

COMPARACIÓN DE MODELOS 1D, 2D Y 3D PARA FLUJO EN ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS COMPLEJAS Y LÁMINA LIBRE

Victor Gustavo Cervantes Rico y Jiménez Javier Murillo

Grupo ICARTO, Universidad Autónoma de Zacatecas, México.
E-mail: vcervantesr@yahoo.com, javier_murillo_29@hotmail.com

Introducción

La modelización numérica mediante la implementación de software ha cobrado cada vez mayor importancia debido al desarrollo de la computación (Cea, 2015) el cual ha permitido la implementación de paquetes de cálculo cada vez más complejos. Esta modelización se basa en la predicción de ciertos parámetros como velocidad, presión, tirante, turbulencia, etc., y la solución por métodos numéricos como elementos finitos, de las ecuaciones que representan el comportamiento del fluido (Bladé et al., 2014).

Los fenómenos más simples, como el flujo de agua en un canal o un río, se pueden simplificar como flujo unidimensional, es decir, el flujo solo ocurre en una dirección. Sin embargo, cuando la hipótesis unidimensional se aleja demasiado de la realidad, es decir, predominan las dimensiones horizontales sobre las verticales, se debe hacer uso de un esquema bidimensional (Cea, 2015). Cuando se trata de modelizar un fenómeno cuyo comportamiento varía tanto en las dimensiones verticales como en las horizontales se debe recurrir a un modelado tridimensional.

Uno de los softwares más utilizados es el HEC-RAS, desarrollado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos de América (USACE) y de distribución libre, el cual permite la modelización de flujo continuo unidimensional en canales naturales o construidos, pudiéndose calcular los perfiles en régimen subcrítico, supercrítico y mixto. El procedimiento computacional básico del HEC-RAS se basa en la solución de la ecuación de la energía de una dimensión, mientras que las pérdidas por fricción son evaluadas con la ecuación de Manning; cuando el perfil de la superficie varía rápidamente, por ejemplo en el salto hidráulico, se utiliza la ecuación de momento (USAGE, 2010).

Otro software de distribución libre utilizado para la modelización hidráulica es el IBER, modelo desarrollado en conjunto entre la Universidad de Coruña, la Universidad de Santiago de Compostela, la Universidad Politécnica de Catalunya y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España, el cual permite la modelización bidimensional de flujo turbulento en lámina libre en régimen permanente. Este software consta de tres módulos de cálculo principales: hidrodinámico, módulo de turbulencia y transporte de sedimentos. En el módulo hidrodinámico se resuelven las ecuaciones de Saint Venant en 2D; en el módulo de turbulencia se incluyen las tensiones turbulentas en el cálculo para lo cual se incluyen distintos modelos de turbulencia: un modelo parabólico, un modelo de longitud de mezcla y un modelo $k-\epsilon$. El software utiliza el método de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones correspondientes (Bladé et al., 2014).

Cuando se requiere evaluar modelos más complejos se puede recurrir a la dinámica computacional de fluidos, CFD por sus siglas en inglés. Uno de los softwares más utilizados dentro de los CFD es el ANSYS que cuenta con capacidades tales como funciones de preprocesador, soluciones, post procesador, gráficos y modelados paramétricos. Para el modelado de fluidos, el sistema de análisis más utilizado es el ANSYS FLUENT, el cual resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes mediante el método de elementos finitos y consiste en discretizar el problema en pequeños volúmenes llamados

celdas, aplicando balances de masa, cantidad de movimiento y energía a cada uno (ANSYS FLUENT, 2011). El uso de las técnicas CFD tienen una amplia aplicación en las industrias mecánica, automotriz y aeroespacial (Moçilan et al., 2017), utilizándose, a menudo también para la modelización del comportamiento de estructuras hidráulicas complejas.

Antecedentes

Se han realizado una gran cantidad de esfuerzos en investigaciones anteriores para comparar los resultados al aplicar distintos software de modelización numérica en una gran variedad de fenómenos: flujo en ríos, rotura de presas, inundaciones, etc.

