



Actividad experimental de I+D+i en
ingeniería hidráulica en España

IV SEMINARIO SOBRE LÍNEAS PRIORITARIAS

- A. Criterios hidromorfológicos para la restauración de espacios fluviales
- B. Hidrodinámica de embalses. Gestión sostenible de embalses
- C. Riesgo asociado a la escorrentía urbana
- D. Seguridad de presas. Aspectos hidrológicos e hidráulicos

E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, 9 de Junio de 2011



SEMINARIO MADRID. JUNIO 2011

Índice

1. COMUNICACIONES LÍNEA PRIORITARIA A

CRITERIOS HIDROMORFOLÓGICOS PARA LA RESTAURACIÓN DE ESPACIOS FLUVIALES

- 1.1 Análisis mediante modelación matemática de la interacción en avenida del río Duero con el puente medieval de San Esteban de Gormaz y diseño de las actuaciones protectoras (Soria)** (*Beatriz Nácher, Pedro Millán, Eduardo Albentosa, Ignacio Andrés, Francisco J. Vallés; Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia*)..... 5
- 1.2 Análisis de sensibilidad e incertidumbre de un modelo bidimensional de contaminación bacteriana** (*María Bermúdez, Luis Cea, Jerónimo Puertas, Luis Pena; Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. Universidad de A Coruña. GEAMA. Universidad de Coruña*) 6
- 1.3 Calibración sedimentológica del modelo físico del meandro de Quinzanas** (*David López, María Isabel Berga, Alba González; Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX, Georgina Corestein, Ernest Bladé; Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya, Juan Antonio Martín; Confederación Hidrográfica del Cantábrico*) 7
- 1.4 Diseño de soluciones de protección frente a avenidas mediante modelización numérica** (*Ignacio Fraga, Luis Cea, Luis Pena, Jerónimo Puertas, José Piñero, Ignacio Maestro, Eugenia Calvo; Universidade de A Coruña*)..... 9
- 1.5 Simulación hidrológica agregada y distribuida, y evaluación del transporte de sedimentos en zonas semiáridas** (*María Dolores Marín Martín, Luis G. Castillo Elsitdié; Grupo de I+D+i Hidr@m. Universidad Politécnica de Cartagena*) 10
- 1.6 Implementación del transporte de madera (woody debris) en la simulación hidráulica bidimensional de ríos** (*Virginia Ruiz; Área de Investigación en Peligrosidad y Riesgos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, E. Bladé, M. Sánchez Juny; Grupo de Investigación FLUMEN. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña, J.M. Bodoque del Pozo; Departamento de Ingeniería Geológica y Minera de la Universidad de Castilla-La Mancha, A. Díez Herrero; Área de Investigación en Peligrosidad y Riesgos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid* 11
- 1.7 Estudio numérico del transporte de sedimentos en el Meandro de Quinzanas** (*Georgina Corestein, Ernest Bladé; Instituto mixto Flumen Universidad Politécnica de Cataluña*) 13

2. COMUNICACIONES LÍNEA PRIORITARIA B

HIDRODINÁMICA DE EMBALSES. GESTIÓN SOSTENIBLE DE EMBALSES

- 2.1 Influencia de la resuspensión de los sedimentos de embalses en su demanda de oxígeno disuelto** (*Miguel Martín, Carmen Hernández; IIAMA. Universidad Politécnica de Valencia*) 16

2.2 Estudio experimental de la evolución térmica en embalses: Instrumentación y trabajo de campo (<i>Marina Arbat; Martí Sánchez-Juny; Ernest Bladé; Josep Dolz; Joaquim Rabadà; Instituto mixto Flumen. Universidad Politécnica de Cataluña</i>).....	17
2.3 Ensayos a escala de laboratorio de flujos de nitrógeno desde sedimentos de embalses (<i>Miguel Martín, Carmen Hernández; IIAMA, Universidad Politécnica de Valencia</i>).....	19
2.4 Control automático en canales de riego. experiencias en el canal de Laboratorio PAC-UPC (<i>Klaudia Horváth; UPC-ETSECCPB, Instituto FLUMEN, Eduard Galvis R.; UPC-ETSECCPB. Departamento de Matemática Aplicada III, Manuel Gómez; UPC-ETSECCPB, Instituto FLUMEN, José Rodellar; UPC-ETSECCPB. Departamento de Matemática Aplicada III</i>)	20
3. COMUNICACIONES LÍNEA PRIORITARIA C	
RIESGO ASOCIADO A LA ESCORRENTÍA URBANA	
3.1 Modelación física reducida de diseños especiales en grandes colectores. caso del desvío del colector sur en el cruce con el canal de acceso del AVE (Valencia) (<i>Pedro Millán, Beatriz Nácher, Ignacio Andrés, Francisco J. Vallés; Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia</i>).....	23
3.2 Validación experimental de un modelo de aguas someras con porosidad al cálculo de la transformación lluvia-escorrentía en cuencas urbanas (<i>Marta Garrido, Luis Cea, Jerónimo Puertas, María Elena Vázquez-Cendón, Luis Pena; Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. Universidad de A Coruña. GEAMA- UDC</i>)	24
3.3 Modelación numérica tridimensional del flujo mediante técnicas CFD: aplicación al desvío del colector sur en el cruce con el canal de acceso del AVE (Valencia) (<i>Daniel Valero, Rafael García; Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia</i>).....	26
4. COMUNICACIONES LÍNEA PRIORITARIA D	
SEGURIDAD DE PRESAS. ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS	
4.1 La modelación física reducida como herramienta de optimización del diseño de estructuras hidráulicas. Caso de la presa de Terrateig (Valencia). (<i>Pedro Millán, Eduardo Albentosa, Miguel Ángel Eguibar, Ignacio Andrés, Francisco J. Vallés; Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia</i>).....	28
4.2 Simulación numérica en aliviaderos de vertido libre (<i>José María Carrillo, Luis G. Castillo; Grupo de I+D+i Hidr@m. Universidad Politécnica de Cartagena. UPCT</i>)	29
4.3 Investigación sobre la capacidad de desagüe de aliviaderos en laberinto (<i>Álvaro Acedo; Universidad Politécnica de Madrid, David Santillán; Universidad Politécnica de Madrid, Hibber Campos; Universidad Politécnica de Madrid, Rafael Morán; Universidad Politécnica de Madrid, Miguel A. Toledo; Universidad Politécnica de Madrid, Carlos Granell; Jesús Granell Ingeniero Consultor, S.L</i>)	30
4.4 Caracterización hidráulica y definición de criterios de diseño de aliviaderos con cajeros altamente convergentes (<i>León Morera; Universidad Politécnica de Madrid Hibber Campos, Universidad Politécnica de Madrid, Rafael Morán Universidad Politécnica de Madrid, Miguel Ángel Toledo; Universidad Politécnica de Madrid,</i>	

