

Software de Modelización Hidráulico en Canales

Hydraulic Modeling Software in Channels

Software de Modelagem Hidráulica em Canais

Erika Natalia Rivera Echenique

Estudiante. Facultad de Ingeniería Civil.
Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja.
Correo electrónico: erika.riverae@usantoto.edu.co. Tunja – Colombia.

Daniel Felipe Buitrago González

Estudiante. Facultad de Ingeniería Civil.
Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja.
Correo electrónico: daniel.buitrago@usantoto.edu.co. Tunja – Colombia.

Resumen

Los canales hidráulicos son estructuras naturales o artificiales que transportan un curso de agua determinado y que, a diferencia de los complejos de tubería, son abiertos a la atmósfera. Por esta razón el presente artículo pretende exponer las técnicas de modelamiento hidráulico tradicionales junto con los softwares de modelamiento hidráulico más relevantes de la actualidad, dando a conocer su funcionamiento, ventajas y desventajas de cada uno de ellos. La información presentada en el artículo es una recopilación de información para el desarrollo del artículo. HEC-RAS es sin duda uno de los software de modelamiento hidráulico en canales más importantes en el mundo por que conjuga una serie de elementos eficientes que hacen del programa uno de los más eficientes del mercado, sin embargo existen otros software de modelamiento, originales de Europa como SOBEK y MIKE 11 los cuales son eficientes de acuerdo a ciertos parámetros proporcionados previamente por el usuario previamente, sin embargo su eficiencia no queda en duda, al ser óptimo en varios ambientes de diseño y estudio como el sector rural, urbano y fluvial.

Palabras clave: Canales, hidráulica, modelación, oleaje, software.

Abstract

Hydraulic channels are natural or artificial structures that transport a determined water course and that, unlike the pipe complexes, are open to the atmosphere. For this reason, this article aims to show the traditional hydraulic modeling techniques along with the most relevant hydraulic modeling software of today, making known their operation, advantages and disadvantages of each one of them. The information presented in the article is a compilation of information for the development of the article. HEC-RAS is undoubtedly one of the most important hydraulic modeling software in the world because it combines a series of efficient elements that make the program one of the most efficient on the market, however there are other modeling software, original Europe as SOBEK and MIKE 11 which are efficient according to certain parameters previously provided by the user, however its efficiency is not in doubt by being optimal in several design and study environments such as the rural, urban and fluvial sector.

Key Words— Channels, Hydraulics, Modeling, Waves, Software.

Para citar este artículo: Rivera-Echenique, E.N. Buitrago-González, D.F. (2017). "Software de Modelización Hidráulico en Canales". *L'Esprit Ingénieur*. Vol 8., pp. 88 - 95.

Resumo

Os canais hidráulicos são estruturas naturais ou artificiais que transportam um curso de água determinado e que, ao contrário dos complexos de tubos, estão abertos para a atmosfera. Por este motivo, este artigo tem como objetivo expor as técnicas tradicionais de modelagem hidráulica juntamente com os softwares de modelagem hidráulicas mais relevantes da atualidade, tornando conhecidas suas operações, vantagens e desvantagens de cada uma delas. A informação apresentada no artigo é uma compilação de informações para o desenvolvimento do texto. O HEC-RAS é, sem dúvida, um dos mais importantes softwares de modelagem hidráulica do mundo, pois combina uma série de elementos eficientes que tornam o programa um dos mais eficientes no mercado. No entanto, existem outros softwares de modelagem, originais da Europa, como o SOBEK e o MIKE 11, os quais são eficientes de acordo com determinados parâmetros previamente fornecidos pelo usuário, porém sua eficiência não é duvidosa, sendo ótima em vários ambientes de desenho e estudar como o setor rural, urbano e fluvial.

Palavras-Chave: Canais, Hidráulica, Modelagem, Ondas, Software.

INTRODUCCIÓN

A partir de la evolución de la humanidad los seres humanos han tenido que adquirir habilidades para poder subsistir, uno de los más grandes ejemplos fue el desarrollo que hubo en cuanto a hidráulica (proviene del griego ύδραυλικός (*hydraulikós*) que, a su vez, viene de «tubo de agua»), esta habilidad se dio gracias a que el desarrollo de estas civilizaciones se dio alrededor de grandes ríos, de allí que grandes sistemas de acueducto y de alcantarillado sean consideradas como las grandes maravillas del mundo en la ingeniería.

