

Caracterización de la estructura 3D del flujo en tramos meandriformes en condiciones de inundación mediante modelo numérico. Interacción cauce-llanura e influencia de la rugosidad.

Tema M (Modelos numéricos en dinámica fluvial), tema A (Dinámica fluvial y de estuarios y deltas)

Bruño Fraga Bugallo

Enrique Peña González

Luis Cea Gómez

*GEAMA, Grupo de Enxeñería da Auga e do Medio Ambiente
ETSE Camiños, Canais e Portos, Universidade de A Coruña*

b.fraga@udc.es

Los flujos complejos que se producen alrededor de obstáculos o en canales o cursos de agua con curvatura se caracterizan por la presencia de patrones tridimensionales que no pueden ser captados con el suficiente detalle por los modelos 2D o 1D. El caso de tramos meandriformes de ríos con llanuras de inundación de profundidad variable es especialmente interesante por la complejidad de los fenómenos que se producen y por la influencia práctica de los mismos desde un punto de vista ingenieril. Por un lado, en la zona donde se mezcla el flujo proveniente de las llanuras con el del cauce principal se producen fuertes tensiones tangenciales debido a las diferentes direcciones del flujo y rugosidades del cauce y llanuras. Esto genera vórtices que se desarrollan en el plano vertical. Paralelamente, el flujo del cauce en tramos meandriformes se caracteriza ya de por sí por la formación de células de recirculación generadas por la fuerza centrífuga. Estos remolinos cambian de dirección entre un meandro y el siguiente y son de gran importancia en la determinación de los procesos erosivos en los márgenes del cauce. La suma de estos dos fenómenos da lugar a una configuración de flujo muy compleja, marcada por la vorticidad, la turbulencia y claramente tridimensional.

En este trabajo se ha aplicado un modelo numérico 3D de volúmenes finitos a un tramo fluvial meandriforme (río Mero, A Coruña, Noroeste de España) en condiciones de inundación. El caso presenta un interés práctico debido a la presencia real de edificaciones habitadas en las llanuras de inundación del río.

El modelo resuelve las ecuaciones de conservación del *momentum* y de la masa para las 3 dimensiones del espacio. El código empleado se basa en un esquema numérico de volúmenes finitos y ha sido desarrollado por los autores (Cea *et al.*, 2007). La malla tridimensional se genera a partir de una malla 2D no estructurada a la que se añaden capas horizontales. Por lo tanto la malla es no estructurada en el plano horizontal pero estructurada en el vertical. En el caso de las simulaciones en el Mero se han llegado a emplear 21 capas horizontales para obtener una buena resolución en las zonas críticas como el fondo del cauce o la zona de interacción entre el flujo de inundación de la llanura y el del cauce.

El modelo resuelve las ecuaciones RANS 3D (Reynolds Averaged Navier-Stokes). Esto implica que las propiedades del flujo son promediadas y la turbulencia modelada y que no se asume una distribución de presiones hidrostática. Los modelos de turbulencia empleados para cerrar el modelo han sido $K-\epsilon$ y longitud de mezcla. El algoritmo de resolución implementado en el código es el SIMPLE. Éste permite resolver las variables implícitas en las ecuaciones de *momentum* y conservación de masa, corrigiendo iterativamente los valores de velocidades y presión hasta llegar a la convergencia.

Además del tramo meandriforme, el modelo ha sido validado en casos académicos con geometrías más simples que presentaban un importante comportamiento 3D. Los resultados obtenidos en un canal curvado 270° y dos canales meandriformes (uno con flujo sólo en el cauce y otro con llanuras de inundación) fueron empleados para la validación detallada del modelo en flujos complejos. En los tres casos se compararon los campos de velocidades en perfiles y secciones con los resultados experimentales y numéricos. Las velocidades obtenidas

por el modelo muestran una muy buena aproximación a las medidas experimentalmente. Las distribuciones de velocidades longitudinales (las velocidades principales en el sentido del eje del cauce o canal) han sido descritas con gran precisión. La influencia de la fricción de fondo y de las condiciones de contorno en el fondo y las paredes es muy grande en estas predicciones. También se han comparado los perfiles de velocidades transversales, obteniéndose buenos resultados a pesar de la dificultad que entraña por la menor magnitud de la velocidad y la importancia de un mallado fino y de un buen modelado de la turbulencia en su caracterización.

Los resultados en el río Mero describen con precisión fenómenos 3D como las células de recirculación en los meandros y la verticidad y tensiones generadas en la interacción entre flujo de llanura y flujo en cauce. Se ha analizado la influencia de la relación entre la rugosidad de fondo en el canal y en las llanuras, que ha demostrado ser muy importante en la generación de “camino preferenciales” del flujo. También se ha estudiado la influencia de los diferentes modelos de turbulencia empleados. Se han realizado simulaciones tanto con capa rígida en la frontera superior como con condición de lámina libre. Se comenta el papel que juega en la modelización y en la física del problema la presión dinámica. Una vez alcanzado un flujo permanente, la distribución de presión dinámica muestra valores muy bajos, lo que permite discutir la aplicabilidad de la asunción de capa rígida (flujo en presión) en la superficie y la posibilidad de emplear un modelo de aguas someras con una hipótesis de presión hidrostática.

Además de estos análisis cualitativos, los resultados obtenidos en el Mero han sido comparados con datos experimentales obtenidos en un modelo 1:20 del tramo de estudio construido en los laboratorios del grupo de investigación con este propósito.

Bibliografía más relevante:

L. Cea, J. Puertas, M. Elena Vázquez-Cendón. “Depth Averaged Modelling of Turbulent Shallow Water Flow with Wet-Dry Fronts”. Archives of Computational Methods in Engineering, 14 (3), 303--341, 2007.

Cea L, Stelling G, Zijlema M. 2009. “Non-hydrostatic 3D free surface layer-structured finite volume model for short wave propagation”. International Journal for Numerical Methods in Fluids; 61:382–410.

Tritthart M, Gutknecht D. 2007. “Three-dimensional simulation of free-surface flows using polyhedral finite volumes”. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics 1: 1–14.

Peter R. Wormleaton, Manaye Ewunetu. 2006. “Three-dimensional k- ϵ numerical modelling of overbank flow in a mobile bed meandering channel with floodplains of different depth, roughness and platform”. Journal of Hydraulic Research Vol. 44, Issue 1, pp. 18-32.

Thorsten Stoesser, Nils Ruether and Nils Reidar Boe Olsen. “Calculation of primary and secondary flow and boundary shear stresses in a meandering channel”. Advances in Water Resources. Volume 33, Issue 2, February 2010, Pages 158-170.

Shiono, K., Spooner, J., Chan, T., Rameshwaran, J., and Chandler, J., "Flow Characteristics in Meandering Channels with Non-Mobile and Mobile Beds for Overbank Flows", IAHR Journal of Hydraulic Research, Volume 46, No. 1, pp. 595-609, Delft, Netherland, January, 2008.

Gahmry H. K., Steffler P. M. “Two-dimensional depth-averaged modeling of flow in curved open channels”. Journal of Hydraulic Research Vol. 43, No. 1 (2005), pp. 44–55.

Sellin, R.H.J., Irvine, D.A. and Willetts, B.B., 1993. “Behaviour of meandering two-stage channels”. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Water, Maritime and Energy 101, pp. 99–111.