

INESTABILIDADES DE AGUAS SOMERAS EN CONFLUENCIAS FLUVIALES

Herrero H.¹, Szupiany R.², García C. M.¹, Blettler M.³, Espinola L.³ y Amsler M.³

¹Laboratorio de Hidráulica. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad de Córdoba

²Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral

³Instituto Nacional de Limnología, CONICET-UNL

E-mail: hsherrero@yahoo.com.ar

Introducción

Las confluencias de ríos aluviales han sido estudiadas en analogía a distintos procesos turbulentos muy conocidos en mecánica de los fluidos: la forma más tradicional ha sido con una capa de corte somera y lo menos habitual ha sido con una estela somera detrás de un obstáculo. El primer caso estudia la interfase de mezcla de la confluencia en forma análoga a capas de mezcla someras que se desarrollan entre dos flujos paralelos aguas abajo de una placa divisora, en la cual la transferencia lateral de momento es despreciable. Según la segunda analogía, la convergencia de dos flujos en una confluencia provoca una sustancial transferencia lateral de cantidad de movimiento, y la geometría de la confluencia, induce a la analogía de una estela somera. Esta última se origina a partir de un déficit de velocidad provocado por la presencia de un obstáculo de dimensión D en la trayectoria del flujo.

Los procesos turbulentos que se desarrollan detrás de un obstáculo dependen de un parámetro que tiene en cuenta, además de las características del obstáculo, la fricción que origina la turbulencia. En este sentido, Ingram y Chu (1987) definieron un parámetro de estabilidad de la estela S :

$$S = c_f \frac{D}{H} \quad [1]$$

donde c_f es un coeficiente que tiene en cuenta el efecto de la fricción del fondo y H la profundidad del flujo.

Dentro del caso de estructuras 2D, dependiendo del valor del coeficiente de estabilidad S , se identifican distintas clases de comportamiento de dichas estructuras. Un valor de $S < 0.2$ corresponde a una estructura turbulenta con un mecanismo de desarrollo y desprendimiento de vórtices denominado "calle de vórtices" (CV). Esta se asemeja a estructuras turbulentas de Von Karman. Si $0.2 < S < 0.5$ estamos en presencia de lo que se denomina "burbuja inestable" (BI) que es el caso de una estela con recirculaciones adjuntas al obstáculo que se vuelven inestables aguas abajo, provocando oscilaciones pero sin desprendimientos, debido a que es mayor el efecto amortiguador de la fricción del fondo que la producción de energía cinética turbulenta. Por último si $S > 0.5$ la estela no presenta oscilaciones ya que el efecto de la fricción del fondo es muy predominante y evita la presencia de inestabilidades de gran escala como en los casos anteriores. Este caso de estabilidad se conoce como "burbuja estable" (BE). En lo que se refiere a confluencias fluviales, Rhoads y Sukhodolov (2008) analizaron en detalle la evolución espacial de la estructura del flujo en la zona de estancamiento y en la interfase de mezcla, haciendo hincapié en la influencia de los términos correspondientes al momento lateral del flujo (no tenidos en cuenta para la analogía de flujos paralelos), pero no se informaron resultados acerca de los efectos que se producen aguas arriba de la confluencia.

Herrero et. al, (2010) caracterizaron experimentalmente la presencia de inestabilidades de aguas someras en

confluencias de dos corrientes en una instalación experimental de laboratorio que reproduce la región de la confluencia de dos flujos. Además los autores mencionados exploraron los efectos que tienen estos procesos en la región del flujo localizada inmediatamente aguas arriba de la confluencia.

Objetivos

El objetivo del presente trabajo es determinar, a partir de mediciones de velocidad del flujo in situ, la existencia de inestabilidades de aguas someras en una confluencia de cauces naturales, determinando su evolución espacial y temporal, y los efectos que estos procesos producen en la zona aguas arriba de la confluencia.

