

# SIMULACIÓN DE PROCESOS HIDRODINÁMICOS EN UNA CURVA ABRUPTA DE LABORATORIO MEDIANTE LOS MODELOS RANS Y LES

Luis Olmos<sup>1</sup>, Matías Ragessi<sup>2</sup>, Leticia Tarrab<sup>2</sup>, Cecilia Pozzi Piacenza<sup>2</sup> y Carlos M. García<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IRHi-UNSE  
<sup>2</sup>LH-CETA-UNC

E-mail: lolmos@unse.edu.ar, matiasragessi@gmail.com, cepozzi@hotmail.com, ltarrab@gmail.com, cgarcia2mjc@gmail.com

## Introducción y objetivo

El flujo en una curva abrupta,  $R/B < 3$ , ya sea en ríos naturales como en canales de laboratorio es netamente tridimensional y genera procesos hidrodinámicos típicos, que se dan también en otras configuraciones como bifurcaciones o convergencia, y cerca de estructuras hidráulicas tales como pilas y estribos de puentes (Blanckaert, 2013). La separación de flujo y el flujo helicoidal son los fenómenos del flujo más importantes se presentan y tienen un efecto morfológico importante. Estos fenómenos son influenciados por la inclinación de la superficie del agua transversal, la cual a su vez está condicionada por la profundidad y la rugosidad del flujo. Los efectos asociados a la separación del flujo son la recirculación del flujo, la contracción del flujo principal, una capa de corte, la vorticidad inducida por la capa de corte, la interacción entre los fenómenos hidráulicos y la interacción de separación-sedimento. (Ardesch, 2014)

Estos procesos presentan un comportamiento cuasi periódico, observándose en las señales de velocidad del flujo oscilaciones de baja frecuencia con escalas de tiempo dos órdenes de magnitud mayor que la escala de tiempo de la turbulencia generada por la fricción del fondo. La extensión de las zonas de recirculación del flujo depende directamente de la relación  $B/R$  (ancho/radio de curvatura) y del número de Froude, aumentando al incrementarse la curvatura y disminuyendo a menores números de Froude (Leeder y Bridges, 1975).

Dentro de este contexto lo que se pretende en base a los resultados experimentales de una curva en un canal de laboratorio, es realizar la simulación numérica tridimensional mediante los modelos RANS y LES de manera de comparar dichos resultados y establecer que procesos hidrodinámicos son observables en cada uno de ellos.

## Modelo Experimental

El sistema modelado numéricamente corresponde a un tramo de canal curvo con fondo fijo (Figura 1) en el cual se realizaron mediciones experimentales diversas del flujo (Tarrab, 2008).

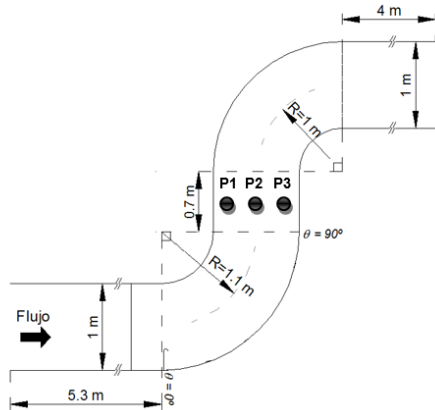


Figura 1.- Vista en planta de la geometría del canal.

Si bien se disponen de datos para 2 relaciones de aspecto  $B/H$ : 29 y 10, durante los experimentos en el último de ellos se observaron fluctuaciones de baja frecuencia lo que no pudo ser representado mediante las simulaciones RANS según los resultados obtenidos en Olmos et al. (2017). En consecuencia en este trabajo, además de la simulación RANS, se presentan los

resultados de un Modelo LES sobre el mismo mallaado y utilizando como condiciones iniciales y de borde las obtenidas para el último paso de cálculo del RANS, con el objeto de captar dichas fluctuaciones y ver que fenómenos se simulan de manera más precisa.

Las condiciones hidráulicas del experimento son: caudal= 13,9 l/s, altura del nivel de agua  $H= 0,097$  m, velocidad  $V= 0,14$  m/s,  $B/H= 10$ ,  $Re= 13871$  y  $Fr= 0,1$ . En cuanto a su curvatura es abrupta con un valor de 1,1. Las mediciones de velocidades superficiales del flujo se realizaron mediante la técnica PTV (Particle Tracking Velocimeter) en la primera curva. Los resultados del promedio temporal de las velocidades superficiales en la primera curva se presenta en la Figura 2.

## Modelación numérica del flujo en el canal

Las modelaciones numéricas del caso de estudio se validaron con los resultados cuantitativos y cualitativos experimentales disponibles en algunos de los procesos hidrodinámicos debido a los valores medidos superficiales y el resto se analiza en virtud de antecedentes disponibles en la literatura.

