

CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO HEC-RAS 2D EN UNA CUENCA NO AFORADA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA

Tomás S. Vaschalde¹, Andrea Rico¹ y Clarita Dasso^{1,2}

¹ Instituto Nacional del Agua (INA) Centro de la Región Semiárida (CIRSA), Córdoba Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET.

E-mail: tomasvaschalde@gmail.com

Introducción

La modelación matemática requiere de información propia del sistema para poder calibrar los parámetros del modelo (rugosidad, dimensiones de la malla y paso de tiempo de simulación), y de esta manera lograr representar las características del flujo en estudio. Es necesario entonces conocer cómo se comporta el cauce ante diferentes eventos en diferentes lugares. Se encuentra disponible el modelo hidráulico bidimensional HEC-RAS 2D (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System), desarrollado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos USACE (U.S. Army Corps of Engineers). El cual requiere calibrar solo el parámetro de rugosidad con información obtenida en el campo para que sea representativo.

Dado que la zona de estudio no posee registro alguno de las variables hidrodinámicas del cauce, en contra partida a esto, existen novedosas técnicas para estimar caudales y analizar flujos complejos, como es la velocimetría por seguimiento de partículas a gran escala (por sus siglas en inglés LSPIV) (Patalano A. , y otros, 2013) que de manera no intrusiva permite calcular el campo de velocidades superficiales del flujo, entre otras características hidrodinámicas del flujo. Mediante el procesamiento de un video del flujo de estudio, que cumpla con ciertas pautas, se puede obtener resultados confiables.

Objetivos

Calibrar los parámetros hidráulicos del modelo hidrodinámico bidimensional (HEC-RAS 2D), empleando velocimetría por seguimiento de partículas a gran escala LSPIV para determinar velocidades y caudales en una sección del río Guanuscate, Jesús María, Provincia de Córdoba. Argentina.

Área de Estudio

La localidad de Jesús María, ubicada 50Km al norte de la ciudad de Córdoba, en la zona de contacto del piedemonte oriental de la Sierra Chica con la Llanura Pampeana, se asienta en las márgenes del río Guanuscate, dicho río, pasa por el centro histórico de la ciudad comprometiendo en sus crecidas a barrios y vías de comunicación internas y rutas nacionales (Ruta Nacional RN 9) El río Guanuscate tiene origen en la confluencia de los ríos Santa Catalina y Ascochinga, quedando definidas dos subcuencas principales, denominadas Santa Catalina, al norte; y Ascochinga, al sur.

Metodología

Para cumplimentar con el objetivo planteado se procedió de la siguiente manera:

Se buscaron e identificaron videos de crecidas registrados por lugareños, disponibles en las diferentes redes sociales. Una vez generada la base de datos de videos, se eligieron aquellos que cumplieran con las condiciones necesarias para aplicar la técnica de LSPIV.

Posteriormente, se procesaron los videos con la herramienta computacional PIV-Lab (Thielicke & Stamhuis, 2014), la cual

permitió obtener los campos de velocidades superficiales instantáneas y medias. Al realizar el procesamiento de los videos con esta técnica, se descartaron aquellos en los que la calidad de la filmación no permitió la obtención de los campos de velocidades; quedando de esta forma solo un ejemplar, registrado el día 3 de marzo del 2015 aguas abajo del puente Colón.

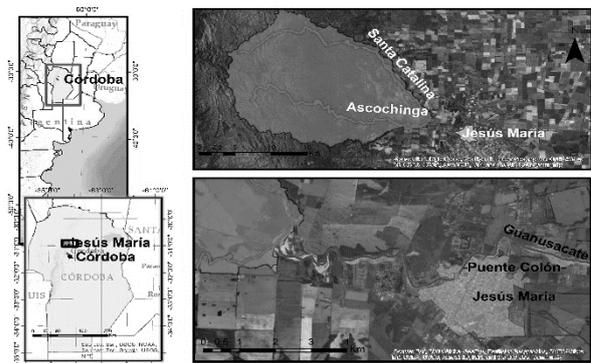


Figura 1.- Ubicación de la cuenca de estudio y de la sección donde se realizó la cuantificación.

