3.- Visualización de las estructuras del flujo para un caudal 40 l/s en cada tributario

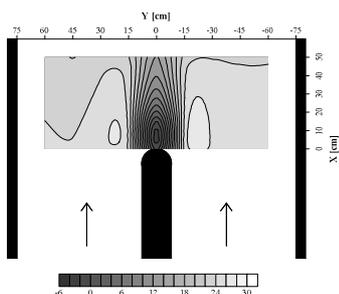


Figura 4.- Campo de velocidad media longitudinal registrado con UVP aguas abajo de la confluencia en un plano horizontal a 14 cm del fondo. Caudal de 40 l/s en cada tributario

**Análisis de Resultados**

En la Figura 5 se muestran los resultados de la simulación numérica realizada para un caudal total de 80 l/s (40 l/s en cada tributario). Se observa que la simulación realizada reproduce los principales procesos físicos observados durante los experimentos (Ver también Figura 3).

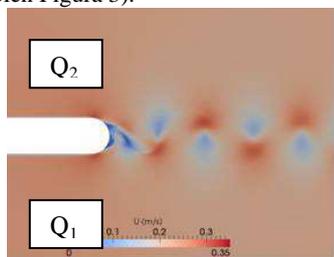


Figura 5.- Campo instantáneo de velocidades de flujo. Caudales de 40 l/s en cada tributario,  $Q_1 = Q_2$ .

Con el fin de evaluar la evolución temporal del flujo aguas abajo de la confluencia se realizó un análisis espectral de la series temporales de velocidad de flujo (longitudinal -  $x$  y transversal -  $y$ ) medidas y simuladas para diversos puntos del dominio y se determinó la frecuencia característica de las fluctuaciones del flujo (frecuencia en la cual se encuentra el pico de energía) y con ella el número de Strouhal en cada localización. En la Tabla 1 se muestran los resultados para un caudal de 80 l/s (40 l/s en cada tributario,  $Q_1 = Q_2$ ), lo que corresponde a una relación de cantidad de movimiento de 1. La ubicación de los puntos en los que se extrajeron series de velocidad se muestran en la Figura 6.

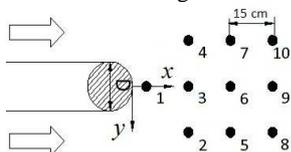


Figura 6.- Ubicación de los puntos de medición. Distancias en [cm]

Tabla 1.- Frecuencias características de las fluctuaciones del flujo y Número de Strouhal (St) en cada localización para la dirección longitudinal (x) y transversal (y). Resultados experimentales y numéricos.  $Q_1 = Q_2 = 40l/s$ .

Loc.	Resultados experimentales				Simulaciones numéricas			
	Frec Pico x [Hz]	Frec Pico y [Hz]	St x	St y	Frec Pico x [Hz]	Frec Pico y [Hz]	St x	St y
1		0.28		0.20		0.47		0.33

2	0.27	0.27	0.19	0.19	0.47	0.47	0.33	0.33
3		0.26		0.18		0.47		0.33
5	0.30	0.32	0.21	0.22	0.47	0.47	0.33	0.33
6		0.33		0.23		0.47		0.33
8	0.31	0.31	0.22	0.22	0.47	0.47	0.33	0.33
9		0.26		0.18		0.47		0.33

En las Figuras 7 a 9 se muestran campos instantáneos de velocidades de flujo simulados para distintas configuraciones del flujo (diferentes relaciones de caudales de los tributarios).

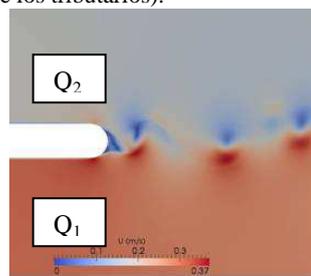


Figura 7.- Campo instantáneo de velocidades de flujo. Diámetro de la nariz = 0.16m. Caudales de tributarios,  $Q_1 = 50l/s$ ;  $Q_2 = 30l/s$

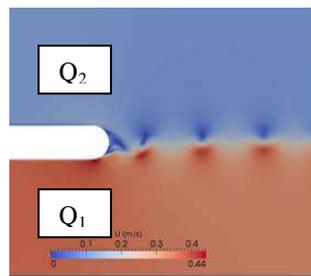


Figura 8.- Campo instantáneo de velocidades de flujo. Diámetro de la nariz = 0.16m. Caudales de tributarios,  $Q_1 = 60l/s$ ;  $Q_2 = 20l/s$

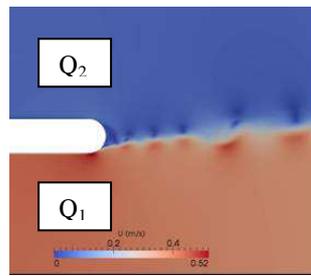


Figura 9.- Campo instantáneo de velocidades de flujo. Diámetro de la nariz = 0.16m. Caudales de tributarios,  $Q_1 = 70l/s$ ;  $Q_2 = 10l/s$

En los campos de velocidad simulados se observa que a medida que la relación de caudales aumenta la posición de la capa de corte cambia (se inclina hacia el tributario con menor caudal) como así también disminuyen las escalas (dimensiones) de las estructuras turbulentas.

**Conclusiones**

El modelo numérico implementado reproduce los principales procesos físicos observados durante los experimentos, logrando representar adecuadamente la formación de vórtices y la capa de corte. El análisis espectral de la series temporales de velocidades de flujo medidas y simuladas muestra valores de frecuencias características del orden a los esperados en

el flujo aguas abajo de un obstáculo aunque los valores del número de Sthouhal simulados son superiores a los experimentales. Simulaciones realizadas para distintas condiciones de flujo muestra que a medida que la relación de caudales aumenta la posición de la capa de corte cambia como así también las escalas (dimensiones) de las estructuras turbulentas.

### Referencias

**Chang, W. Y., G. Constantinescu, W. F. Tsai, and H. C. Lien (2011)**, Coherent structure dynamics and sediment erosion mechanisms around an in-stream rectangular cylinder at low and moderate angles of attack. *Water Resour. Res.*, 47. W12532, doi: 10.1029/2011WR010586.

**Herrero, H., García C, López G, Pedocchi F.** (2013). Evaluación experimental de una analogía para la caracterización del flujo turbulento en confluencias. III Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica, Santa Fe, Argentina.

**OpenFoam Team** (2007): “User Guide”. OpenFoam Foundation. <http://www.opencfd.co.uk/openfoam/>

**Rhoads, B. L. y Sukhodolov, A. N.** (2008). Lateral momentum flux and the spatial evolution of flow within a confluence mixing interface, *Water Resour. Res.* 44 , W08440, doi:10.1029/2007WR006634.