



Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

www.elsevier.es/rimni



Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos

E. Bladé^{a,*}, L. Cea^b, G. Corestein^a, E. Escolano^c, J. Puertas^b, E. Vázquez-Cendón^d, J. Dolz^a y A. Coll^c

^a Institut Flumen, E.T.S. d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech, UPC Campus Nord, Jordi Girona 1-3, D-1, 08034 Barcelona, España

^b Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, E.T.S. Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña, 15071 A Coruña, España

^c Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria, CIMNE, Edifici C-1, Campus Nord UPC, Gran Capitán, s/n, 08034 Barcelona, España

^d Departamento de Matemática Aplicada, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Vida, 15782 Santiago de Compostela, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 16 de marzo de 2012

Aceptado el 26 de julio de 2012

On-line el 20 de noviembre de 2012

Palabras clave:

Flujo en lámina libre

Aguas someras

Modelización de procesos fluviales

Inundaciones

R E S U M E N

Para dar respuesta a los requerimientos en materia de aguas definidos en las directrices, reglamentos y recomendaciones existentes en la legislación española, los cuales están mayoritariamente basados en directivas europeas, se ha desarrollado una herramienta de modelización numérica del flujo de agua en lámina libre en 2 dimensiones. La herramienta, llamada Iber, combina un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos, y utiliza el método de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones correspondientes. Al módulo de cálculo se le ha adaptado una interfaz que se basa en el software de preproceso y posproceso GiD, desarrollado por CIMNE. El resultado es una herramienta de modelización numérica del flujo de agua y sedimentos en ríos y estuarios, que utiliza esquemas numéricos avanzados especialmente estables y robustos en cualquier situación pero especialmente adecuados para flujos discontinuos y, en concreto, para cauces torrenciales y regímenes irregulares.

© 2012 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Iber – River modelling simulation tool

A B S T R A C T

The recent requirements of Spanish regulations and directives, on their turn based on European directives, have led to the development of a new two dimensional open channel flow modelling tool. The tool, named Iber, combines a hydrodynamic module, a turbulence module and a sediment transport module, and is based in the finite volume method to solve the involved equations. The simulation code has been integrated in a pre-process and post-process interface based on GiD software, developed by CIMNE. The result is a flow and sediment modelling system for rivers and estuaries that uses advanced numerical schemes, robust and stable, which are especially suitable for discontinuous flows taking place in torrential and hydrologically irregular rivers.

© 2012 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Keywords:

Open channel flow

Shallow water

Fluvial processes modelling

Flood modelling

1. Introducción

La modelación matemática del flujo de agua en un río consiste en predecir los valores que toman las variables hidráulicas (calado,

velocidades, caudal, etc.) a partir de la resolución mediante métodos numéricos de unas ecuaciones obtenidas con una serie de hipótesis. Para el estudio de los efectos de la propagación de avenidas en ríos se pueden utilizar modelos unidimensionales o bidimensionales. La necesidad de estudiar cada vez fenómenos más complejos, y la observación que en la naturaleza se encuentran muchas situaciones donde el flujo parece ser efectivamente bidimensional —es decir, predominan las dimensiones horizontales sobre la vertical—, junto con la creciente capacidad y velocidad de los ordenadores, ha llevado al uso de ecuaciones y esquemas bidimensionales (ecuaciones de aguas someras). Actualmente

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: ernest.blade@upc.edu (E. Bladé), luis.cea@udc.es (L. Cea), georgina.corestein@upc.edu (G. Corestein), escolano@cimne.upc.edu (E. Escolano), jerónimo.puertas@udc.es (J. Puertas), elena.vazquez.cendon@usc.es (E. Vázquez-Cendón), j.dolz@upc.edu (J. Dolz), abelcs@cimne.upc.edu (A. Coll).

existe una variedad de herramientas para la resolución del flujo de agua en lámina libre en 2 dimensiones. Algunas de las más consolidadas, como Mike-21, Sobek o TufLOW2D, utilizan esquemas en diferencias finitas, lo que conlleva limitaciones en la flexibilidad de la malla y en el cálculo de soluciones con discontinuidades. Otras, como Telemac2D, los distintos módulos de cálculo de SMS y FLO-2D, utilizan elementos finitos, lo que permite más flexibilidad en la malla de cálculo al trabajar con mallas no estructuradas. La tendencia actual se decanta claramente hacia la metodología de volúmenes finitos, aprovechando los importantes desarrollos habidos en las últimas décadas con este tipo de esquemas para las ecuaciones de las aguas someras (ver por ejemplo [1] y [2]). Algunas de las herramientas disponibles y que utilizan volúmenes finitos son Infoworks, Quad2D, las últimas versiones de Mike-21 e Iber.