A continuación se rectificó el campo medio de velocidades superficiales con el programa RiVer (Patalano A. , García, Brevis, Guillén, & Moreno, 2015), para quitar los efectos de la perspectiva de filmación (no ortogonalidad entre el plano de agua y la normal del lente de la cámara). Para ello fue necesario información de las distancias de 4 puntos característicos no alineados, relevados en campo.

Con dicha información, se obtuvo el campo de velocidades superficiales y las correspondientes velocidades en la sección de interés. A partir de ellas, se calculó la velocidad media de flujo y finalmente, con la información de la altura del pelo de agua y la batimetría (sección transversal), se obtuvo el caudal escurrido superficialmente en el momento en que se llevó a cabo la filmación del video.

Por otro lado, lo que respecta a la modelación hidráulica bidimensional, se utilizó la herramienta computacional HEC-RAS 2D, modelando hidráulicamente el tramo de río Guanuscate que va desde la confluencia de los ríos Ascochinga y Santa Catalina hasta la planta de cloacas, situada aguas abajo de la localidad de Jesús María. Este modelo resuelve las ecuaciones de difusión para determinar las variables hidráulicas. Para su implementación, se requirió el ingreso de un modelo digital de elevación (MDE) con el fin de aportar información de los niveles dentro del área de estudio. Para ello, se empleó un modelo desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), obtenido a partir de vuelos aerofotogramétricos. Los MDE aerofotogramétricos refinados que distribuye el IGN cuentan con una resolución espacial de 5m y precisión vertical submétrica.

Además, fue necesario ingresar las condiciones de borde para resolver las ecuaciones de continuidad y momentum. Para la condición aguas arriba se definió el hidrograma de ingreso al modelo, correspondiente a un hidrograma constante de magnitud igual al caudal obtenido del procesamiento del video. Para la condición aguas abajo se ingresó la pendientes de la línea de

energía, que se asumió igual a la pendiente topográfica ($S=0.29\%$). Los valores de rugosidad de las diferentes zonas comprendidas en el área de estudio se ingresaron como un archivo vectorial georreferenciado, obtenido de las observaciones realizadas en las diferentes campañas. Se definieron 5 zonas bien marcadas: cauce; vegetación ribereña; campo; ciudad; periurbano. Los valores de rugosidad correspondiente al cauce, fueron ajustados en base al evento registrado, mientras que a las demás zonas se les asignó un valor de rugosidad recomendado por la bibliografía

Tabla 1.- Valores de rugosidad adoptados para las zonas identificadas.

Uso de Suelo	Valor de n de Manning
Vegetación Ribereña	0.070
Campo	0.055
Ciudad	0.100
Periurbano	0.080

Resultados

Resultados de la aplicación de LSPIV

Del procesamiento del video con PIVLab y RiVer se obtuvieron las velocidades superficiales a lo largo de la sección transversal. Allí, se puede observar que el valor medio de las velocidades superficiales es de 2.4m/s, tomando como valor máximo de 3.5m/s.

Posteriormente, conociendo el campo de velocidades superficiales y la batimetría de la sección, se procedió a determinar el caudal. Para ello es necesario establecer la relación que existe entre las velocidades superficiales y las medias (α), en base a lo que recomienda la bibliografía se adoptó el valor empírico de $\alpha=0.85$ (Chow, 1994). En la Figura 3 se presenta un gráfico en el que se muestra la batimetría de la sección de análisis, las velocidades superficiales y las velocidades medias.

Con la información antes presentada, se pudo calcular el caudal escurrido superficialmente para el video analizado, el cual fue de $206\text{m}^3/\text{s}$, con una profundidad media de 2.54m, un ancho de boca (B) de 38.92m y una velocidad media en la sección de 2.1m/s.