<i>Patricia Sanz; CIMNE, Fernando Salazar; CIMNE, Blanca Martínez; ALATEC, Javier Caballero; ALATEC)</i>	31
4.5 Aplicación del modelo SPH al estudio de aliviaderos escalonados. Proyecto Alivesca (<i>David López, Miguel de Blas, Roberto Marivela, Luis Balairón; Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, Martí Sánchez-Juny, Soledad Estrella; Instituto Mixto FLUMEN-UPC</i>)	33
4.6 Modelización mediante CDF de flujo quasi 2-d sobre vertederos semicirculares. Contraste con resultados experimentales (<i>Jesús Flores, Javier González; Universidad de Castilla-La Mancha. E. T. S. I. Caminos, Canales y Puertos</i>)	35
4.7 Proyecto ALIVESCA (<i>Soledad Estrella, Martí Sánchez-Juny, Juan Pomares, Josep Dolz; Instituto mixto FLUMEN – UPC, Rafael Ibáñez de Aldecoa, María Domínguez, Jesús Rodríguez; DRAGADOS S.A., Luis Balairon, David López; Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX</i>).....	37
4.8 Aplicación del modelo IBER a canales de fuerte pendiente. Calibración mediante modelo físico (<i>Juan José Rebollo, María Isabel Berga, David López; Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX</i>)	39

COMUNICACIONES LÍNEA PRIORITARIA A
**CRITERIOS HIDROMORFOLÓGICOS PARA LA RESTAURACIÓN DE ESPACIOS
FLUVIALES**

ANÁLISIS MEDIANTE MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA INTERACCIÓN EN AVENIDA DEL RÍO DUERO CON EL PUENTE MEDIEVAL DE SAN ESTEBAN DE GORMAZ Y DISEÑO DE LAS ACTUACIONES PROTECTORAS (SORIA)

Beatriz Nácher Rodríguez, Pedro Millán Romero, Eduardo Albentosa Hernández, Ignacio Andrés Doménech, Francisco J. Vallés Morán.

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia.

El puente medieval sobre el río Duero en su paso por la localidad de San Esteban de Gormaz, Soria, forma parte del Patrimonio Histórico Español y fue un elemento decisivo para la Historia de España en la Edad Media, ya que al ser uno de los pocos puentes que cruzaba el río Duero, marcaba la frontera entre los reinos cristianos y musulmanes.

El paso del tiempo y el efecto continuo del río Duero han deteriorado la estructura y degradado su entorno, por lo que se decide llevar a cabo actuaciones de ingeniería fluvial en la zona, previo análisis del comportamiento frente al caudal de diseño con sendos modelos de simulación hidráulica unidimensional y bidimensional.

En el tramo simulado, el río Duero se bifurca en dos brazos que atraviesan por margen derecha e izquierda el puente objeto de estudio, creando una isla en la zona central que constituye una zona de recreo para los habitantes de la localidad.

En primer lugar se realiza un análisis bidimensional (*figura 1*) con las aplicaciones IBER y GUAD 2D, a partir de un modelo digital del terreno (MDT) elaborado con ayuda del software ArcView, que permite una correcta representación del flujo en avenida, y del comportamiento del mismo a través de elementos donde existe más de una dirección principal. Sin embargo, los resultados aseguran un comportamiento mayoritariamente unidimensional en el entorno del puente, lo que valida los resultados de la posterior simulación unidimensional.