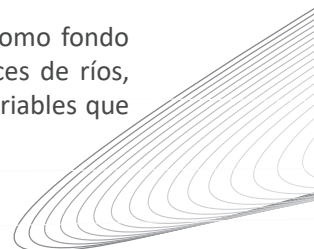
Gracias a esto, grandes pensadores se basaron en el estudio de esta ciencia con mayor profundidad, por medio de métodos y técnicas de modelamiento que desarrollaron con una justificación sustentable, con el avance de la sociedad se ha logrado transmitir estos conocimientos a diferentes sistemas aplicados por medio de las computadoras, de esta manera el procedimiento para el modelamiento de estructuras hidráulicas es un poco menos complejo y facilita una aproximación al conocimiento requerido.

Es por esto que es de gran importancia conocer en el rol de ingenieros civiles gran parte acerca de los métodos y de las aplicaciones del modelamiento hidráulico en canales, tema bastante relevante, con algunas de sus ventajas y desventajas para así poder realizar conclusiones adecuadas al momento de tomar decisiones al estudiar el tema.

TÉCNICAS DE MODELACIÓN HIDRÁULICA

Técnicas de modelación de fondo móvil

Como una de las principales técnicas de modelación de canales, es conocida como fondo móvil, estas técnicas son empleadas para resolver problemas referentes a cauces de ríos, canales, entre otros. Es por esto que es de gran importancia el estudio de las variables que



se relacionan entre el flujo combinado, el de sedimentos y el transporte (Sánchez,1993).

Técnicas de modelación de fondo fijo

Otra de las técnicas utilizadas tradicionalmente son las técnicas de fondo fijo para la modelación de canales hidráulicos tanto artificiales como naturales tomando en cuenta aspectos como control de avenidas, navegación e irrigación. Así mismo estudia fenómenos locales sobre estructuras hidráulicas como, por ejemplo, el comportamiento hidráulico de estructuras como vertedores, compuertas, obras de toma y estructuras sumergidas y como últimos aspectos toma en cuenta el control del patrón de flujo y niveles de agua en superficie son fundamentales para el correcto desarrollo del modelo (Sanchez, 1993).

Ecuaciones de Saint- Venant

Para la configuración de la dinámica de los canales en 1D, se obtiene a partir de las ecuaciones de Saint- Venant, esta ecuación comprende otras dos ecuaciones: una ecuación de continuidad y una ecuación de momento.

La ecuación de continuidad se expresa como:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

En esta ecuación, tiene en cuenta el balance de masa con respecto a un volumen de control, en términos del caudal y el área transversal del canal (Romero, 2011)

La ecuación de momento se expresa como:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gAS_f - gAS_o = 0 \quad (2)$$

(Romero, 2011) refiere que: “Para la ecuación, Q es el caudal de agua en el volumen de control, A es la superficie de dicho

volumen, x es la coordenada longitudinal, g es la fuerza de la gravedad, Z es la altura de profundidad de agua y por ultimo Sf y So son las pendientes de fricción y del fondo del canal respectivamente” (p.7)

En 2D, la ecuación de Saint – Venant se puede expresar como:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU_x}{\partial x} + \frac{\partial hU_y}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

(Luis & Ernest, 2007) afirman “En 2D, la ecuación trabaja sobre un dominio bidimensional con tres variables definidas en cada punto del dominio, siendo h el calado del canal y (Ux, Uy) como componentes de la velocidad horizontal” (p.14).

Para las tres dimensiones (3D) la ecuación de Saint-Venant se expresa como:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

En donde se toman variables como gradiente de presión, difusión viscosa y turbulenta en dirección x , difusión viscosa y turbulenta en dirección z (Luis & Ernest, 2007).