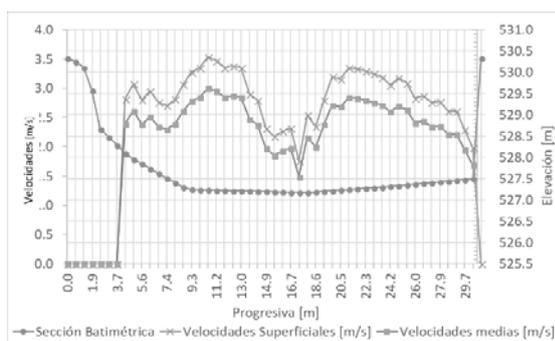


Figura 3.- Batimetría de la sección y velocidades superficiales y velocidades medias obtenidas del procesamiento.

Calibración del modelo bidimensional HEC-RAS 2D

Para definir el valor de rugosidad correspondiente al cauce, fueron comparados los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones con los resultados obtenidos del evento del 3 de marzo del 2015. Dicha comparación se llevó a cabo de manera gráfica (ver Figura 4) y analítica, empleando el Error Medio Cuadrático (EMC) en base a los resultados obtenidos de las simulaciones con diferentes rugosidades (ver Tabla 2).

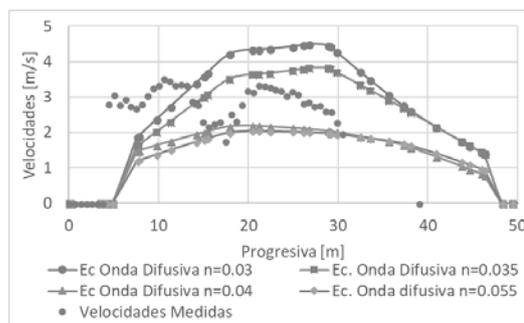


Figura 4.- Perfiles de velocidades medias medidas y calculadas en la sección de control.

Tabla 2.- Valores de EMC entre las variables hidráulicas medidas y calculadas.

	EMC			
	n=0.03	n=0.035	n=0.04	n=0.055
Vel. Máx.	2.28	0.68	0.64	0.91
Vel. media	0.01	0.13	1.06	1.15
B	0.05	0.05	0.05	0.05

Conclusiones

En primer lugar, se pudo obtener un video en el que se ha registrado un evento de crecida del río y que cumple con las condiciones para aplicar la técnica LSPIV. De allí, se pudieron estimar las velocidades superficiales, medias y el caudal que por allí escurre. En los resultados obtenidos de la aplicación de LSPIV, se pueden observar que la técnica identifica las variaciones de velocidad a lo largo de la sección, ya que en el gráfico de velocidades superficiales, se observan claramente los efectos de los contornos y de la pila del puente. Finalmente, con información provista por la aplicación de LSPIV se pudo calibrar al modelo hidráulico bidimensional realizado con la herramienta HEC-RAS.

En cuanto a la calibración del modelo, de la visualización gráfica resulta que la rugosidad de $n=0.035$ tiene la mejor aproximación a velocidades medias medidas. En los valores del Error Medio Cuadrático (EMC) ocurre algo similar, si bien las velocidades máximas se asemejan más con una rugosidad de $n=0.04$, el valor promedio del EMC es menor para la rugosidad de $n=0.035$ ($\text{EMC}=0.22$). Por esta razón se empleó el $n=0.035$ para el cauce del río Guanuscate, de esta manera, se obtuvo el valor de rugosidad calibrado del cauce del río.

Referencias

- Chow, V. T. (1994). *Open-channel hydraulics*. Tokyo: McGraw-Hill Higher Education.
- Patalano, A., García, C., Brevis, W., Guillén, N., & Moreno, L. R. (2015). *Recent advances in Eulerian and Lagrangian Large-Scale Particle Image Velocimetry*. 36th IAHR World Congress.
- Patalano, A., García, C., Guillén, N., García, C., Diaz, E & avallera, N. (2013). *Evaluación experimental de técnicas de cuantificación de aguas superficiales en ríos serranos*. Santa Fe, Argentina: Sexto Simposio Regional Sobre Hidráulica de Ríos .
- Thielicke, W., & Stamhuis, E. (2014). PIVlab - Towards Userfriendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB. *Journal of Open Research Software*, 2.