

Validación del módulo de transporte de sedimentos de fondo – Modelo iber

Georgina Corestein, Ernest Bladé

*Institut Flumen (UPC – CIMNE). Universitat Politècnica de Catalunya.
.Jordi Girona 1-3, D1, Campus Nord UPC, 08034 Barcelona*

1. Introducción

En esta comunicación se presenta el avance de los trabajos realizados en el desarrollo del módulo de transporte de sedimentos de fondo del modelo Iber (Bladé et al. 2012). En particular se presentan los resultados de la comparación con los resultados de una serie de ensayos de laboratorio.

Como es sabido la validación de los modelos de simulación numérica no es trivial, y en el caso del transporte de sedimentos presenta retos específicos tanto desde el punto de vista numérico (Castro Díaz et al. 2009)(Murillo and García-Navarro 2010), como desde el punto de vista práctico. Algunos de los resultados relacionados con la estabilidad de la implementación de módulo de transporte de sedimentos de Iber se presentaron con anterioridad (Corestein and Bladé 2012), así como las primeros test de validación con datos de laboratorio.

Uno de los inconvenientes que aparecen al intentar realizar validaciones comparando con valores reales, sea en prototipo o en modelo físico es la relativa poca disponibilidad de este tipo de datos. En nuestro caso el estudio comparativo con datos de laboratorio se realiza empleando los valores recogidos en una serie de ensayos realizados en las instalaciones de Laboratorio de Hidráulica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Coruña como parte de la tesis doctoral de Enrique Peña (Peña González et al. 2008). La serie de ensayos que empleados incluyó dos test, uno con caudal constante y otro con caudal variable.

2. Ensayo caudal constante

2.1 Modelo físico

Los ensayos se realizaron en el canal de 15 m de longitud y sección de 0.5m x0.5m; el canal dispone de una compuerta móvil al final que permite modificar la altura de vertido. Así mismo es posible variar la pendiente del fondo (*Figura 1*). Tiene un coeficiente de Manning

aproximado de $n=0.011$. El sedimento se introdujo mediante una capa de arena formando un escalón en la parte central del canal.

Para este ensayo se configuró el canal con una pendiente de 0.052 %. Las condiciones hidrodinámicas fueron caudal 21.8 l/s a la entrada y calado de 11.5 cm a la salida. Se empleó una arena de $D_{50}= 1\text{mm}$ dispuesta en una capa de 4.5 cm entre las secciones 4.5 y 9 metros. El ensayo duró 8 hs.



Figura 1. Imagen de la instalación donde se realizaron los ensayos. Fuente (Peña González 2002).

Para realizar las mediciones se instalaron instrumentaciones para el PIV y el Scanner 3D. Mediante la técnica de PIV se midieron perfiles de velocidad y perfiles de fondo. Estos últimos se midieron también con la técnica de Scanner 3 D (Peña González 2002).

2.2 Modelo numérico

Para modelar numéricamente el experimento se creó una geometría compuesta de tres tramos para representar con precisión la zona de entrada, la zona del depósito de sedimentos y la zona de salida. La geometría se malló con un total de 1860 elementos cuadriláteros de 5×7.5 cm. En la *Figura 2* se muestran la geometría y la malla empleadas.



Figura 2. Geometría y malla empleadas para las simulaciones con caudal constante

Las condiciones hidrodinámicas aplicadas fueron entrada $0.022 \text{ m}^3/\text{s}$, salida vertedero con C_d y H_v tal que garantice nivel de agua fijo 11.5 cm . La condición inicial en seco. La rugosidad se representó con un coeficiente de Manning $n= 0.011$ para el canal de entrada y de salida y $n= 0.023$ para la zona del depósito de arena. En relación al transporte de sedimentos la simulación se realizó empleando la fórmula de Meyer-Peter & Müller para el cálculo del caudal sólido, con $D_{50}= 1 \text{ mm}$. La condición de contorno de entrada de agua clara.

2.3 Resultados

Los valores medidos durante la experimentación realizada en la Universidade da Coruña fueron extensivos en perfiles de velocidades y perfiles de fondo, por ello el número de comparativas posibles es importante. En este documento se presentan solo algunas de las que pueden resultar de interés

La *Figura 3* muestra el perfil longitudinal en el centro del canal donde puede observarse la forma del fondo al inicio del ensayo, la evolución del mismo en el instante 7200 s y los valores medidos en laboratorio para el mismo instante. En la Figura se observa que el modelo aproxima los resultados con relativa precisión y así mismo se hace evidente que la forma exacta de la propagación no se reproduce. Pero sí el volumen total de sedimento, el área en exceso de aguas arriba se compensa con el área en defecto de aguas abajo.