El código computacional utilizado para resolver numéricamente las ecuaciones de Navier Stokes pertenece al paquete libre y abierto OpenFOAM®.

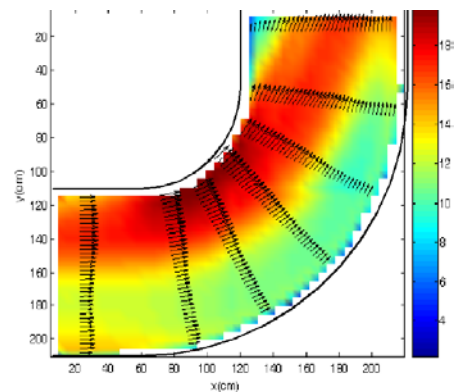


Figura 2.- Contorno y vectores de dirección de las velocidades (cm/s).

La discretización espacial del dominio se realizó mediante un mallaado estructurado. A partir de un análisis de convergencia de malla comparando el comportamiento del perfil transversal de velocidad para dos mallas de tamaño consecutivos se definió una resolución óptima para elementos de  $1,25 \times 1,25$  cm (Olmos et al, 2015). Para representar la separación y recirculación del flujo después de la primera curva, se refinó el modelo en la zona de frontera hasta obtener celdas de  $0,31 \times 0,31$  cm llegando a un  $Y^+$  de 4.

En el caso de la simulación con el modelo RANS se utiliza el solver PISO (Pressure Implicit with Splitting of Operators, pisoFoam en OpenFOAM®) que permite acoplar las ecuaciones de Navier-Stokes mediante un procedimiento iterativo, para una malla de volúmenes finitos. Éste se aplica para flujo impermanente, de una sola fase, para densidad y viscosidad constantes. En cuanto al modelo de cierre utilizado es el modelo  $k-\omega$  SST (Menter et al, 1994) cuya formulación permite utilizarlo directamente hasta la zona de la pared sin ningún tipo de funciones de amortiguamiento y tiene un mejor comportamiento que el modelo  $k-\epsilon$ . (Hellsten, 1998).

Debido a la condición de tapa rígida con deslizamiento que se asume en la superficie libre, se utilizan valores de la presión en vez de los niveles de agua.

Por otro lado la simulación el Modelo LES en lugar de promediar el tiempo, utiliza una operación de filtrado espacial para separar los remolinos más grandes y más pequeños en base a una función de filtrado y un cierto ancho de corte con el objetivo de resolver el flujo inestable de todos los remolinos con una escala de longitud mayor que el ancho de corte mediante el solver PISO. Luego se realiza el modelado de los remolinos o vórtices más pequeño utilizando un modelo SGS que resuelve las tensiones turbulentas en este caso basado en la metodología propuesta por Smagorinsky, 1963 y se capta las señales de velocidad superficial en los puntos 1,2 y 3.

## Resultados

La simulación del modelo RANS se llevó a cabo por un tiempo de 240 segundos. Esta simulación se estabilizaba en el orden de los 110 seg. Luego los resultados de esta simulación se usaron como condiciones iniciales para el modelo LES que se simuló por 300 segundos para observar inestabilidades o fluctuaciones en el campo de velocidades en la zona de separación, tal cual se presentaban en el experimento con trazadores. En la Figura 3 se presentan el resultado de las simulaciones de los dos modelos para el tiempo de 110 en el RANS y la media temporal para el LES de manera que sean comparables.

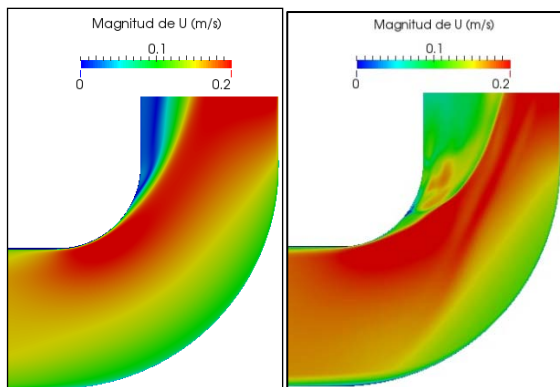


Figura 3.-Velocidad superficial en m/s. RANS (I) y LES (D).

El modelo RANS genera una zona de recirculación y separación del flujo similar a la observada en los experimentos.