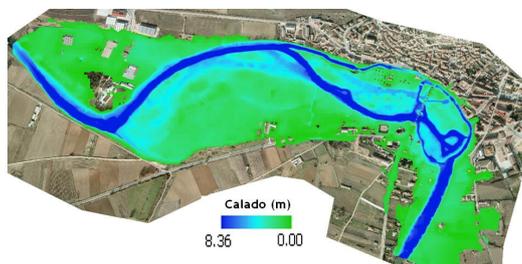


Figura 1. Resultados de la simulación bidimensional.

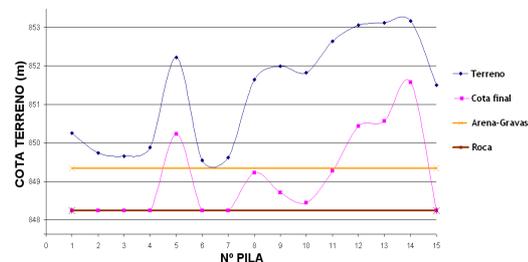


Figura 2. Estimación de la socavación.

En segundo lugar se realiza una simulación unidimensional del tramo de cauce situado en el entorno más próximo del puente mediante el software de simulación hidráulica unidimensional HEC-RAS, habiendo obtenido la geometría del terreno a partir del MDT y la extensión HEC-GeoRAS para ArcView. Esta simulación permite una estimación inicial de la socavación, que resulta significativa, y da pie a un estudio más detallado de la erosión con formulación ampliada, y particularizando a las condiciones de cada una de las pilas.

Los resultados de dicho estudio revelan serios problemas de socavación (*figura 2*) que afectan a la totalidad de la cimentación, que es de zapatas superficiales, de manera que se hace necesaria la protección de la estructura para asegurar su integridad frente al caudal de diseño.

La protección diseñada ha de adaptarse a cada una de las diferentes zonas que atraviesa el puente en el cauce, teniendo en cuenta tanto la necesidad de integración de las actuaciones con el puente y su entorno, dada la calidad de bien cultural de la estructura objeto de estudio, como el carácter de zona de recreo de la isla central. Finalmente, una solución mixta de escollera, sillares y geoceldas es la adoptada para la protección de las subestructuras del puente medieval.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD E INCERTIDUMBRE DE UN MODELO BIDIMENSIONAL DE CONTAMINACIÓN BACTERIANA

María Bermúdez, Luis Cea, Jerónimo Puertas, Luis Pena

Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. Universidad de A Coruña. GEAMA-UDC

En la actualidad, el flujo en estuarios complejos se estudia frecuentemente con la ayuda de sofisticados modelos hidráulicos y de calidad de aguas. Las predicciones de estos modelos se tratan en muchos casos como datos deterministas, a pesar de que están sujetas a incertidumbres originadas por diversas fuentes como la formulación del modelo, los parámetros del modelo, los datos de entrada y los datos de calibración. Dado que esta incertidumbre no puede ser eliminada del modelo, es necesario comprender como se propaga a través del mismo. En este sentido, es importante determinar la relevancia de los distintos procesos que están siendo modelados e identificar las principales fuentes de incertidumbre. Los análisis de sensibilidad son herramientas muy útiles para la calibrar del modelo, determinar su capacidad de predicción y establecer la fiabilidad de los resultados.

En este trabajo se presenta un análisis de sensibilidad de un modelo 2D de calidad de aguas acoplado a un modelo hidrodinámico promediado en profundidad para estuarios someros. El modelo resuelve las ecuaciones de transporte de masa para coliformes (*Escherichia Coli*), incluyendo los efectos de la temperatura del agua, la salinidad, la radiación solar, la difusión turbulenta y la dispersión por oleaje de onda corta. El modelo se aplica a la Ría de Ferrol, un estuario estrecho y poco profundo en el que se pueden producir algunos fenómenos de estratificación en verano debido a gradientes de temperatura.

Se analiza la sensibilidad de la concentración de *E. Coli* en la Ría a una serie de parámetros de entrada y a datos como la difusión turbulenta, las constantes de reacción, la temperatura del agua, la salinidad, la radiación solar, el campo de oleaje y los errores en la batimetría. En primer lugar se realiza un análisis de sensibilidad local para identificar los parámetros más relevantes. A continuación, se lleva a cabo un análisis de sensibilidad global utilizando los métodos de simulación de Monte Carlo y medidas basadas en el análisis de regresión no lineal, para ordenar los parámetros de entrada de acuerdo con su importancia en la salida del modelo. De esta forma, se identifican los parámetros más relevantes para ayudar a los usuarios del modelo en el proceso de calibración y en la interpretación de la salida.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Dirección Xeral de Investigación, Desenvolvemento e Innovación de la Xunta de Galicia (Ref. 08MDS003CT)

CALIBRACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DEL MODELO FÍSICO DEL MEANDRO DE QUINZANAS

David López⁽¹⁾, María Isabel Berga⁽¹⁾, Alba González Esteban⁽¹⁾, Georgina Corestein⁽²⁾, Ernest Bladé⁽²⁾, Juan Antonio Martín Ventura⁽³⁾

(1) *Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX*

(2) *Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya*

(3) *Confederación Hidrográfica del Cantábrico*

En el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX se está estudiando mediante modelo físico reducido a escala 1/85 la restauración hidromorfológica del Meandro de Quinzanas. En esta comunicación se presentan los trabajos realizados para la calibración sedimentológica del modelo. Para ello se está ensayando en la zona inicial del modelo, que reproduce un tramo sensiblemente recto de unos 400 m. de longitud aguas arriba del meandro.