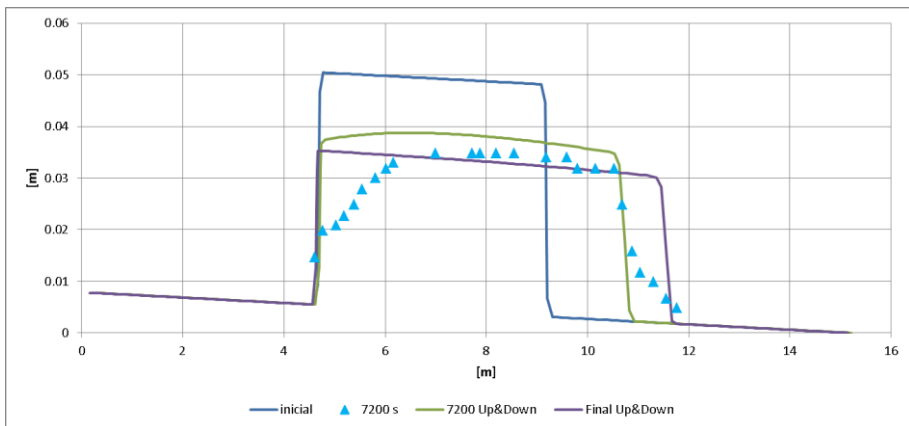


Figura 3. Resultados de la simulación de la evolución de la cota del fondo correspondiente al ensayo de caudal constante 21.8 l/s .

La no reproducción de la erosión en los ángulos es atribuible, primero a los efectos tridimensionales que no pueden ser tenidos en cuenta por un modelo bidimensional promediado en profundidad y además a las características de la implementación de este modelo numérico específicamente.

En la *Figura 4* se presentan los resultados de evolución del fondo en forma de mapa de colores. Se muestran dos instantes, el inicial y el 7200 s y puede observarse como el escalón de sedimentos *avanza* hacia aguas abajo debido a los procesos de erosión y sedimentación.

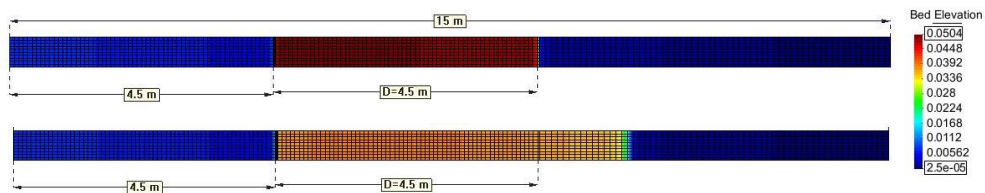


Figura 4. Comparación del fondo del canal en los instantes inicial y 7200 s para el ensayo con caudal constante de 21.8 l/s.

Una comparativa de particular interés es la de la evolución del fondo en una sección transversal, en este caso una sección situada 8.2 m aguas debajo de la entrada. Se dispone de los valores medidos con PIV en dos puntos de la sección, lateral y centro del canal, y en el eje de canal con Scanner 3D. La evolución puede verse en la *Figura 5*, donde se hace evidente que el modelo es capaz de reproducir de manera ajustada el inicio del transporte (min 10) pero pierde precisión al avanzar el tiempo.

Los valores simulados en todos los casos infravaloran los medidos, como se pone en evidencia en la *Tabla 1*, donde también se evidencia que la máxima diferencia es de unos 6 mm (en valor absoluto) para el instante 40 minutos y que se reduce en la siguiente referencia, el instante 120 minutos.

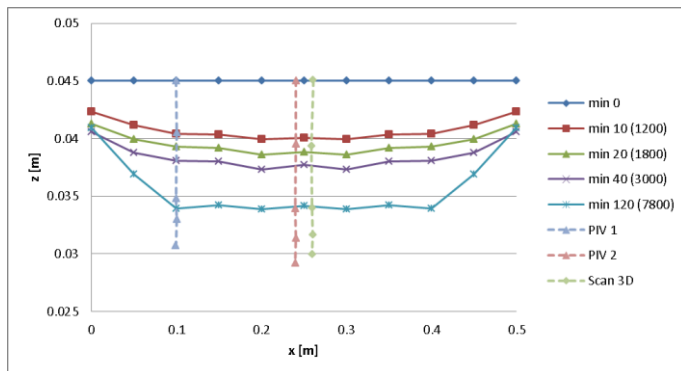


Figura 5. Evolución del fondo en la sección 8.2 m. Comparación de los valores medidos con los simulados.

Diferencia Medido – Simulado [m]	min 10	min 20	min 40	min 120
PIV 1	0.00010	-0.00450	-0.00508	-0.00322
PIV 2	-0.00051	-0.00493	-0.00632	-0.00494
SCAN 3D	-0.00071	-0.00485	-0.00604	-0.00422

Tabla 1. Diferencia entre los valores de z fondo medidos y los simulados en la sección 8.2 m.

