

INFLUENCIA DE LA CONDICIÓN DE FRONTERA AGUAS ARRIBA EN CÁLCULOS DE HIDRODINÁMICA EN 2DH

M. Berezowsky¹, J. Castillo¹, C.A. Caballero¹, A. Mendoza-Resendiz² y A.A. Jiménez¹

¹Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

²División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad - Lerma, México.

E-mail: mbv@pumas.ii.unam.mx, JCastilloPe@iingen.unam.mx, CCaballeroC@iingen.unam.mx, AMendozaR@iingen.unam.mx, ajc@pumas.ii.unam.mx

Antecedentes

En Téllez (2015) y Berezowsky *et al.* (2015), se describe el proceso de erosión y depósito así como de la erosión marginal que se presenta en la bifurcación de un río que se esquematiza en la figura 1. En dichos estudios se reporta que es notable la tasa de erosión marginal en la curva de la margen izquierda del río, desde aproximadamente la sección 13 hasta la 2 del esquema de la figura. Esto puede deberse, entre muchas razones, a velocidades altas del flujo en dicha margen, lo que resulta en tensiones de corte relativamente grandes cerca de la margen. Para continuar ese trabajo, se decidió estudiar con más detalle la hidrodinámica en la curva, y de ser posible, proponer medidas para mejorar la redistribución del flujo en la curva, ver Berezowsky *et al.* (2017).

En los estudios previos, el dominio de cálculo se definió con la información topográfica disponible que abarca el tramo de las secciones 3 a 12 de la figura 1. Para hacer el cálculo de la redistribución del flujo que aquí se propone, se tenían dudas si la localización de las fronteras del dominio afectaba el campo de flujo en la curva por lo que se propuso emplear un tramo de mayor longitud, para que la zona de estudio quedara más lejos de las fronteras de aguas arriba y aguas abajo, y así disminuir el efecto de ambas fronteras en el campo de velocidades de la curva. La discusión de este trabajo se centra en analizar el efecto de la localización de la frontera de aguas arriba, de manera que la hidrodinámica no tenga influencia de su localización.

Planteamiento del problema

El problema del número y tipo de las condiciones de frontera para un flujo en dos dimensiones promediadas en la profundidad (2DH) no es un tema resuelto aun satisfactoriamente, Benqué *et al.* (1982) y Herboet (2007). En sentido estricto, un dominio en un río debería cubrir desde el inicio del mismo hasta su descarga final o hasta alguna sección donde se tenga por ejemplo una curva elevaciones-gasto. Al definir un dominio de cálculo más corto, se supone implícitamente que la localización de las fronteras no afectaría la hidrodinámica. Afortunadamente, la fricción en el fondo y la topografía, “regularizan” el flujo a cierta distancia de las fronteras por lo que en muchas aplicaciones, la localización de estas no es demasiado importante. Sin embargo, en el caso que aquí se estudia en que la frontera usada previamente estaba muy cerca de la curva hacia la izquierda del río, es probable que si tenga efecto en la hidrodinámica en la curva.

El caso de utilizar un sistema de modelación matemática de flujo bidimensional horizontal (2DH), y régimen subcrítico, se requiere definir datos en cada frontera abierta (o líquida) del dominio. En el caso de estudio se calcula la hidrodinámica en un tramo de río en flujo subcrítico; la selección de la información en las fronteras no es trivial; por ejemplo, Cunge *et al.* (1983) clasifican a las condiciones de frontera como fuertes y débiles; éstas últimas pueden dar lugar a inestabilidades en los cálculos. Por ello, la selección de los tipos de fronteras abiertas o líquidas es semejante al del flujo 1D. En tramos de ríos como el del esquema es común imponer un caudal aguas arriba y algún nivel aguas abajo (o una curva elevaciones-caudales). Al

dar como información un caudal aguas arriba se supone que el flujo entra perpendicular a la línea de la frontera (por lo que el otro componente de la velocidad es nulo); además se requiere alguna hipótesis respecto a la distribución del gasto (la más común es que el caudal se distribuye uniformemente). Varias pruebas en el dominio aquí reportado, muestran que esta hipótesis no es válida ya que el flujo se carga más hacia una de las márgenes lo que da lugar a que se afecte la hidrodinámica en cierta zona cercana a la frontera. En el caso de las fronteras de salida de flujo, en el brazo izquierdo de la bifurcación se da una curva elevaciones-caudales (de la estructura que controla el gasto por dicho brazo); en el brazo derecho, se da una curva de flujo uniforme (lo que implica que el flujo sale perpendicular a dicha frontera y las velocidades normales a ella son nulas. En el artículo se discute qué tanto afectan estas hipótesis los campos de flujo en la zona central del modelo, sobre todo en lo que respecta a la frontera de aguas arriba.