SOFTWARES UTILIZADOS PARA MODELACIÓN HIDRÁULICA

A través del tiempo se han venido creando diferentes programas especializados en diseños hidráulicos, el desbordamiento de ríos, las inundaciones presentadas en cauces, el transporte de sedimentos, la modelación hidrológica e hidráulica y simulaciones de flujos permanente y no permanentes, son materia de estudio en todo el mundo. La mayoría de softwares especializados en los temas anteriores han sido creados en su mayoría en países desarrollados, en los que la tecnología se ha venido avanzando cada vez más. Así mismo interpretan de manera práctica las técnicas de modelación tradicionales haciendo de los resultados, datos

precisos y confiables tanto para el estudio de una estructura de canal como para su diseño, tomando en cuenta aspectos hidrológicos que rodeen a la estructura, en particular la de los canales.

Dentro de los softwares más usados se encuentran los siguientes:

- a) HEC-RAS: Es un modelo unidimensional estadounidense, con su versión más reciente 5.0 de 2016, permite realizar simulaciones con flujo permanente y no permanente, cálculos de transporte de sedimentos y el análisis de calidad del agua entre sus principales funciones, aunque son infinitas aquellas aplicaciones que podemos encontrar por medio de este software especializado (U.S Army Corps of Engineers, 2016).

Se encuentran bastantes ventajas que tiene el software y que se han visto reflejadas en diferentes trabajos de hidráulica que se reflejan en todo el mundo.

De acuerdo con un análisis comparativo entre algunos softwares utilizados para la modelación hidráulica, se pudo evidenciar que gracias a las características tecnológicas que posee este modelo, presenta mayor eficacia al momento procesar la información de revisión, modificación y demostración frente a otros, lo que lo convierte en uno de los más utilizados a nivel mundial (CDA-ACB, 2005).

Dentro de otras de las grandes ventajas que tiene se encuentra: que las herramientas que posee el programa, colaboran de gran forma con la elaboración de tránsito hidráulico, además puede realizar comparaciones entre los diferentes modelados que se realizan para diseñar un proyecto hidráulico, realiza cálculos de profundidad de socavación y calcula los parámetros hidráulicos del caudal. (Múnera, 2013)

“La versión actual de HEC-RAS acepta los cálculos del perfil de la superficie de agua de

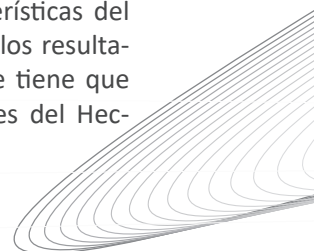
flujo fijo e irregular” (Villón (citado por (Revate & Nilo, 2008, p.33)).

El software tiene otras ventajas considerables como:

- La interface GUI permite al usuario un manejo práctico del software obteniendo así más eficiencia y eficacia en funciones específicas como, gestión de archivos, entrada y salida de datos, prospección hidráulica, gráficos tanto de entrada como de salida de datos y practicidad en la ayuda en línea (Zevallos, 2010).
- En flujos de régimen permanente, HEC-RAS, tiene la capacidad de controlar desde el curso de un río hasta grandes sistemas de canales, teniendo en cuenta diferentes tipos de régimen (Gallegos, 2013)
- En el cálculo hidráulico puede ser considerada la presencia de estructuras hidráulicas como vertederos, puentes, alcantarillas entre otros (Gallegos, 2013)
- En flujos de régimen no permanente, HEC-RAS permite configurar el flujo a través de canales abiertos, allí mismo se pueden incluir configuraciones de área de almacenaje, estaciones de bombeo, túneles y diques. (Gallegos, 2013).
- En el software se puede mostrar el transporte de sedimentos, calcular ampliaciones o reducciones causadas por el fenómeno de la socavación (Gallegos, 2013).

Dentro de las desventajas que se han presentado en la utilización de este modelo se encuentran algunas como lo son que las secciones siempre deben ser perpendiculares al flujo y en un análisis de modelamiento hidráulico del río Lircay, realizado en Perú se pudo concluir que:

En régimen variable es necesario adecuar el esquema numérico a las características del flujo para asegurar la validez de los resultados que se obtienen, por ello se tiene que analizar las distintas posibilidades del Hec-



Ras y su ajuste para evitar inestabilidades y representar aproximadamente el flujo en ríos. (Revate & Nilo, 2014, p.26)

Además, como recomendación de un trabajo realizado a partir de la modelación hidráulica aplicada a inundaciones de cauces, por HEC-RAS, se discutió como recomendable calibrar de forma adecuada los modelos hidráulicos a utilizar, al introducir datos correspondientes de todo tipo, ya que el software presenta cierto rango de errores al introducir datos de mala calidad (Arango, García, Materón & Parra, 2007).