3. Ensayo caudal variable

3.1 Modelo físico

Este ensayo se realizó en las mismas instalaciones que el de caudal constante (Sección 2.1), pero en este caso se configuró el canal con una pendiente de 0.055 %. Las condiciones hidrodinámicas fueron, entrada con un caudal de 10.4 l/s durante 30 minutos, 19.5 l/s los siguientes 30 minutos y 29.6 l/s los últimos 15 minutos; la salida con calados de 3.4 cm, 5.1 cm y 9 cm correspondiéndose con las variaciones de caudal, estos valores son los que se consiguen naturalmente para los caudales aplicados. Se empleó una arena de $D_{50}=1\text{mm}$ dispuesta en una capa de 5 cm entre las secciones 4.5 y 8.5 metros. El ensayo se detuvo artificialmente a los 75 minutos.

En este caso solo se realizaron mediciones con el PIV. Dado que, según Peña, las condiciones de la lámina de agua y calados imposibilitaban el uso de Scanner 3D (Peña González 2002).

3.2 Modelo numérico

Igual que en el caso de caudal constante, para modelar numéricamente el experimento se creó una geometría compuesta de tres tramos para representar con precisión la zona de entrada, la zona del depósito de sedimentos y la zona de salida. La geometría se malló con un total de 1880 elementos cuadriláteros de aproximadamente 5×7.5 cm.

Las condiciones hidrodinámicas aplicadas fueron: Hidrograma de entrada $0.0104 \text{ m}^3/\text{s}$ entre 0 s y 1800 s; $0.0195 \text{ m}^3/\text{s}$ entre 1800 s y 3600 s, y $0.0296 \text{ m}^3/\text{s}$ entre 3600 s y 4500 s. (Figura 6 - izquierda). Curva de gasto de salida según los datos de laboratorio, Figura 6 - derecha. La condición inicial en seco. La rugosidad se representó con un coeficiente de Manning $n=0.011$ para el canal de entrada y de salida y $n=0.023$ para la zona del depósito de arena. En relación al transporte de sedimentos la simulación se realizó empleando la fórmula de Meyer-Peter & Müller para el cálculo del caudal sólido, con $D_{50}=1 \text{ mm}$. Condición de contorno de entrada de agua clara.

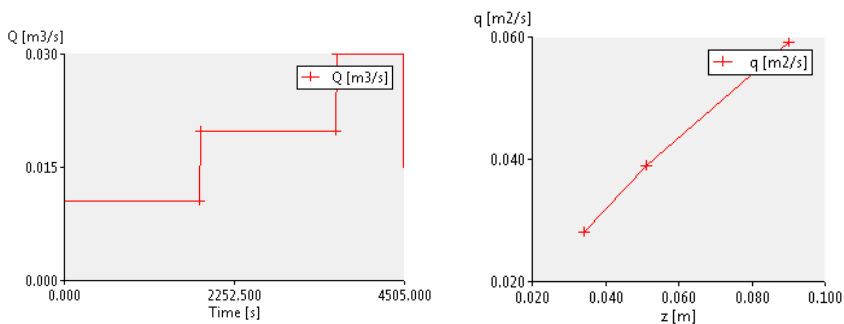


Figura 6. Condiciones de contorno aplicadas para la simulación numérica. A la izquierda Hidrograma de entrada, a la derecha Curva de gasto de salida.

3.3 Resultados

En este apartado se presentan los primeros resultados obtenidos, puesto que el análisis del caso de caudal variable continua realizándose.

Uno de los primeros resultados analizados fue la capacidad de la herramienta Iber con la fórmula de Meyer-Peter & Müller para simular una situación compleja como es la propuesta por este ensayo, que no es trivial desde el punto de vista hidráulico y que intentamos reproducir con la complicación agregada del transporte de fondo. En la *Figura 7* puede verse como la lámina de agua pone en evidencia la aparición de fenómenos hidráulicos complejos y su correspondiente reflejo en la modificación del fondo.