Tramo en estudio

Se realizan los cálculos para un tramo del río Mezcalpa en la zona en que se bifurca en los ríos Samaria (brazo izquierdo) y Carrizal (brazo derecho). Se construyó un modelo digital de elevaciones con la topografía de un tramo de 20 km, ver esquema de la figura 1. Se aclara que la información disponible varía en precisión pues se obtuvo de distintos levantamientos topográficos, siendo la más confiable, la del estudio reportado en Téllez (2015).

Como condiciones de frontera se proporcionaron un caudal aguas arriba y una curva elevaciones - caudales en las respectivas fronteras de aguas abajo. Los cálculos del flujo se realizan con el sistema de modelado *Telemac-Mascaret*, EDF-R&D (2017), que utiliza el método del elemento finito, Herboet (2007). En la figura 1 se muestran algunas secciones representativas escogidas para comparar los campos de flujo.

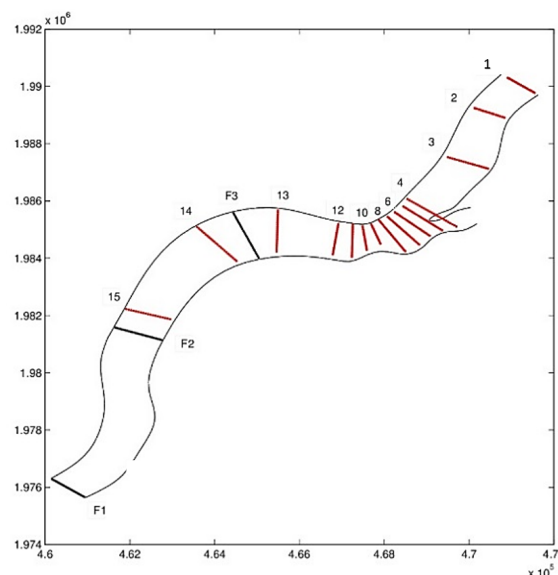


Figura 1.- Tramo en estudio, líneas de frontera (F) y secciones (con número) para fines de comparación (las coordenadas están en m).

Casos estudiados

Se construyeron varios modelos de la zona. El Modelo 1 cubre los 20 km del tramo con información del cauce, por lo que la frontera de entrada queda definida por la sección indicada como F1; después, se elaboró una malla formada por elementos triangulares de 50 m de longitud; en la cercanía de las fronteras, los lados de los triángulos tienen 10 m de longitud, resultando 65,500 elementos.

La frontera de entrada del Modelo 2 se localiza en la línea F2 de la figura 1, con una malla formada por elementos de 50 m de longitud, y de 10 m en la zona de las fronteras; así, el tramo queda de 15 km, con 52,600 elementos.

El Modelo 3 tiene la misma longitud de 15 km, pero con elementos triangulares de 25 m de lado, y 10 m en las fronteras; este modelo tiene 106,000 elementos.

La frontera de entrada del Modelo 4 quedó definida por la línea F3, por lo que resulta un tramo de 10 km; los elementos de esta malla tienen longitud de 25 m, y 68,600 elementos.

Comparación de resultados y discusión

Primero se comparan los resultados de los modelos 1 y 2, figura 2. Al analizar con detalle los resultados, se encontró que dada la variabilidad topográfica, la descripción del modelo podía explicar parte de las diferencias encontradas por lo que se decidió refinar la malla. Cuando se comparan los modelos 2 y 3 (con malla más fina), se obtienen vectores de velocidad con la misma dirección pero con diferente magnitud (como es de esperar, en general, las velocidades son menores con la malla más fina, pues tiene una sección transversal definida con mejor detalle), ver figura 3.

Al comparar los modelos 3 y 4 se obtiene también que las velocidades son diferentes en magnitud pero con la misma dirección, figura 4, por lo que, al recortar el modelo (del 3 al 4) se tiene una influencia en la hidrodinámica. Hasta aquí, se puede concluir que la condición de frontera de aguas arriba influye un tramo de longitud considerable aguas abajo de la frontera. Finalmente, se realizó el cálculo considerando la distribución de los flujos ($\bar{U}h$) (obtenida con el modelo 3) sobre la línea de frontera F3 mostrada en el esquema de la figura 1 (llamado modelo 5); resultan velocidades con la misma dirección pero ligeramente mayores que las del modelo 4, por lo que aún es necesario trabajar para tener independencia de la localización de la frontera.