Iber es un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo en ríos y estuarios desarrollado a partir de la colaboración del Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (*Universidade da Coruña*), del Grupo de Ingeniería Matemática (*Universidade de Santiago de Compostela*), del Instituto Flumen (*Universitat Politècnica de Catalunya* y Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria) y promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Iber es un modelo numérico desarrollado directamente desde la administración pública española en colaboración con las universidades mencionadas y diseñado para ser especialmente útil a las necesidades técnicas específicas de las confederaciones hidrográficas en la aplicación de la legislación sectorial vigente en materia de aguas. Algunos de los campos de aplicación de la versión actual de Iber son:

- Simulación del flujo en lámina libre en cauces naturales.
- Evaluación de zonas inundables. Cálculo de las zonas de flujo preferente.
- Cálculo hidráulico de encauzamientos.
- Cálculo hidráulico de redes de canales en lámina libre.
- Cálculo de corrientes de marea en estuarios.
- Estabilidad de los sedimentos del lecho.
- Procesos de erosión y sedimentación por transporte de material granular.

Iber se desarrolló a partir de 2 herramientas de modelización numérica bidimensional ya existentes, Turbillón y CARPA (cuya metodología se puede encontrar por ejemplo en Cea et al. [3] y Bladé et al. [4], respectivamente), ambas con el método de volúmenes finitos, que fueron integradas en un único código ampliado con nuevas capacidades. El modelo Iber consta de diferentes módulos de cálculo acoplados entre sí. En su primera versión se incluye un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos, de granulometría uniforme, por carga de fondo y por carga en suspensión. En sucesivas versiones del modelo se irán complementando y ampliando estos módulos y se desarrollarán otros nuevos. Entre las líneas prioritarias de desarrollo de Iber a corto plazo se encuentran los modelos de transporte de mezclas de sedimento, los modelos de hábitat fluvial y los modelos de calidad de aguas. Iber es un modelo de uso libre que se puede descargar de la página web www.iberaula.es, donde se ofrece documentación adicional, soporte a través de un foro de discusión y cursos de formación.

2. Modelo numérico

2.1. Ecuaciones

El módulo hidrodinámico de Iber resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia

y rozamiento superficial por viento:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} (h U_x) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h U_x^2 + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (h U_x U_y) \\ &= -gh \frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) \\ \frac{\partial}{\partial t} (h U_y) + \frac{\partial}{\partial x} (h U_x U_y) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h U_y^2 + g \frac{h^2}{2} \right) \\ &= -gh \frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) \end{aligned}$$

en donde h es el calado, U_x , U_y son las velocidades horizontales promediadas en profundidad, g es la aceleración de la gravedad, ρ es la densidad del agua, Z_b es la cota del fondo, τ_s es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento, τ_b es la fricción debida al rozamiento del fondo y ν_t es la viscosidad turbulenta. La fricción de fondo se evalúa mediante la fórmula de Manning como:

$$\tau_{b,x} = \rho g h \frac{n^2 U_x |U|}{h^{4/3}} \quad \tau_{b,y} = \rho g h \frac{n^2 U_y |U|}{h^{4/3}}$$

La fuerza de rozamiento realizada por el viento sobre la superficie libre se calcula a partir de la velocidad del viento a 10 m de altura, utilizando para ello la ecuación de Van Dorn [5]:

$$\tau_{s,x} = \rho C_{VD} |V_{10}| V_{x,10} \quad \tau_{s,y} = \rho C_{VD} |V_{10}| V_{y,10}$$

donde, $V_{x,10}$, $V_{y,10}$ son las 2 componentes de la velocidad del viento a 10 m de altura, $|V_{10}|$ es el módulo de la velocidad del viento a 10 m de altura y C_{VD} es un coeficiente de arrastre superficial que se calcula en función de la velocidad del viento a partir de la siguiente expresión:

$$|V_{10}| < 5,6 \text{ m/s} \rightarrow C_{VD} = 1,2 \cdot 10^{-6}$$

$$|V_{10}| \geq 5,6 \text{ m/s} \rightarrow C_{VD} = 1,2 \cdot 10^{-6} + 2,25 \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{5,6}{|V_{10}|} \right)^2$$

Todas las funciones y parámetros que aparecen en las ecuaciones hidrodinámicas (incluyendo el coeficiente de Manning y la velocidad del viento) pueden imponerse de forma variable tanto espacial como temporalmente.

La viscosidad turbulenta se calcula mediante modelos de turbulencia específicos para las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad. Iber incluye 3 modelos de turbulencia promediados en profundidad: el modelo parabólico, un modelo de longitud de mezcla y el modelo $k-\varepsilon$ de Rastogi y Rodi [6]. En el modelo parabólico se calcula la viscosidad turbulenta como:

$$\nu_t = 0,068 u_f h \quad u_f = \sqrt{\tau_b / \rho}$$

siendo u_f la velocidad de fricción de fondo. Utilizando la fórmula de Manning para calcular la fricción de fondo se obtiene la siguiente expresión para la viscosidad turbulenta:

$$\nu_t = 0,068 \sqrt{g n} |U| h^{5/6}$$

En el modelo de longitud de mezcla para aguas someras, la viscosidad turbulenta se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\nu_t = [\min(0,267 \kappa h, \kappa d_{wall})]^2 \sqrt{2 S_{ij} S_{ij} + \left(2,34 \frac{u_f}{\kappa h} \right)^2} \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)$$

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702592>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702592>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)