Entre otras desventajas que posee el software, se puede decir que, el programa realiza cálculos hidráulicos unidimensionales, lo que no es de aplicación para diseños multidimensionales y, por último, en ríos de gran pendiente, el programa puede generar inestabilidades de tipo numérico, lo que para un usuario inexperto serio complejo resolver estas dificultades (Gallegos, 2013).

HEC-RAS con respecto a la solución de las ecuaciones de Saint-Venant utiliza (1) y (2) en sus modelos hídricos apoyándose en un modelo llamado UNET para flujo unidimensional (Luis & Ernest, 2007).

b) FLDWAV: El programa FLDWAV, desarrollado por el Servicio Nacional Meteorológico (NWS), es un programa de encaminamiento de inundación generalizado con la capacidad de modelar flujos por una corriente sola o un sistema de vías fluviales (FEMA, 2015).

Este programa es la secuencia de programas como DAMBRK Y DWOPER, en el que no solo es posible analizar el flujo de una sola corriente, si no de varias, así como también un régimen de flujo surtido.

Según los estudios realizados por medio de diferentes proyectos se puede concluir que una de las ventajas de mayor importancia en la aplicación de este modelo, es que posee

más opciones y capacidades en el momento de modelar (CDA-ACB,2005).

Además, se encuentra coordinado para trabajar por medio de sistemas de georreferenciación facilitando así el ingreso de datos al sistema.

El modelo FLDWAV trabaja en manera similar que el modelo HEC-RAS, estos dos modelos tienen similitud en sus teorías numéricas para la mayor parte de condiciones, al parecer los dos modelos arrojan los mismos datos en el momento de aplicarlos(CDA-ACB,2005).

c) MIKE 11: Es un sistema de modelado 1D, para canales naturales, planicies de inundación, embalses y estructuras hidráulicas. Fue desarrollado por el DHI (Danish Hydraulic Institute 1990) y es utilizado en la simulación de variaciones de descarga y nivel de agua en ríos obtenido a partir de la precipitación en la cuenca hidrográfica, además incluye el análisis de entradas y salidas tomando en cuenta las condiciones de contorno del río (Agencia Nacional de Aguas, 2013)

(Trento, 2001) refiere a que el programa es apto para representar una completa hidrodinámica de redes de canales y sistemas de ríos además del transporte de sedimentos y proceso de calidad del agua, igualmente admite la simulación de regímenes supercríticos y críticos en ríos que poseen configuraciones complejas.

MIKE 11 ofrece las siguientes ventajas a sus usuarios como:

- Descripción hidráulica precisa de ríos y canales cuyo flujo sea unidireccional (Agencia Nacional de Aguas, 2013).
- Es eficaz ya que tiene menos puntos computacionales que los modelos en 2D y por tal motivo el tiempo de procesamiento es menor (Agencia Nacional de Aguas, 2013).

- Es fácil de analizar y de extraer resultados confiables (Agencia Nacional de Aguas, 2013).
- Analiza ruptura de represas y estructuras hidráulicas operacionales (Agencia Nacional de Aguas, 2013).
- Incluye toda la gama de modelos de propagación de crecidas (Trento, 2001).
- Cuenta con los módulos básicos de advección-dispersión y el transporte de sedimentos cohesivos y no cohesivos (Trento, 2001).

Entre las desventajas se pueden identificar:

- Los cursos de agua deben ser conocidos previamente (Agencia Nacional de Aguas, 2013)
- Se requiere de un mayor esfuerzo del modelo que en los modelos 2D (Agencia Nacional de Aguas, 2013).
- Se obtiene solo el flujo medio a lo largo de la profundidad y ancho del canal e igualmente no describe flujos detallados en planicies de inundación (Agencia Nacional de Aguas, 2013).