Se ha diseñado un equipo de alimentación de sólidos automatizado con un repartidor de áridos y un tornillo sin fin, que permite aportar dosificaciones muy pequeñas con gran precisión (15 g/minuto). Además, el modelo cuenta con una trampa de áridos instrumentada con una célula de carga que permite registrar en tiempo real el peso del sedimento retenido a la salida del tramo de estudio.

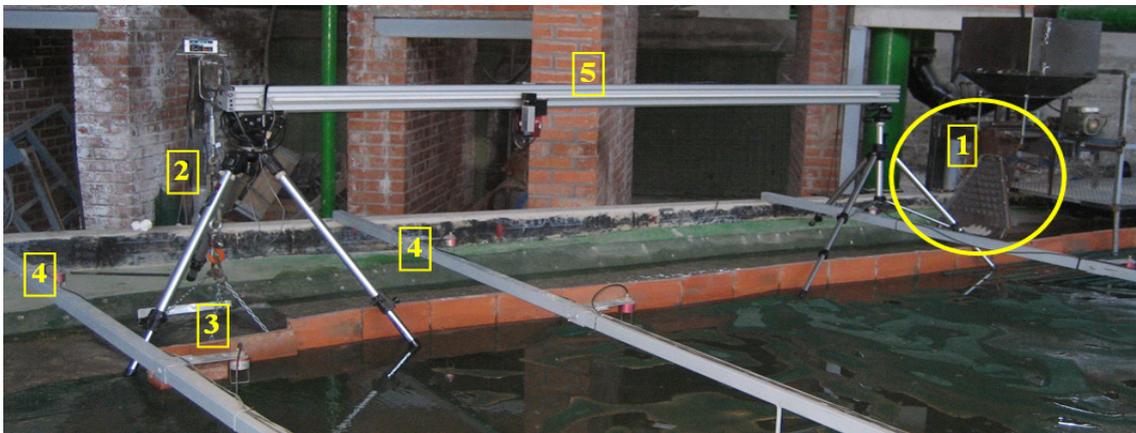
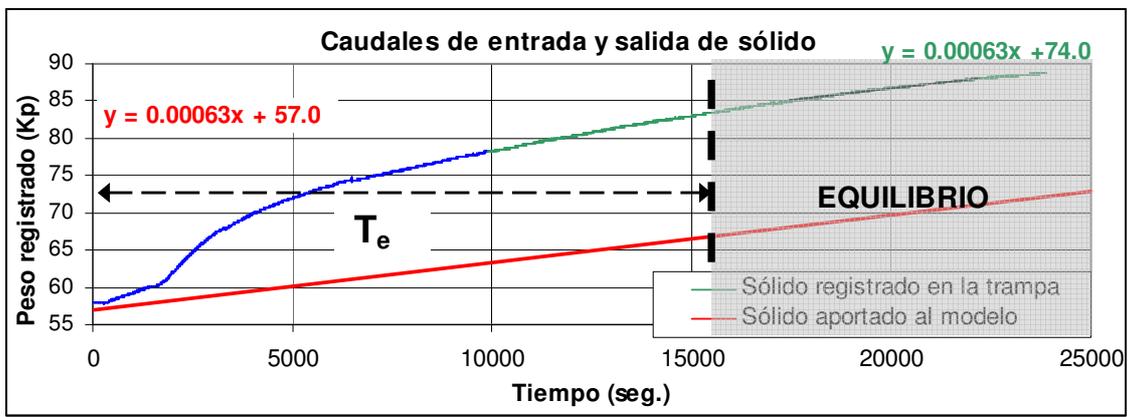
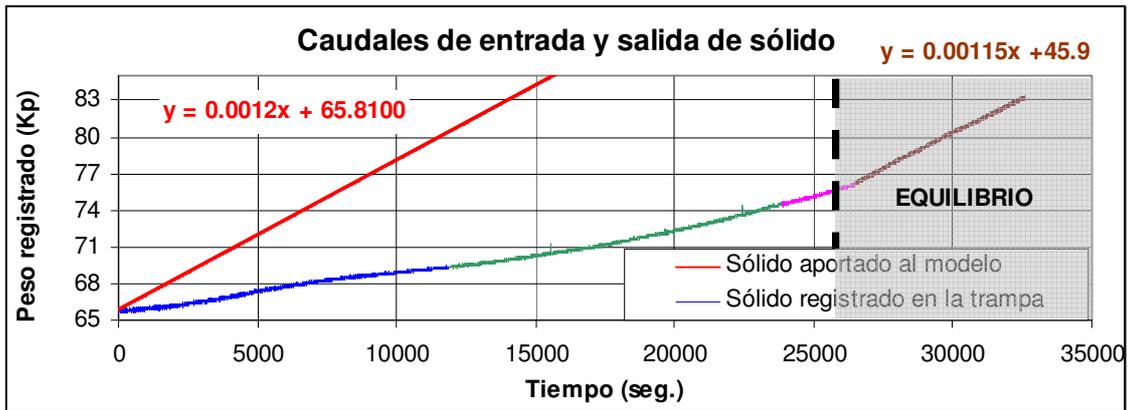
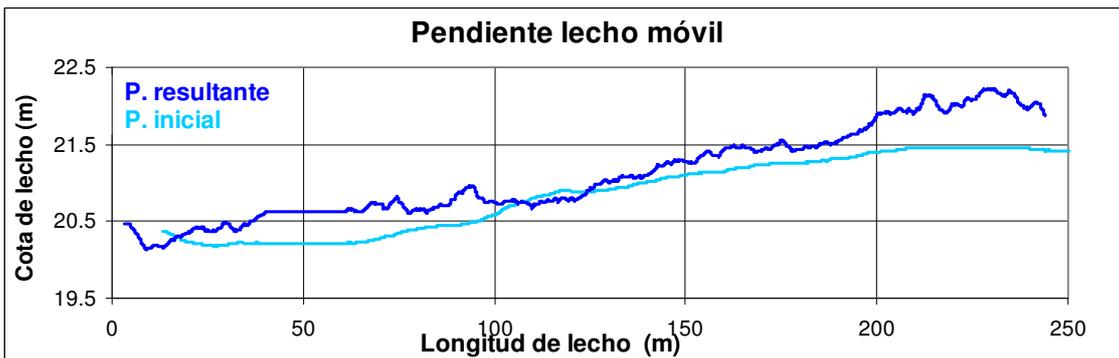