En el modelo LES la capa de corte se visualiza pero la misma presenta una mayor difusión y menor definición por rango de velocidades en el sentido transversal y longitudinal del flujo. La causa posible de este comportamiento podría ser la presencia de combinaciones de distintas configuraciones de mallas con diferentes tamaños de celdas al aproximarse a la primera curva ya que se observan perturbaciones en los valores de las variables en las uniones de las mismas que se propagan hacia aguas abajo. Un análisis cuantitativo de los resultados de la simulación con el modelo RANS, muestra velocidades máximas cercanas a los 23 cm/s un poco mayores a los 20 cm/s observados en el canal experimental, mientras que en el modelo LES los valores son aún un poco más grande, del orden de los 35 cm/s, debido a que trabaja con la media de las velocidades instantáneas que son calculadas por este tipo de modelo numérico. El escalamiento según los resultados experimentales impide ver dichos valores.

El análisis de los resultados de las cinco secciones transversales a lo largo de la primera curva, indica que el modelo LES sobrestima los valores de la velocidad transversal superficial con respecto a los datos experimentales y el RANS subestima los mismos, siendo este último más adecuado.

En la simulación llevada a cabo con el esquema de RANS no se pudo visualizar las inestabilidades en el espectro de velocidades debido a que trabaja con el flujo medio.

Por otro lado en el modelo LES, se registraron señales de velocidad superficial en los puntos 1,2 y 3 (Figura 1) durante 240 segundos a los fines de analizar el espectro de energía de las velocidades transversales y compararlas con resultados de las mediciones en laboratorio. En la Figura 4 se muestra la comparación de los espectros de energía de la señal registrada (experimental) y simulada (numérica) para la componente transversal de velocidad de flujo en la localización 3.

Los espectros están adimensionalizados con la máxima energía ( $E_{xx}/E_{max}$ ) ya que el objetivo de esta comparación es contrastar las frecuencias características de los procesos dominantes. En esta comparación se observa que los resultados numéricos representan bien la frecuencia los procesos físicos de baja frecuencia (0,05Hz, período de 20s). El segundo proceso observado tiene frecuencias de ancho de banda entre 5 y 12 Hz.

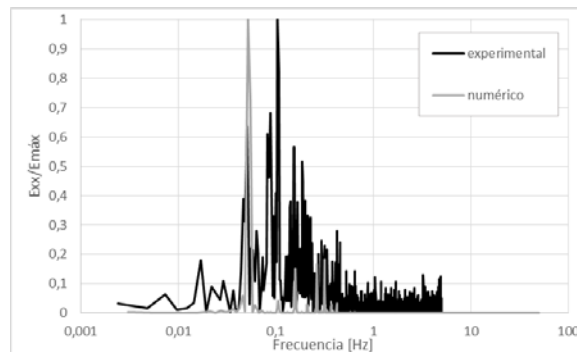


Figura 4.- Espectros de energía de la señal registrada (experimental) y simulada (numérica) para la componente transversal de velocidad de flujo en el punto 3.

## Conclusiones

Se observa que los modelos RANS y LES implementados presentan una buena aproximación cualitativa del campo de flujo superficial, representando correctamente la zona de mayor velocidad. En cuanto a las zonas de separación y recirculación el modelo RANS presenta un mejor comportamiento.

Hay una mayor similitud a lo experimental en el patrón cuantitativo de velocidades superficiales por parte del modelo RANS debido a la concepción del modelo numérico y su poca sensibilidad a los cambios en el tamaño de las mallas en diferentes zonas del canal de estudio.

El comportamiento del campo de vorticidad en Z está en correspondencia con lo que se observa y concluye para el campo de velocidades, es decir a partir del ingreso de la primera curva el comportamiento en el modelo LES no se define con claridad.

En cuanto a las velocidades transversales en las 5 secciones analizadas de la primera curva se observa un comportamiento cualitativo similar a lo experimental hasta la 2ª sección. De la 3ª a la 5ª el modelo RANS sigue asemejándose a lo experimental mientras que el modelo LES presenta discrepancias con fluctuaciones en sus valores máximos superficiales.

Con respecto a los valores cuantitativos, el modelo LES sobrestima con un error menor al modelo RANS que subestima hasta la sección 3ª. Luego en las 2 secciones restantes debido a las causas apuntadas el modelo RANS se ajusta mejor a los valores experimentales.

## Referencias bibliográficas

- Ardesch, R.** (2014). "Flow Separation in Sharp-Bend-Flow". M.Sc. thesis. Faculty of Geosciences. Universiteit Utrecht.
- Helsten, A.** (1998). "Some Improvements in Menter's k-omega-SST turbulence model". 29th AIAA Fluid Dynamics Conference, AIAA-98-2554, June 1998.
- Leeder, M. R. & Bridges, P. H.** (1975). "Flow separation in meander bends". Nature, Vol. 253, pp. 338-339.
- Menter, F. R.** (1994). "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications", AIAA Journal, vol. 32, no 8. pp. 1598-1605.