Debido a las grandes funciones que presenta el software Mike 11, es recomendando para el modelamiento hidráulico, en trabajos de análisis de riesgo de inundaciones asociados al diseño, entre otros, debido a las condiciones físicas de las zonas de estudio, en casos relacionados con control de inundaciones (Díaz & Vargas).

Aunque el sistema operativo desarrollado por MIKE 11 es un sistema avanzado, es incapaz de resolver campos de flujo de llanura inundable complejos, en consecuencia produce grados de inundación realista, sin embargo existen de la misma plataforma otros avances entre los que se encuentran MIKE 21, el cual es un modelo bidimensional, que presenta incapacidad al momento de modelar elementos estructurales, al integrar estos dos sistemas se introdujo al mundo operativo un nuevo sistema conocido

como MIKE FLOOD, que contiene un modelo unidimensional y un modelo bidimensional. (Gilles & Moore, 2010).

El software MIKE 11 ofrece solucionar las ecuaciones de St. Venant dimensionalmente a partir de condiciones de régimen permanente y variable permanente, utilizando (1) y (2) para modelar secciones compuestas, llanuras de inundación, paso bajo vías y otras estructuras (Luis & Ernest, 2007).

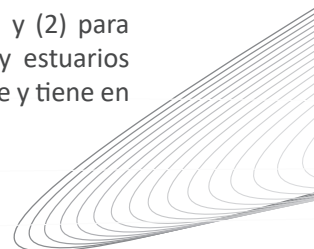
d) SOBEK: Es un software integrado que permite la construcción de modelos complejos añadiendo integralmente componentes 1D, en paquetes como SOBEK-Rural, SOBEK-Urbano (Vanderkimpen, Melger, & Peeters, 2009).

SOBEK 1D (Rural – Urbano-Fluvial) permite resolver ecuaciones de Saint Venant por medio de una diferencia finita, las infracciones se pueden modelar por medio de un complejo de “vertedero de río” con propiedades que dependen del tiempo (Vanderkimpen, Melger, & Peeters, 2009).

SOBEK 2D, usa una grilla rectangular donde resuelve con el mismo procedimiento las ecuaciones de Saint Venant que en el SOBEK 1D, así mismo, es capaz de analizar la inundación y el secado tomando superficies variables, rugosidades y valores de fricción del viento (Vanderkimpen, Melger, & Peeters, 2009).

Pedro & Enrique (2011) se refieren a SOBEK como: “uno de los mejores softwares para la gestión de sistemas hídricos en zonas fluviales, urbanas, rurales. Las características de tal programa permiten la implementación y análisis de modelos unidimensionales y bidimensionales tomando en cuenta elementos singulares como estructuras hidráulicas” (p.4).

SOBEK, utiliza las ecuaciones (1) y (2) para modelamiento de ríos, canales y estuarios de régimen variable y permanente y tiene en



cuenta variaciones morfológicas de los ríos y estuarios (Luis & Ernest, 2007).

CONCLUSIONES

Se pudo analizar que, dentro de los paquetes de software analizados, HEC-RAS es tal vez uno de los más complejos, ya que por medio de este se puede realizar modelación hidráulica, en la que es posible evaluar inundaciones, se analiza el transporte de sedimentos, se hace simulaciones de flujos permanentes y no permanentes, entre otras grandes funciones.

Para la mayoría de sistemas operativos es posible interactuar con varios programas especializados en ingeniería como lo son ArcGIS, AutoCAD, entre otros; lo que facilita la modelación hidráulica ya que por medio de estos se pueden obtener datos correspondientes a la realidad.

Los softwares de origen europeo como SOBEK, MIKE 11 por mencionar los más importantes, son funcionales, dinámicos y precisos en sus valores tanto de diseño como de estudios en ámbitos hidrológicos e hidráulicos y se desarrollan bajo ambientes urbanos, rurales y fluviales siendo aún más completo su capacidad de trabajo. Sin embargo, estos últimos softwares mencionados no cuentan con una cobertura de compatibilidad amplia lo que implica que en Latinoamérica no sean muy comunes en el ejercicio profesional.