Materiales y Métodos

La localización de la zona de estudio se encuentra en el Arroyo Catarata en la llanura aluvial del río Paraná al sur de la ciudad de Santa Fe.

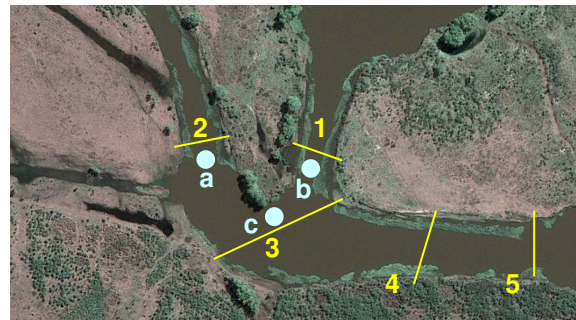


Figura 1.- Localización de la zona de estudio

Se midieron velocidades del flujo en sus tres dimensiones y se relevó la morfología del fondo con un perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP) Teledyne RDI® de 1200 kHz acoplado con un sistema de posicionamiento global en forma diferencial (DGPS), instalados sobre una embarcación adaptada para tales fines.

La estimación de caudales y las mediciones de velocidad fueron realizadas con la embarcación en movimiento realizando 4 cruces en las 5 secciones transversales relevadas (secciones 1 y 2 aguas arriba y secciones 3, 4 y 5 aguas abajo de la confluencia). Para la determinación de escalas temporales de los procesos turbulentos presentes en el flujo, las mediciones de velocidad se realizaron de manera estática en tres sitios: *a* y *b* aguas arriba y *c* en la zona de estancamiento). El presente trabajo incluye mediciones tales como las descritas anteriormente para tres condiciones experimentales.

Evaluación y Resultados

La Tabla 1 muestra las condiciones experimentales existentes durante las actividades de campo analizadas en este trabajo:

Tabla 1.- Condiciones experimentales

Sección	Caudal [m ³ /seg]	Velocidad media en la sección [m/s]	Momento $M = Q \cdot V$
1	30.9	0.16	4.8
2	33.2	0.09	3.0

La relación de momentos (M_r) de los flujos convergentes para esta condición experimental es de 1.6.

Las Figuras 2 y 3 muestran el perfil del fondo y campos de velocidades de los canales convergentes a la confluencia.

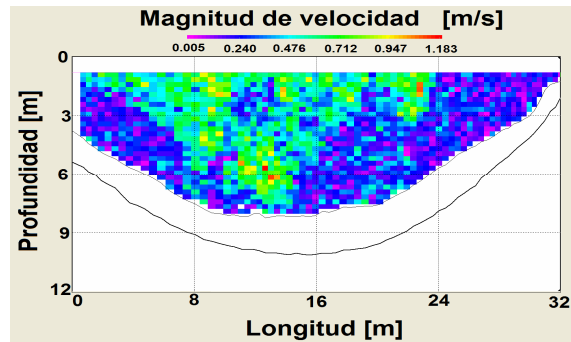


Figura 2.- Perfil de fondo y campo de velocidad en a la sección 1.

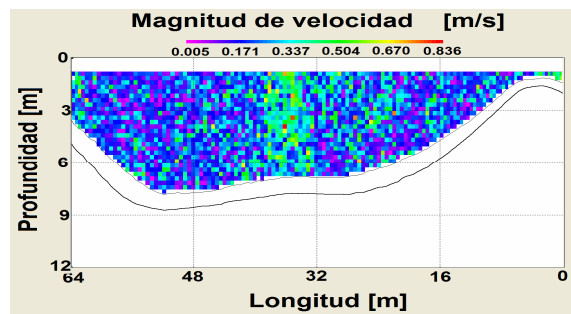


Figura 3.- Perfil de fondo y campo de velocidad en a sección 2.