Figura 1. Fotografía de la instrumentación para los ensayos de transporte de sedimentos del tramo de estudio (1. Tornillo sin fin y repartidor de árido, 2. Célula de carga, 3. Trampa de sedimentos, 4. Limnímetros de ultrasonido y 5. Perfilómetro láser)

Determinando las condiciones hidrodinámicas como la cota de superficie de la lámina de agua (limnómetro de ultrasonidos) y la pendiente de fondo resultante (perfilómetro láser), los ensayos se prolongan en el tiempo hasta que el caudal sólido registrado en la trampa coincide con el aportado al modelo físico, momento en el cual se alcanza el equilibrio. Con estos ensayos, se está obteniendo la curva de transporte de fondo ($Q_{\text{sólido}} - Q_{\text{líquido}}$). A continuación se muestran datos obtenidos de dos ensayos en los que se ha llegado al equilibrio partiendo de sedimentación y erosión respectivamente, así como un ejemplo del perfil longitudinal del cauce en la situación inicial y de equilibrio. Cuando ambas pendientes coinciden la relación $Q_s - Q_l$ pertenece a la relación de transporte buscada.



Cuanto más próxima se encuentra la situación de partida y la de equilibrio, más corto es el tiempo de estabilización (T_e). Esto nos permite, teniendo en cuenta el tipo de curva de peso registrado y dicho T_e se puede optimizar el número y duración de los ensayos para determinar los puntos de equilibrio.



DISEÑO DE SOLUCIONES DE PROTECCIÓN FRENTE A AVENIDAS MEDIANTE MODELIZACIÓN NUMÉRICA

Ignacio Fraga, Luis Cea, Luis Pena, Jerónimo Puertas, José Piñeiro, Ignacio Maestro, Eugenia Calvo

Universidade de A Coruña. UDC

El Grupo de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, de la Universidad de A Coruña está trabajando en el análisis de soluciones frente a problemas de avenidas mediante la simulación numérica. Esta línea de trabajo se planteó a partir del estudio de inundabilidad de la localidad de Sarria. La localidad de Sarria se asienta sobre una llanura aluvial donde confluyen los ríos Celeiro y Sarria, dentro de la Cuenca del Miño-Alto Sil. En ella existen varios antecedentes de inundaciones debido a la presión urbanística sobre los márgenes del río, así como a la presencia de numerosas estructuras como puentes y azudes, que suponen obstáculos al flujo.

La CHN abordó durante el periodo 2005-2007 varios estudios que delimitaron las zonas peligrosas frente a inundaciones, además de analizarse varias alternativas de encauzamiento y reducción de la peligrosidad en el río Sarria. Como resultado de estos estudios se planteó la construcción de una presa de laminación para la avenida de 500 años del río Sarria y el encauzamiento de los ríos Sarria y Celeiro para las avenidas de 100 y 500 años respectivamente dentro de los espacios de reserva delimitados por el Plan Xeral de Ordenación Municipal

Con la nueva actuación se pretende:

- Identificar las estructuras que suponen una mayor afección, analizando los efectos de su eliminación o modificación
- Definir la geometría en planta y en alzado de las obras de defensa longitudinales necesarias (motas)

En este estudio se empleó un modelo que resuelve las ecuaciones de Saint-Venant para aguas someras mediante volúmenes finitos. El código ha sido desarrollado por la UDC y aplicado en numerosos estudios hidrodinámicos anteriormente. Las principales innovaciones introducidas en el modelo a raíz de este proyecto, en proceso de incorporación al modelo Iber, son la inclusión de puentes, los de sistemas de drenaje tipo clapeta y la definición de motas.