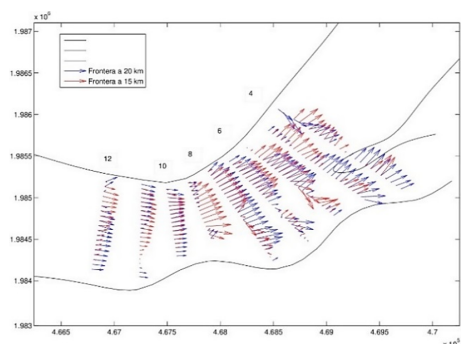


Figura 2.- Comparación de modelos 1 y 2.

Conclusiones

Hay dos aspectos en la zona que se aquí se estudia que a juicio de los autores tienen una fuerte influencia en la distribución de velocidades en la curva de interés; los cálculos realizados para este estudio permiten deducir que cuando el flujo llega a la curva de aguas abajo está influenciado por la curva de aguas arriba. El segundo factor no menos importante, es la batimetría en la zona: se tienen barras y bajos que producen regiones de

alta concentración de flujo y otras zonas de flujos prácticamente nulos. Esto complica el corte del modelo para fijar la condición de frontera de aguas arriba. En el artículo en extenso se detallan estos cálculos y otros con una malla más fina. Es necesario mencionar que un análisis semejante se requiere con respecto a la condición de frontera de aguas abajo.

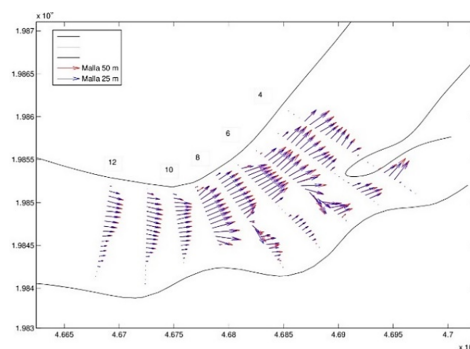


Figura 3.- comparación de los modelos 2 y 3.

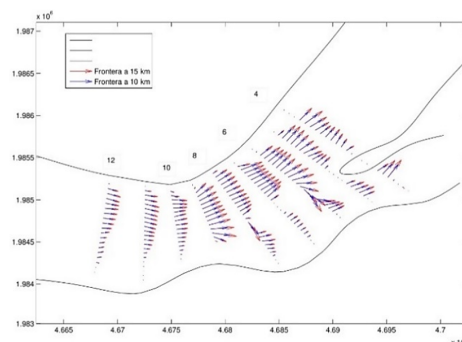


Figura 4.- Comparación de los modelos 3 y 4.

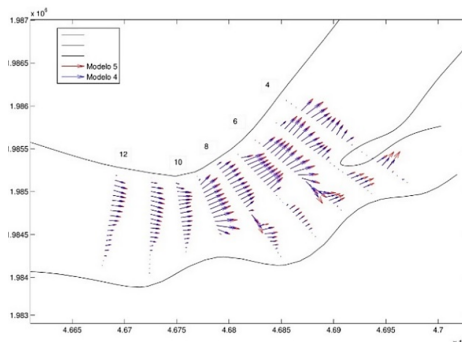


Figura 5.- Comparación de los modelos 4 y 5.

Referencias bibliográficas

- Berezowsky-Verduzco, M, Téllez-Díaz, J, Rivera-Trejo, F, Mendoza-Resendiz, A y Jiménez-Castañeda, AA (2015). Sedimentological behavior of the Mezcalapa River Bifurcation, 9th Symposium on River, Coastal and Estuary Morphodynamics, Iquitos, Perú.
- Benqué, J-P, Hauguel, A y Viollet P-L (1982). Engineering applications of computational hydraulics, Pitman
- Berezowsky, M, Rivera, F, Soto, G y Mendoza, A (2017). Study of the 3D flow patterns developed in bend near a bifurcation in Mezcalapa River, Mexico, 10th Symposium on River, Coastal and Estuary Morphodynamics, Iquitos, Perú.
- EDF-R&D. (2017). *TELEMAC MODELLING SYSTEM, 2D hydrodynamics*, User Manual, Release 7.0. Consortium - TELEMAC-MASCARET.
- Cunge, JA, Holly, FM y Verway, A. (1982), Practical aspects of computational river hydraulics.
- Téllez, J, (2015), Hidrodinámica y comportamiento del sedimento en una bifurcación de un río, Tesis de Maestría, Posgrado en Ingeniería, UNAM.
- Hervouet, J. (2007). *Hydrodynamics of free surface flows: Modelling with the finite element method*. John Wiley and Sons.