

# USO DE OPENFOAM EN EL PREDISEÑO DE OBRAS PARA FLUJO VERTICAL DE TIPO VÓRTICE

Andrés Tapia G., Gustavo Estay A. y Luis Zamorano R.

Instituto Nacional de Hidráulica, Chile.

E-mail: andrestapia@inh.cl, gustavoestay@inh.cl y luiszamorano@inh.cl

## Introducción

El objetivo de este trabajo es evaluar la factibilidad de utilizar modelación numérica para el prediseño de obras hidráulicas en las que la complejidad del flujo requiere un estudio mediante modelación física. Se propone una metodología híbrida en donde se utiliza la modelación numérica para tener una idea general del comportamiento del flujo y tomar decisiones preliminares del diseño de la obra. Posteriormente, en la etapa de diseño, se realiza un modelo físico para evaluar las incertezas propias del modelo numérico.

Este enfoque híbrido tiene varias ventajas. En primer lugar se ahorra tiempo y recursos al evitar o reducir la construcción de modelos físicos en la fase de prediseño. Por otro lado, en la etapa de diseño, tener un modelo numérico permite obtener información detallada del flujo que es difícil de medir experimentalmente. Vale destacar que es fundamental la elaboración del modelo físico en la etapa de diseño para validar la información entregada por el modelo numérico.

En particular se estudia el diseño de una cámara disipadora de entrada vertical mediante un flujo tipo vórtice. Este tipo de obras se utilizan usualmente para canalizar aguas lluvia urbanas y en otro tipo de industrias (Crispino, G., Dorte, D., Fuchsmann, T., Gisonni, C., Pfister, M., 2016), donde interesa disminuir la cota de escurrimiento de manera importante en una longitud reducida y además realizar una incorporación del flujo de manera controlada. El comportamiento del flujo observado en la obra representa un reto en términos de modelación numérica, debido a la alta variación vertical, elevada velocidad del flujo, incorporación de aire, y fluctuaciones en la zona de recepción del flujo. Esto hace poco confiable realizar una estimación con herramientas clásicas de análisis como los modelos de una o dos dimensiones. Debido a lo mencionado, es común que el diseño de estas obras se compruebe mediante modelación física.

Para la modelación numérica se utiliza el software OpenFOAM que permite resolver las ecuaciones de flujo tipo RANS, en tres dimensiones y régimen impermanente. De esta forma, se busca reproducir la complejidad del comportamiento del flujo.

Para validar los datos del modelo numérico que se presenta en este documento se utilizó un modelo físico a escala de una obra que se consultó revisar en el Instituto Nacional de Hidráulica en Chile. Desde el modelo a escala se obtuvieron mediciones de velocidad, altura de escurrimiento y fotos para distintas condiciones de funcionamiento.

Los resultados de la modelación numérica son prometedores, pues el modelo reproduce de buena manera la hidrodinámica del problema, tanto cuantitativa como cualitativamente. Por lo tanto, para el caso particular de estudio, la utilización de modelación numérica habría sido un muy buen complemento al diseño de la obra.

## Modelación física

El modelo físico utilizado corresponde a una obra donde se busca disminuir la cota de escurrimiento y realizar una incorporación del flujo en condiciones controladas, principalmente acotando la incorporación de aire, a la vez de tener un flujo que pueda ser nuevamente canalizado en las obras

de recepción. El caudal de diseño de la obra corresponde a 11,71 m<sup>3</sup>/s, mientras que la capacidad media de funcionamiento corresponde a la mitad del caudal de diseño, es decir 5,86 m<sup>3</sup>/s. La disminución de altura que enfrenta el flujo alcanza aproximadamente 16 m. Finalmente se debe mencionar que la escala del modelo físico corresponde a 1:12.5 respecto la escala real de las obras, en la Figura 1 se muestra una visita general del modelo físico.



Figura 1.- Modelo físico de la cámara disipadora,

La toma de datos del modelo físico incluye 11 perfiles en el eje de la obra, en los cuales se tomó la velocidad del flujo en 4 puntos de la vertical correspondientes al 20, 40, 60 y 80% de la profundidad de escurrimiento, mientras que en el vórtice de la obra se realiza la estimación de la velocidad superficial del flujo. Para la toma de velocidades se utilizó un micromolinete y en el caso del vórtice se utilizó el análisis de un trazador mediante filmación en video.

## Modelación numérica

La modelación numérica se puede dividir en tres etapas principales: generación de la malla, simulación del flujo y post proceso de resultados.

La generación de la malla se realiza mediante dos utilidades de OpenFOAM, blockMesh y snappyHexMesh. En conjunto, estas aplicaciones permiten discretizar el dominio de estudio a partir de una representación CAD del modelo físico.

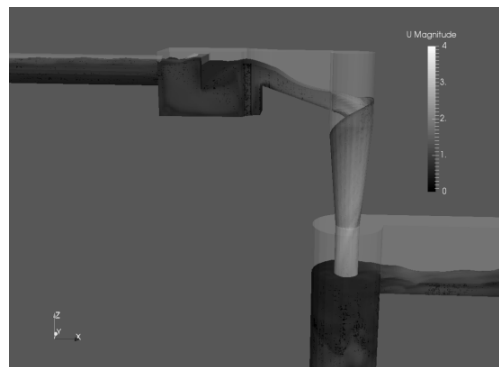


Figura 2.- Modelo numérico, visualización en Paraview, se muestra un zoom a la zona del flujo tipo vórtice.