El modelizado de puentes se realiza mediante condiciones de contorno internas, contemplando la posible entrada en carga del mismo para alturas de lámina iguales o superiores a la cota inferior del tablero. Las clapetas se modelizan a través de términos fuente y sumidero conectados en una o dos direcciones según el esquema de funcionamiento de la clapeta correspondiente.

En el caso de las motas, se implementa una formulación en la que el flujo a través de cada cara del volumen está además condicionado a las cotas de los vértices y no sólo del elemento. De este modo no es necesario disponer de elementos a la cota de coronación de la mota, independizando la geometría del modelo de la resolución de la malla.

A raíz de las inundaciones que tuvieron lugar en enero del 2011 se realizó una comparación en las zonas afectadas con los resultados del modelo para las mismas condiciones, obteniendo buenos resultados tanto en la delimitación de zonas de riesgo como de calados.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Dirección Xeral de Investigación, Desenvolvemento e Innovación de la Xunta de Galicia (Ref. 08MDS003CT)

SIMULACIÓN HIDROLÓGICA AGREGADA Y DISTRIBUIDA, Y EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN ZONAS SEMIÁRIDAS

María Dolores Marín Martín, Luis G. Castillo Elsitdié

Grupo de I+D+i Hidr@m. Universidad Politécnica de Cartagena

Los flujos torrenciales hiperconcentrados que se presentan ocasionalmente en las ramblas de la geografía peninsular, provocan grandes inundaciones que tienen unos efectos muy destructivos sobre el medio y las personas. Para captar estos flujos es preciso la construcción de sistemas específicos de control y captación.

Con el fin de definir los parámetros de diseño requeridos para estos sistemas es imprescindible caracterizar hidrológica e hidráulicamente las cuencas, y cuantificar el transporte de sedimentos que presentan los cauces efímeros donde se situarán las estructuras. Dentro de los trabajos que realiza el grupo Hidr@m está, por una parte, caracterizar la hidrología de las zonas semiáridas mediante el empleo de programas de simulación agregada y distribuida, y por otra, validar la metodología elaborada por Castillo et al. (2000 y 2009) y Castillo (2007), generalizándola para su aplicación en estas zonas. Atendiendo a la problemática citada y basándonos en los principales resultados que de estos estudios se ha publicado (Castillo y Marín, 2010), se presentará el análisis de los principales resultados obtenidos en el cálculo hidrológico, hidráulico y de transporte de sedimentos en varias cuencas de la Rambla del Albuñón (Campo de Cartagena, Murcia).

En la caracterización hidrológica de las cuencas se han empleado dos tipos de programas diferentes: (1) el programa HEC-HMS v 3.5 (2010), del U.S. Army Corps of Engineers de los Estados Unidos, que permite la modelización agregada y semidistribuida, y (2) el programa MIKE SHE (DHI), desarrollado por el by DHI Water & Environment, que permite la modelización físicamente basada y distribuida del ciclo integral del agua, incluyendo los procesos de evapotranspiración, flujo superficial, flujo en zona no saturada, flujo subterráneo y flujo en la lámina libre, así como las interrelaciones entre ellos (Ver Figura 1).

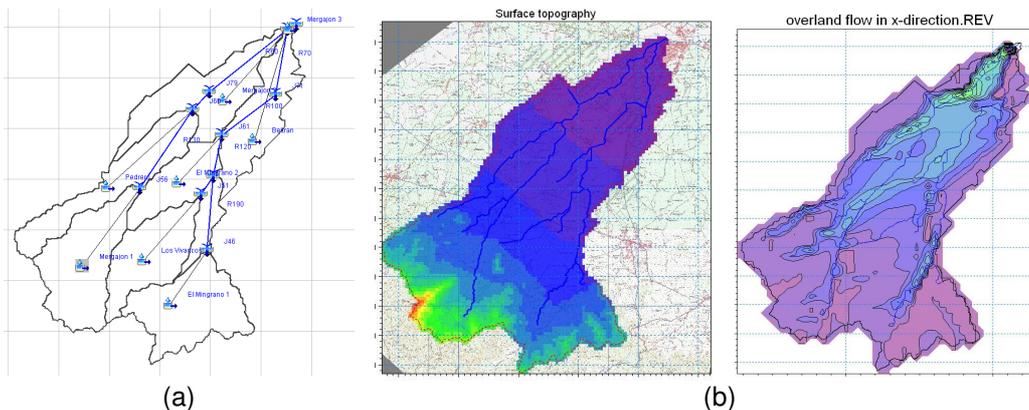


Figura 1 Modelos HEC-HMS y MIKE SHE para la Rambla del Mergajón.

En la implementación de ambos modelos se han utilizado valores de parámetros equivalentes, y se han empleado las mismas entradas de topografía y precipitación para varios periodos de retorno, tanto en distribución espacial como en temporal.

Respecto a la evaluación de transporte de sedimentos, y la caracterización hidráulica, en ambos casos se ha comprobado la validez y bondad de la metodología citada en los cauces efímeros estudiados, analizando la influencia de parámetros como la pendiente, los diámetros característicos, y el efecto de la macrorrugosidad., en el comportamiento de las diferentes cuencas.

