

# VALIDACIÓN DE UNA MODELACIÓN NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DEL FLUJO ALREDEDOR DE UNA PILA CILÍNDRICA CON DATOS EXPERIMENTALES

Cecilia Pozzi Piacenza<sup>1</sup>, Leandro Massó<sup>1</sup>, Matias Ragessi, I.<sup>1</sup>, Antoine Patalano<sup>1</sup>, Carlos M. García<sup>1</sup>, Damian Santiago Marquez<sup>3</sup>, Roberto Fernández<sup>2</sup>, Marcelo H. García<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA), Laboratorio de Hidráulica (LH), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup> Laboratorio Ven Te Chow, Universidad de Illinois, Urbana, Champaign, Estados Unidos.

<sup>3</sup> Centro de Investigación de Métodos Computacionales, Predio CONICET Santa Fe, Colectora Ruta Nac 168, Km 472, Paraje El Pozo, 3000 Santa Fe, Argentina  
E-mail: cecilia.pozzi.piacenza@unc.edu.ar

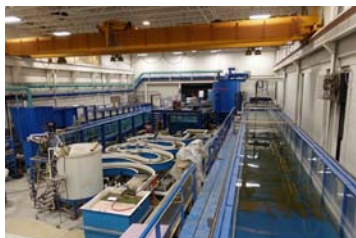
## Introducción

Uno de los flujos más estudiados y analizados en la mecánica de los fluidos es el presente en las inmediaciones de una pila, despertando históricamente el interés de los científicos. Con el advenimiento de la mecánica computacional este flujo típico de la mecánica de los fluidos se ha convertido en un elemento de testeo de las modelaciones numéricas. Al margen de representar un caso de referencia en sí mismo se está evaluando la posibilidad de utilizar la frecuencia de desprendimiento de vortices como una medición indirecta de la velocidad de aproximación del flujo, la cual se puede caracterizar a través del número de Strouhal.

En este trabajo se presenta la modelación numérica tridimensional del comportamiento hidrodinámico del flujo alrededor de una pila cilíndrica. La validación de las distintas simulaciones se realiza a través del contraste con datos experimentales la caracterización de dicho flujo en una instalación experimental de laboratorio a través de técnicas de Velocimetría por Imágenes de Partículas (marco de referencia Euleriano) y Velocimetría por Seguimiento de Partículas (marco de referencia Lagrangiano) ambas implementadas en Gran Escala (LSPIV y LSPTV)

## Instalación experimental

El experimento se realizó en el canal de agua abierto del Laboratorio Ven Te Chow, de la Universidad de Illinois, Urbana, Champaign, EEUU. El canal posee por dimensiones 1,82 m de ancho y 19 m de longitud. La condición de flujo estudiada fue con un caudal de 0,17 m<sup>3</sup>/s y un tirante de 70 cm. Se ubicó en la mitad del ancho una pila de hormigón de 45,72 cm de diámetro a 12,20 m de distancia desde la entrada de agua al canal (Figura1).

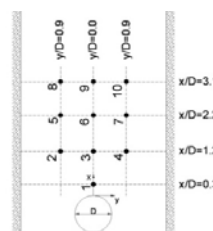


**Figura 1.-** canal de agua abierto del Laboratorio Ven Te Chow, de la Universidad de Illinois, Urbana, Champaign, EEUU.

Los videos se filmaron con una cámara de video modelo Sony Alpha 5000, con una resolución de 1920x1080. Se utilizaron como trazadores dos tipos de partículas diferentes, esferas de poliestireno expandido (Ø 10mm) y partículas de cera (Ø 5mm), las cuales fueron arrojadas en simultáneo.

La extracción de imágenes se realizó en escala de grises a través del software RIVeR v2.2 (Patalano et al., 2017), con una frecuencia de 15 imágenes por segundo. Se procesaron con la herramienta PIVlab (Thielicke y Stamhuis 2014),

determinándose los campos de velocidades superficiales en la región inmediatamente aguas abajo de la pila y el campo promedio de velocidades con las partículas de cera. Una vez obtenidos los campos de velocidades se registraron series de tiempos de las componentes longitudinales y transversales del vector velocidad en diez puntos aguas abajo del obstáculo tal como se muestra en la Figura 2. El tiempo de medición fue de 65 segundos con una frecuencia de 15Hz. Todos estos datos se extrajeron mediante el software RIVeR v2.2