En el año 2014, se realizó una comparativa entre los modelos HEC-RAS (Unidimensional) e Iber (bidimensional) en el análisis de la rotura en una presa de materiales sueltos, concluyéndose que el flujo durante la rotura de una presa es representado de mejor manera por un software bidimensional (Muñoz y Kenyo, 2014).

Otro fenómeno que ha sido objeto de varias comparaciones entre software unidimensionales y bidimensionales son las inundaciones, en cuyos resultados, se destacan las diferencias entre la aplicación de ambos modelos (Castro y Willems, 2011).

Problemática

La mayoría de los esfuerzos encaminados a la adecuada selección del tipo de modelización numérica se centran en fenómenos tales como flujo en ríos, inundaciones, rotura de embalses, etc.; obteniéndose que, por ejemplo, el flujo en un río o canal puede representarse adecuadamente mediante un modelo unidimensional, mientras que las inundaciones son representadas de mejor manera por un software bidimensional (Castro y Willems, 2011). Empíricamente, y considerando que la modelización numérica siempre será una aproximación para describir el comportamiento del fenómeno estudiado (Bladé et al., 2014), es fácil ver que el comportamiento de dichos fenómenos corresponde adecuadamente con el tipo de software utilizado para realizar la modelización.

Sin embargo, en el estudio de algunos fenómenos como el comportamiento del flujo de agua dentro de estructuras hidráulicas complejas no es muy sencillo definir el tipo de modelización numérica a utilizar debido a las variaciones en la geometría y las condiciones de contorno como gastos, presiones, etc. Además, con la finalidad realizar un correcto diseño de éstas estructuras hidráulicas, se debe tener una adecuada representación del flujo hidráulico dentro de las mismas.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es establecer ciertas recomendaciones que permitan al ingeniero elegir adecuadamente el tipo de modelización numérica a utilizar en el análisis de flujo hidráulico dentro de estructuras hidráulicas complejas, realizando, para ello, una comparativa en los resultados obtenidos al aplicar software para modelado unidimensional, bidimensional y tridimensional.

Materiales y métodos

Para alcanzar los objetivos planteados se realizará la modelización de flujo hidráulico dentro de la estructura mostrada en la figura 1, la cual está compuesta por dos cajas hidráulicas. La caja 1 consta de dos tuberías de entrada de 800 mm de diámetro que se unen en un múltiple mediante una curva de 45° y una tubería de salida de 900 mm de diámetro.

A la caja 2 llega el flujo proveniente de la caja 1 con la tubería de 900 mm de diámetro y otro flujo de una tubería de 750 mm de diámetro que se unen en una "Y" con asimétrica y de diferentes curvaturas para salir por una tubería de 1200 mm de diámetro. Los archivos trabajables para los modelos se realizan mediante los softwares AutoCAD y ArcGIS.

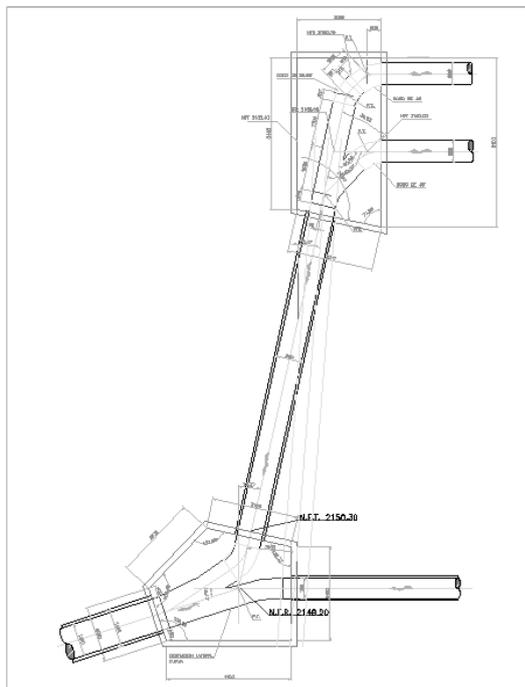


Figura 1.- Estructura hidráulica compleja.