IMPLEMENTACIÓN DEL TRANSPORTE DE MADERA (WOODY DEBRIS) EN LA SIMULACIÓN HIDRAULICA BIDIMENSIONAL DE RÍOS

V. Ruiz ⁽¹⁾, E. Bladé ⁽²⁾, M. Sánchez Juny⁽²⁾, J.M. Bodoque del Pozo⁽³⁾, A. Díez ⁽¹⁾

(1) Área de Investigación en Peligrosidad y Riesgos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid

(2) Grupo de Investigación FLUMEN. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona

(3) Departamento de Ingeniería Geológica y Minera de la Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La presencia y el transporte de restos de vegetación (*woody debris*) en los ríos influyen sobre varios aspectos de la dinámica fluvial (Montgomery, 2003). Desde un punto de vista hidrogeomorfológico, la acumulación y depósito de *woody debris* en el cauce puede originar cambios en el trazado del mismo, así como modificar la capacidad de transporte del flujo y por lo tanto la sedimentación y la erosión. Desde un punto de vista ecológico, las grandes acumulaciones de estos materiales (*woody jams*) pueden generar la formación de pequeños ecosistemas y mejorar las condiciones para el equilibrio de ciertas especies. Pero es sin duda, desde el punto de vista de su peligrosidad por su transporte durante las avenidas e inundaciones uno de los aspectos más relevantes. Sin embargo son muy pocos los estudios que se han llevado a cabo para incorporar este fenómeno en los estudios de peligrosidad y riesgo por inundaciones (Mazzorana et al., 2011), y actualmente no existe en el mercado ninguna herramienta que permita simular conjuntamente con la hidrodinámica y otros procesos fluviales (transporte de sedimentos, turbulencia etc.) el transporte de *woody debris*.

Por lo tanto, uno de los objetivos de este trabajo es desarrollar un modelo numérico implementado en el modelo bidimensional IBER (desarrollado conjuntamente por el CEDEX, el CIMNE, el GEAMA de la UdC y el grupo de Investigación Flumen de la UPC) para la simulación del transporte de madera en ríos.

ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE WOODY DEBRIS

El inicio del movimiento de una pieza de madera (suponiendo ésta como un cilindro) situada en un cauce se determina mediante el análisis de las fuerzas que actúan sobre él. Por un lado, la fuerza gravitacional (F_g) y la fuerza de arrastre (F_d) que facilitan el movimiento:

$$F_g = F_w \cdot \sin \alpha = (g \cdot \rho_w \cdot L_w \cdot A_w - g \cdot \rho \cdot L_w \cdot A_{sub}) \cdot \sin \alpha$$
 siendo F_w el peso, g la gravedad, α la pendiente, ρ la densidad del agua y A_w el área del tronco.

$F_d = -U^2 / 2 \cdot \rho_w \cdot C_d \cdot (L_w \cdot h \cdot \sin \theta + A_{sub} \cdot \cos \theta)$ donde A_{sub} es el área

sumergida del tronco: $A_{sub} = [2 \cdot \cos^{-1}(1 - 2 \cdot h / D_w) - \sin(2 \cdot \cos^{-1}(1 - 2 \cdot h / D_w))] \cdot D_w^2 / 8$

Y por otro lado la fuerza de rozamiento o fricción (F_f) que se opone al movimiento:

$$F_f = F_n \cdot \mu_{bed} = F_w \cdot \cos \alpha \cdot \mu_{bed} = (g \cdot \rho_w \cdot L_w \cdot A_w - g \cdot \rho \cdot L_w \cdot A_{sub}) \cdot \mu_{bed} \cdot \cos \alpha$$

La velocidad del flujo correspondiente a $F_g + F_d / F_f = 1$ se denomina velocidad límite o umbral de

$$\text{inicio del movimiento: } U_{lim}^2 = \frac{(g \cdot \rho_w \cdot (\pi \cdot L_w \cdot D_w^2 / 4) - (g \cdot \rho \cdot A_{sub} \cdot L_w)) \cdot (\mu_{bed} \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)}{(0.5 \cdot C_d \cdot \rho \cdot (L_w \cdot h \cdot \sin \theta + A_{sub} \cdot \cos \theta))}$$

Así en función de la densidad de la madera (ρ_w), su longitud (L_w) y diámetro (D_w), el ángulo que forma con respecto al flujo (θ), las condiciones hidrodinámicas del flujo (calado (h) y campo de velocidades) y unos coeficientes de fricción con el lecho y de arrastre (μ_{bed} y C_d) una pieza de madera iniciará su movimiento y se desplazará, bien por flotación (a la misma velocidad que el agua) o si se supera la velocidad límite, por rodadura o arrastre de fondo (a una velocidad diferente a la del agua).

RESULTADOS PRELIMINARES

Los resultados obtenidos hasta el momento permiten simular y analizar el transporte de piezas individuales de diferentes características desplazándose mediante los diferentes regimenes de movimiento: flotación, rodadura o arrastre (un ejemplo se muestra en la Figura 1).