**Figura 2.-** Localización de los puntos en donde se obtuvieron las series de tiempo de la velocidad.

## Modelo Numérico

En este trabajo se ha utilizado un modelo numérico computacional de simulación de las ecuaciones que describen el flujo turbulento utilizando un esquema de volúmenes finitos, desarrollado en el código libre y abierto OpenFOAM(R) (Open Field Operation and Manipulation, OpenFOAM Team, 2007). Este modelo se ha utilizado para una configuración tridimensional del dominio. La configuración corresponde a un modelo de tipo LES para flujo incompresible en una sola fase en condiciones de densidad y viscosidad constantes. Se establecieron condiciones iniciales y de borde para las variables: presión y velocidad instantánea que para este caso de hace igual al valor medio medido en el flujo de aproximación. Se estableció como valores iniciales iguales a cero las variables en todo el dominio salvo las zonas donde se definieron condiciones de borde específicas, estas son: - Condiciones a la entrada: gradiente de presión nulo y valores de velocidad media medidos experimentalmente. - Condiciones a la salida: se estableció gradiente de velocidades igual a cero. - Condiciones en paredes y fondo: gradiente de presión nulo y velocidades iguales a cero. - Condiciones en superficie libre: se impuso una superficie rígida sin esfuerzos de corte (con deslizamiento) para que no afecte el flujo interno.

De dicho modelo se extrajeron las series de tiempo del vector velocidad en los puntos indicados en la Figura 1

El dominio de cálculo, que conforma la malla de volúmenes finitos está integrado por hexaedros de tamaño variable, realizada utilizando snappyHexMesh de OpenFOAM®. El dominio de cálculo tiene 1,815 m de ancho, 6,872 m de largo y 0,70 m de alto (coordenadas x, y y z respectivamente). Se han utilizado, en planta, elementos de un tamaño mínimo de 2 mm de lado a un máximo de 2 cm. Los elementos de menores dimensiones se utilizaron en las áreas de mallado ubicadas

alrededor de la pila. Se trabajó incrementando en forma gradual el tamaño de los elementos en las zonas de menor interés del dominio. La malla cuenta con 44097312 elementos. Dada la magnitud del dominio las simulaciones se han realizado paralelizando el cálculo en los clusters Mendieta de FAMAF y Yaku del Laboratorio de Hidráulica de la FCEFYN. Una corrida de 150 seg requiere de un tiempo de 1 semana aproximadamente descomponiendo el dominio entre 64 y 80 procesadores según el caso. El paso de tiempo  $\Delta t$  de 0,01s. Un detalle de la malla de volúmenes finitos se observa en la Figura 3.

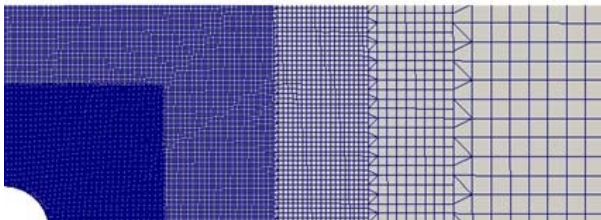


Figura 3.- Detalle malla de volúmenes finitos.

## Resultados

En la Figura 4 se muestran los valores del perfil de velocidad longitudinal media adimensional ( $U/U_m$ ) para los puntos ubicados en eje longitudinal del canal obtenidos a través del modelo numérico y también la distancia adimensional desde la pila en función del diámetro  $D$  de la pila. Se observa también el perfil obtenido por LSPIV. Se presentan en una comparación con datos experimentales obtenidos por Herrero (2014), que ha realizado las mediciones con UVP en la zona de mezcla, y datos experimentales obtenidos por Loureco y Shih (1993).

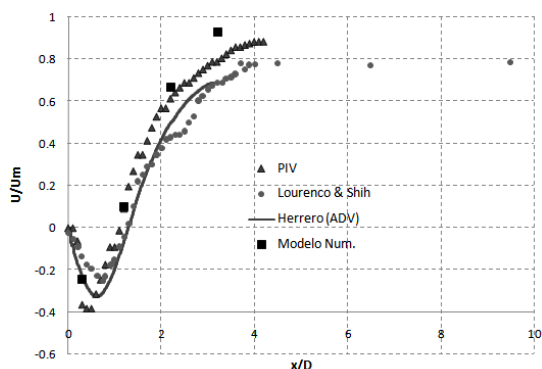


Figura 4. Evolución de la velocidad media longitudinal a lo largo de la línea central del canal.