Para la simulación del flujo se utiliza la aplicación interFoam perteneciente a OpenFOAM. Este solver permite resolver un flujo bifásico de fluidos newtonianos e incompresibles, en régimen impermanente. Las fases a resolver corresponden a agua y aire. La interfaz entre ambas fases corresponde a la superficie libre, la cual se resuelve mediante el método Volume of Fluid Method (VOF). Para modelar el flujo se utilizan ecuaciones del tipo RANS con el cierre de turbulencia  $\kappa\text{-}\omega$  SST (F. R. Menter, M. Kuntz and R. Langtry, 2003). A fin de asegurar un correcto modelado de la pared, se buscó tener valores de  $Y^+$  inferiores a 200, además de buscar modelar el escurrimiento en las zonas de baja altura de escurrimiento con al menos con 4 celdas

Para el post proceso y visualización de resultados se utiliza OpenFOAM en conjunto con el software ParaView. Esto permite visualizar la superficie libre simulada y compararla con el modelo físico, parte de los resultados obtenidos se muestran en la Figura 2.

## Resultados

Uno de los objetivos que se plantea en este trabajo es representar correctamente el flujo en las obras de encauzamiento y en el sector donde se produce el vórtice, la mayor dificultad en sentido corresponde a obtener valores confiables en la zona del vórtice, principalmente debido a la alta variación de velocidad, pendiente y tipo de escurrimiento que se produce, donde el agua circula a gran velocidad por las paredes del cono que la conduce.

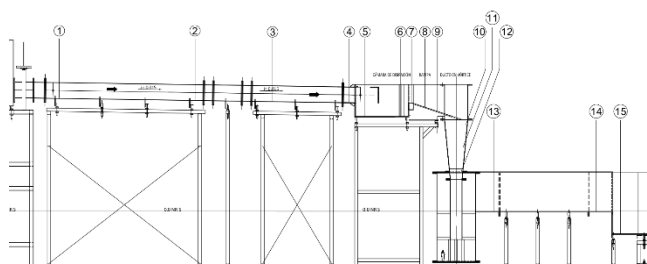


Figura 3.- Ubicación puntos de medición en el modelo físico.

De forma resumida se presentan como resultado la comparación entre modelo físico y modelo numérico de velocidad y altura de escurrimiento en distintos puntos de la Figura 3. Los resultados mencionados corresponden a valores obtenidos en la escala del modelo físico, los cuales para ser llevados a los valores reales de la obra deben ser amplificados por la correspondiente escala de velocidad o de longitud.

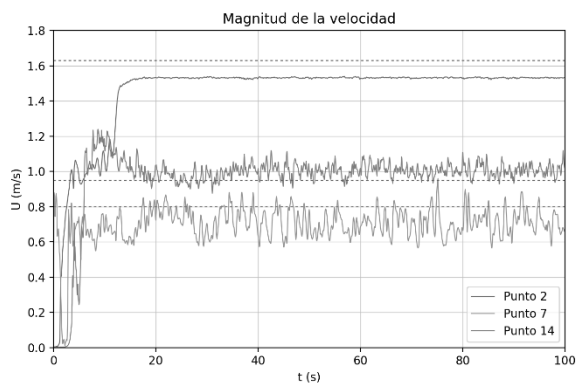


Figura 4.- Resultados de velocidad del modelo físico y modelo numérico utilizando el caudal de diseño.

En el caso de la velocidad se presentan las mediciones en los puntos 2, 7, y 14. En el caso del punto 2 se encuentra antes de un codo que canaliza el flujo a una cámara disipadora, el punto 7 en una zona de alta pendiente, la cual realiza la incorporación del flujo a la zona de escurrimiento tipo vórtice, mientras que el punto 14 se encuentra aguas abajo del vórtice.

Desde la comparación de resultados mostrada en la Figura 4 se observa una buena representación de la velocidad en los puntos mencionados, siendo los valores obtenidos desde el modelo numérico similares a los medidos en el modelo físico.

Tabla 1.- Alturas de escurrimiento utilizando el caudal de diseño.

Punto	Modelo físico [cm]	Modelo numérico [cm]
2	7,6	9,6
7	10,6	12,8
14	9,0	8,4

De los resultados mostrados en la Tabla 1 se observa que el modelo numérico entrega en general una buena estimación de las alturas de escurrimiento obtenidas desde el modelo físico. Al igual que en el caso de las velocidades, para obtener la magnitud real del error que se presentaría en las obras, estos valores deben ser amplificados, siendo en este caso la escala de longitudes del modelo físico.

## Conclusiones

En la comparación de resultados en general se observa una correcta predicción de velocidades y alturas de escurrimiento. Los resultados anteriormente mostrados son prometedores en cuanto a la validación en el uso de un modelo 3d como herramienta para el prediseño de este tipo de obras. En el caso de las obras anexas que se encuentran en esta cámara disipadora, como los son el canal de aproximación y luego las obras de descarga, el modelo reproduce de manera satisfactoria las condiciones presente. Otros fenómenos de interés que no fueron estudiadas en este trabajo incluyen estimar la incorporación de aire que se produce en las obras y la correcta representación de las condiciones de turbulencia observadas en el modelo físico.

## Referencias bibliográficas

- Crispino, G., Dorthe, D., Fuchsmann, T., Gisonni, C., Pfister, M. (2016). "Junction chamber at vortex drop shaft: case study of Cossonay". In B. Crookston & B. Tullis (Eds.), *Hydraulic Structures and Water System Management*. 6th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, Portland, OR, 27-30 June (pp. 437-446). doi:10.15142/T350628160853 (ISBN 978-1-884575-75-4).
- F. R. Menter, M. Kuntz and R. Langtry (2003). "Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model", *Begell House Heat and Mass Transfer*. 4.