La Figura 4 muestra las series de tiempo de las magnitudes de la velocidad media del flujo en la vertical en la zona de estancamiento y aguas arriba de la confluencia (localizaciones *c* y *b* respectivamente). Las series de tiempo mencionadas, que no se realizaron simultáneamente, presentan importantes fluctuaciones de velocidad que oscilan entre 0.05 m/seg (muy cercano al reposo) y 0.35 m/seg con una periodicidad de aproximadamente 2 minutos.

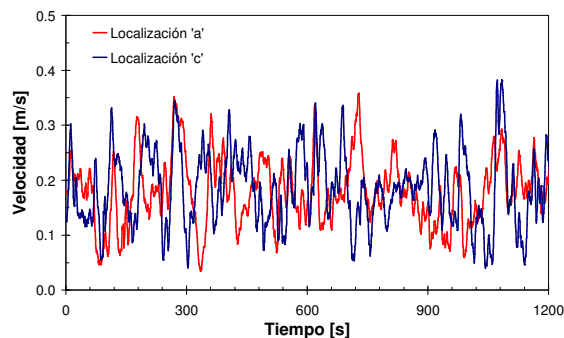


Figura 4.- Series temporales de la magnitud de la velocidad media en la vertical en las localizaciones *a* y *c*

Las funciones de autocorrelación de las señales registradas en ambas localizaciones incluidas en la Figura 5 evidencia el comportamiento periódico de las señales, lo cual fue confirmado con el análisis del espectro de energía (no

incluido en este resumen) y que se visualiza mediante un pico en el espectro para una frecuencia igual a la inversa del período dominante.

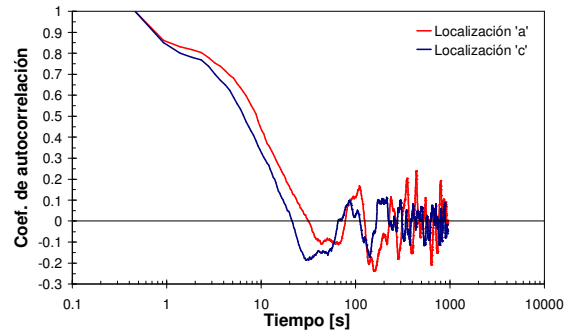


Figura 5.- Funciones de autocorrelación de la magnitud de la velocidad media en la vertical las localizaciones *a* y *c*

La periodicidad de los valores de velocidad del flujo en la zona de estancamiento da evidencia de la presencia de inestabilidades turbulentas en esa región, y la similitud en el comportamiento de las funciones de autocorrelación en las dos localizaciones refuerza la hipótesis de la existencia de un efecto hacia aguas arriba (flujo subcrítico) mediante el cual las estructuras turbulentas generadas en la zona de estancamiento producen variaciones de velocidad hacia la región aguas arriba.

Conclusiones

En el presente trabajo se presentó una caracterización experimental de un flujo en una confluencia fluvial, en la que se verificó, a partir de mediciones de velocidad del flujo y posterior análisis de los datos mediante espectros de energía y función de autocorrelación, la existencia de inestabilidades turbulentas presentes la zona de interfase de mezcla.

La evolución temporal muestra que existe una periodicidad en los valores de velocidad del flujo de aproximadamente 2 minutos.

Además se evaluaron los efectos de remanso aguas arriba de la confluencia, observándose nuevamente una periodicidad similar en la serie temporal de velocidad del flujo.

Referencias

Chen D. y Jirka G. (1995) “Experimetal study of plane turbulent wakes in a shallow watew layer”, *Fluid Dynamics Research*, 16, 11-41.

Herrero H., García C. M., Niño Y. y Gizzi L. (2010). “Inestabilidades de aguas someras en confluencias” *XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*.

Ingram R. y Chu V. (1987): “Flow around islands in Rupert Bay: An investigation of the bottom friction effect”, *Journal of Geophysical Research*, 92(C13), 14521-14553.

Rhoads B. 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.