Se observa una zona de velocidades negativas en la zona de estancamiento aguas debajo de la pila por recirculación del flujo. Esta zona se extiende aproximadamente  $1.1D$  aguas abajo del obstáculo tanto en el modelo numérico como el experimental.

La caracterización se completó con el estudio cuantitativo de la evolución temporal del flujo. Para ello se realizó un análisis espectral de las series temporales de velocidad de flujo (longitudinal-y, transversal-x) en los puntos indicados en la Figura 2, para los resultados experimentales y numéricos. Con estos resultados se calculó el número de Strouhal, obteniendo valores similares en todas las localizaciones para los resultados experimentales y numéricos (Masso et al, 2017). En la Figura 5 se muestra uno de los perfiles de velocidad instantánea adimensionalizados extraídos del modelo numérico comparado con el perfil medio adimensionalizado experimental. Se observa la diferencia entre el valor instantáneo y medio de ambos a diferencia de los que ocurría en Pozzi Piacenza et al (2016), se estima que esto puede deberse a algún efecto mayor en el flujo provocado por las paredes del canal en estas nuevas condiciones.

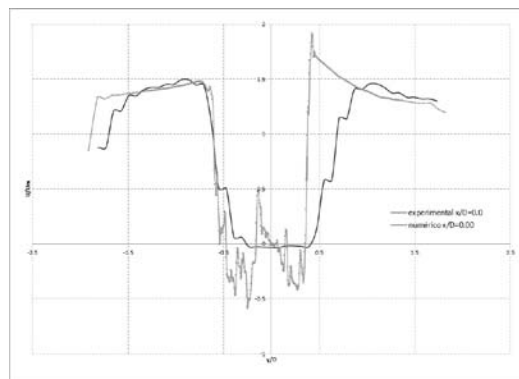


Figura 5.-. Perfiles (numérico y experimental) de velocidad transversal del flujo adimensionalizados respecto a la velocidad media.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos a través de las técnicas experimentales y numéricas en cuanto a la caracterización del campo de flujo, la zona de estancamiento y desprendimiento de vórtices arroja una gran similitud, lo que valida el modelo numérico.

En cuanto al Número de Strouhal, los valores obtenidos distan del empírico ( $St=0.2$ ) para la condición del rango subcrítico del número de Reynolds, esto se debe a las condiciones de borde impuestas por las paredes del canal ya que la relación entre el ancho del mismo y el diámetro de la pila resulta relativamente bajo. Como la modelación numérica arroja valores muy cercanos a los obtenidos experimentalmente se tiene un modelo que es representativo de la condición de flujo experimental analizada.

Se observan diferencias entre el perfil de velocidad media experimental y el perfil instantáneo más acentuadas que en otro caso de interés, se encuentra en análisis si la fuente de estas discrepancias se debe a la mayor cercanía de las paredes o a la condición de flujo analizada.

Se plantean como trabajos futuros evaluar la influencia de las condiciones de borde en los desprendimientos de vórtices realizando variaciones en la relación entre el ancho del canal modelado y el diámetro del obstáculo, y la sensibilidad del número de Strouhal frente a estas diversas condiciones..

## Referencias

- Herrero H. (2014). Evaluación espacial y temporal de la hidrodinámica en confluencias fluviales. *Tesis de Doctorado en Ingeniería, Córdoba, Argentina.*
- Patalano, A., García, C.M., Rodríguez, A., 2017. Rectification of Image Velocity Results ( RIVeR ): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry ( PIV ) and Particle Tracking Velocimetry ( PTV ) 109, 323–330. doi:10.1016/j.cageo.2017.07.009
- Masso, L, Patalano, A., Pozzi Piacenza, C, Crivello, F, Fernandez Arrieta, R, García, C.M., Herrero, H, Garcia, C. M. 2017. Caracterización experimental y numérica de la evolución del flujo turbulento que interactúa con una pila. VIII Simposio Regional sobre hidráulica de Ríos..
- Pozzi Piacenza, C., Ragessi, I.M., García, C.M., Marquez Damian, S., Herreo, H., 2016. "Validación computacional de analogías de flujo alrededor de una pila y en una confluencia fluvial". *Numerical Methods in Advanced Applications, Volume XXXIV. Number 54. 3605-3617.* <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc>
- OpenFOAM(R) Team (2007): "User Guide OpenFOAM(R), Foundation. <http://www.openfoam.com/foam/>
- Thielicke, W., Stamhuis, E.J., 2014. PIVlab – Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB. *J. Open Res. Softw. 2.* doi:10.5334/jors.bl