REFERENCIAS

Agencia Nacional de Aguas. (2013). *Agencia Nacional de Aguas*. Obtenido de Agencia Nacional de Aguas Web10 site : <http://www3.ana.gov.br/>

Arévalo, P., Ortiz, E., Guna, V., Francés, F., & Camilo, J. (2011). Acople de modelos hidrológicos e hidráulicos para la terminación de la respuesta de entornos rural-urbano en un área endorreica. *Hidrogagia S.L*, 4.

Carrillo Gallegos, L. R. (2013). *Simulación de lahares del volcán Cotopaxi en sus drenajes del lado norte con el uso del Programa HEC-RAS* (Bachelor's thesis, SANGOLQUÍ/ESPE/2013).

Chacón, J., & Pazmiño, E. (2010). Análisis de flujo gradualmente variado no permanente y transporte de sedimentos con el modelo HEC-RAS. *Trabajo de grado. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiente. Ecuador*.

DHI- Water and Environment. (2003). *User Guide MIKE 11*. Recuperado de HYPERLINK "<https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/geoekologie/mike11usersmanual.pdf>" <https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/geoekologie/mike11usersmanual.pdf>

FEMA. (2015). *National Weather Service FLDWAV Computer Program*. Recuperado de <https://www.fema.gov/national-weather-service-fldwav-computer-program>.

Gilles, D., & Moore, M. (2010). Review of hydraulic flood modeling software used in Belgium, The Netherlands, and The United Kingdom. *International Perspectives in Water Resource Management*.

L. C., & E. B. (2007). *Modelización matemática en lecho fijo del flujo en ríos. Modelos 1D y 2D en régimen permanente y variable*. Obtenido de Sitio web IBERAULA : http://www.iberaula.es/public/files/file_1_6_Modelizacin%20matemtica%20en%20lecho%20fijo%20de%20fl.pdf

Luo, S. J., & Wang, R. (2014). Identification of the selective corrosion existing at the seam weld of electric resistance-welded pipes. *Corrosion Science*, 87, 517-520.

Muñoz, H. M., Vélez, J. L. G., Arango, D., & Parra, D. F. (2006). Modelación hidrológica e hidráulica aplicada a estudios de inundabilidad en cauces naturales caso de estudio: urbanización río nima. *Ingeniería de Recursos Naturales*, 5, 27-39.

- Múnera Mesa, C. P. (2013). *Análisis comparativo de los modelos HEC-RAS, CCHE2D, G-STARs y BRI-STARs para la modelación hidráulico-morfológica en un cauce aluvial* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Medellín).
- Ravate, M., & Nilo, G. (2014). *Modelamiento hidráulico del río Ircay en el tramo de la ciudad de Ocopa*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Perú.
- BIBLIOGRAPHY \m Rom11 \l 9226 Romero, A. A. (2011). *Modelado y control de un canal hidráulico*. Obtenido de Sitio web Universidad de Sevilla: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70313/fichero/0_Indice.pdf
- Vergara Sánchez, Miguel. A. (1993). *Técnicas de modelación en hidráulica*. México D.F: Alfaomega, S.A.
- U.S Army Corps of Engineers. (2016). HEC-RAS 5.0 Reference *Manual*. Recuperado de HYPERLINK “<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>” <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>
- Tibanta, D., Sneyder, J., & Vargas Guerrero, B. I. (2014). *Análisis del riesgo de inundación asociado al diseño hidráulico de la confluencia entre dos canales urbanos Canal El Virrey—Canal La Castellana, en la ciudad de Bogotá* (Bachelor’s thesis).
- Trento, A. (2001). Reseña sobre modelos unidireccionales de calidad de aguas en ríos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Octubre, 6(4), 175-183.
- Vanderkimpen, P., Melger, E., & Peeters, P. (2008). Flood modeling for risk evaluation: a MIKE FLOOD vs. SOBEK 1D2D benchmark study. *Flood Risk Management*, 77-78.
- Zevallos, J. K. (2010). *Introducción al uso del HEC-RAS*. Obtenido de Scribd web site: <https://es.scribd.com/document/71396503/INTRODUCCION-AL-USO-DEL-HEC-RAS>
- Zhou, R. D., Eng, P., & Donnelly, C. R. (2005, October). Comparison of HEC-RAS with FLDWAV and DAMBRK models for dam break analysis. In *CDA Annual Conference* (pp. 1-12)