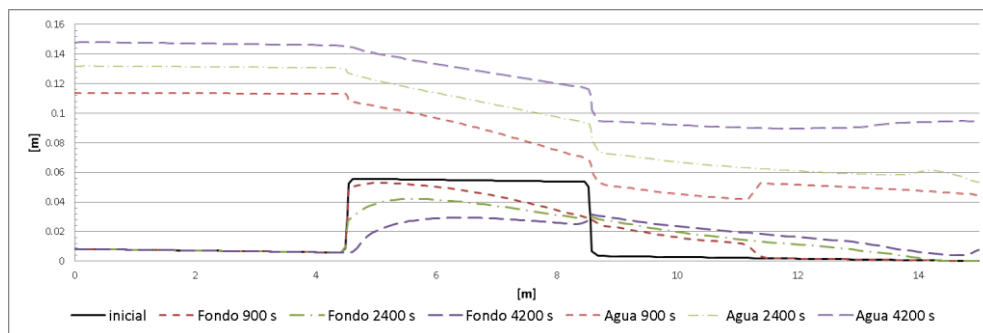


Figura 7. Evolución temporal del fondo y de la lámina de agua en el eje del canal. Valores correspondientes a la simulación numérica.

En la *Figura 8* se la comparación de la evolución temporal de la velocidad (en módulo) en un punto situado en el eje del canal en la sección 8 m aguas debajo de la entrada. La primera apreciación es que la forma de la curva de evolución se reproduce de una manera muy satisfactoria. Sin embargo el ajuste de los valores no está al mismo nivel, como puede verse en la *Tabla 2*, con diferencias de hasta 0.14 m/s en valor absoluto y un porcentaje de error del 25% en el peor de los casos.

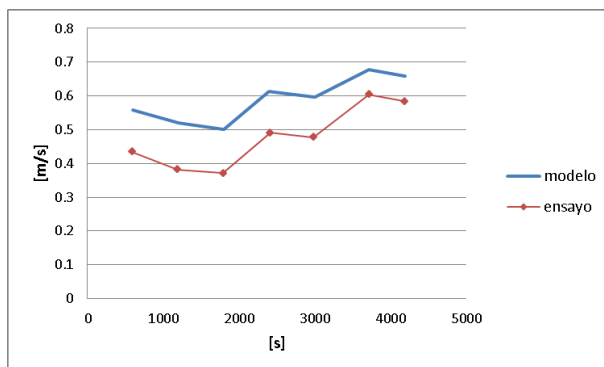


Figura 8. Comparación de la evolución temporal de la velocidad medida con PIV y simulada. Sección 8 m.

Tiempo [s]	Velocidad [m/s]		Diferencia	% error
	PIV	Modelo		
600	0.4347	0.5585	0.1238	22.17
1200	0.3816	0.5212	0.1396	26.78
1800	0.3715	0.5011	0.1296	25.87
2400	0.4903	0.6138	0.1236	20.13
3000	0.4776	0.5956	0.1180	19.81
3720	0.6040	0.6782	0.0743	10.95
4200	0.5838	0.6589	0.0752	11.41

Tabla 2. Comparación de las velocidades medidas y simuladas en la sección 8.0 m.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran la robustez de la herramienta Iber en la simulación de procesos de transporte de sedimentos de fondo. Tanto con caudales uniformes como con hidrogramas.

Los resultados de las diversas pruebas ponen en evidencia la importancia de capacidad de reproducir de manera certera las condiciones de contorno de laboratorio al momento de crear el modelo numérico. Esto pone de manifiesto, así mismo, la importancia de una correcta descripción de los ensayos.

En relación a la fórmula empleada para el cálculo de caudal sólido la expresión de Meyer-Peter&Müller, reproduce con precisión relativa los valores obtenidos en el laboratorio. Sin duda es necesario investigar más opciones.

Los análisis realizados hasta el momento son alentadores pero se hace evidente la necesidad de continuar con el estudio para poder conseguir resultados más concluyentes.

Referencias

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., and Coll, A. (2012). "Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos." *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*.

Castro Díaz, M. J., Fernández-Nieto, E. D., Ferreiro, A. M., and Parés, C. (2009). "Two-dimensional sediment transport models in shallow water equations. A second order finite

volume approach on unstructured meshes." *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 198(33-36), 2520–2538.

Corestein, G., and Bladé, E. (2012). "Validación del esquema numérico del módulo de transporte de sedimentos de fondo – Modelo IBER." *V Seminario RLHE sobre las Líneas Prioritarias de Investigación de la Red de Laboratorios de Hidráulica de España.*, Madrid.

Murillo, J., and García-Navarro, P. (2010). "An Exner-based coupled model for two-dimensional transient flow over erodible bed." *Journal of Computational Physics*, Elsevier Inc., 229(23), 8704–8732.

Peña González, E. (2002). "ESTUDIO NUMÉRICO Y EXPERIMENTAL DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN CAUCES ALUVIALES." *Historia*, Universidade da Coruña.

Peña González, E., Marqués, J. F., Sánchez-Tembleque Díaz-Pache, F., Puertas Agudo, J., and Gómez, L. C. (2008). "Experimental validation of a sediment transport two-dimensional depth-averaged numerical model using PIV and 3D Scanning technologies." *Journal of Hydraulic Research*, 46(4), 489–503.