La modelización de flujo hidráulico en la estructura se realiza mediante el uso de los siguientes softwares: HEC-RAS (unidimensional), Iber (bidimensional) y ANSYS (tridimensional) y se comparan los resultados obtenidos para diferentes escenarios en gasto de entrada, los cuales se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.- Escenarios para modelización de estructura hidráulica.

Diámetro [mm]	Gasto de entrada [m ³ /s]				
	1	0.9	0.8	0.7	0.6
800	1	0.9	0.8	0.7	0.6
800	1	0.9	0.8	0.7	0.6
750	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5

Además se realizan comparaciones locales, considerando las diferentes condiciones geométricas que posee la estructura analizada para definir el software que represente de mejor manera las condiciones reales en cada caso.

Adicionalmente, se presenta en el estudio comparativo los análisis para la descarga en salto de ski del vertedor de control de una central hidroeléctrica para gastos desde 1 000 m³/s hasta 11 000 m³/s en incrementos de gasto de 1 000 m³/s. La figura 2 muestra los perfiles calculados en 1D para el funcionamiento de dicho vertedor.

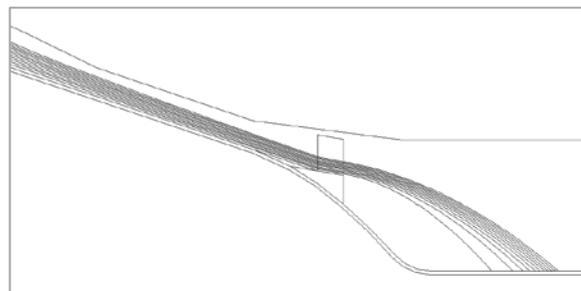


Figura 2.- Vertedor.

Así mismo, se presenta el análisis comparativo para los flujos en un canal trapezoidal de concreto con plantilla de 4.00 m de ancho y taludes variables en función la operación de estructuras de limpieza, derivación lateral y un desvío con ataguía, para un gasto máximo de 40 m³/s (figura 3).

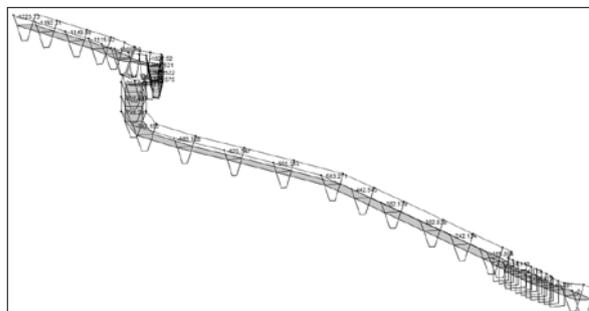


Figura 3.- Canal trapezoidal de concreto.

Finalmente, se incluye la comparativa de las modelizaciones en la rotura de un bordo de almacenamiento para uso hidroagrícola (figura 4).



Figura 4.- Bordo de tierra con rotura.

Referencias bibliográficas

ANSYS FLUENT (2011). *User's Guide*.

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Coll, A. (2014). "Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos" *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*. Vol. 30, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>

Castro, L. T. y Willems, P., (2011). *Desempeño de modelos hidráulicos 1D y 2D para la simulación de inundaciones*.

Cea, L. (2015). *Modelización matemática en lecho fijo del flujo en ríos. Modelos 1D y 2D en régimen permanente y variable*, 30.

Muñoz G. y Kenyo C., (2014). *Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis de Rotura en Presas de Materiales Suelos; y Aplicación a la Presa Palo Redondo*, 171.

Močilan, M., Žmindák, M., Pecháč, P., & Weis, P. (2017). "CFD Simulation of Hydraulic Tank". *Procedia Engineering* Vol. 192, pp. 609-614. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.105>

US Army Corps of Engineer (2010). *Hydraulic Reference Manual*. HEC-RAS River Analysis System.