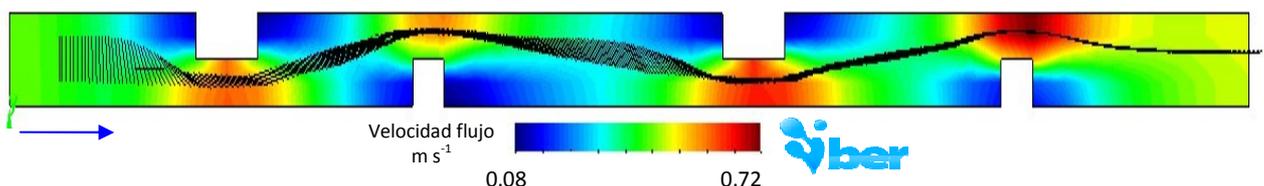


Figura 1: Una pieza de madera colocada perpendicular al flujo comienza a moverse por flotación y se va orientando en función del campo de velocidades hasta la posición más favorable hidrodinámicamente, paralela a la corriente (las líneas negras representan la trayectoria del tronco).

Se está trabajando actualmente en la interacción entre varios *woody debris*, y entre estos y obstrucciones en el cauce o secciones críticas, como puentes, y su influencia en la hidrodinámica, especialmente el aumento en el calado, modificación en la rugosidad y variaciones en el campo de velocidades. Todo esto permitirá incorporar el transporte de *woody debris* al análisis de peligrosidad y riesgo por inundación.

Referencias Bibliográficas:

- Mazzorana, B., Hübl, J., Zischg, A., Largiader, A. (2011). Modelling woody material transport and deposition in alpine rivers. *Natural Hazards* 56, 425-449.
- Montgomery, D. (2003). Wood in rivers: interactions with channel morphology and processes. *Geomorphology*, 51, 1-5.

ESTUDIO NUMÉRICO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL MEANDRO DE QUINZANAS

Georgina Corestein⁽¹⁾, Ernest Bladé⁽¹⁾, Alba González, David López⁽²⁾

(1) Instituto mixto Flumen – UPC

(2) Centro de Estudios Hidrográficos – CEDEX

1. Introducción

El Instituto mixto Flumen UPC es, junto con el CEDEX y el GEAMA, impulsor del proyecto IBER, del cual es una parte importante la herramienta de simulación hidrodinámica y morfológica llamada también IBER. Esta herramienta ha sido empleada con éxito en estudios aplicados a ámbitos diversos como la dinámica de ríos y embalses, inundabilidad de áreas urbanas y efecto de mareas.

Uno de estos estudios fue el que se realizó en colaboración con Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) del CEDEX sobre la morfodinámica del Meandro de Quinzanas en el río Narcea. Este tramo del río sufrió numerosas alteraciones durante los años 80 y 90 y esto afectó de manera evidente su comportamiento desde el punto de vista morfodinámico.

En esta comunicación se presentan los trabajos que se están realizando para la creación de un modelo numérico del Meandro de Quinzanas, que sea capaz de reproducir el transporte de sedimento de fondo usando la herramienta de modelación numérica IBER.

2. Metodología

En el laboratorio de hidráulica del CEH se están realizando ensayos de transporte de sedimentos en modelo físico enfocados a determinar una relación de arrastre para este modelo. Para estos ensayos se trabaja sobre el tramo recto del cauce que se ubica justo antes de inicio del meandro.

Estos ensayos suponen un buen banco de pruebas para calibrar el módulo de transporte de sedimentos del modelo IBER. Por este motivo se están realizando simulaciones en las que se busca reproducir los ensayos de laboratorio, es decir llegar al equilibrio entre el caudal sólido aportado y el registrado a la salida.

Se realizan dos grupos de simulaciones, el primer grupo empleando un canal rectangular idealizado de 55 m de ancho, 400 m de largo y fondo plano con una pendiente de 0.2%. El segundo grupo con una geometría que representa la topografía del modelo físico.

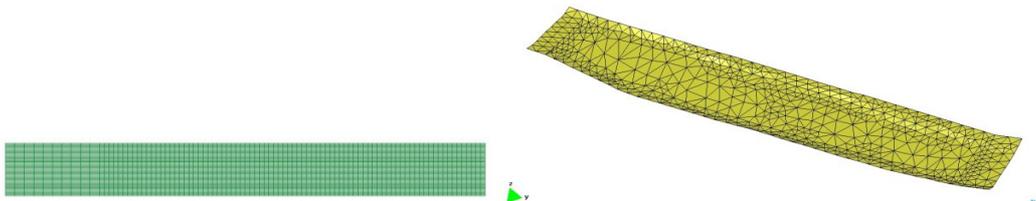


Figura 1: Mallas empleadas para las simulaciones. A la izquierda canal rectangular, a la derecha modelo de la zona empleada en los ensayos.

3. Resultados

De las simulaciones realizadas se han obtenido resultados de interés. La Figura 2 corresponde a una simulación en la geometría simplificada, empleando un caudal líquido de $850 \text{ m}^3/\text{s}$, un caudal sólido de $0.086 \text{ m}^2/\text{s}$ y como ecuación de transporte la expresión de Meyer-Peters & Müller. En esta figura se muestra la evolución temporal del caudal sólido acumulado en tres puntos: el inicio de la geometría en azul, el inicio de la zona de fondo móvil en lila, celeste y rojo, y la salida del modelo en verde. Como se observa no se consigue el equilibrio entre la entrada y la salida pero si se observa una tendencia que invita al optimismo.

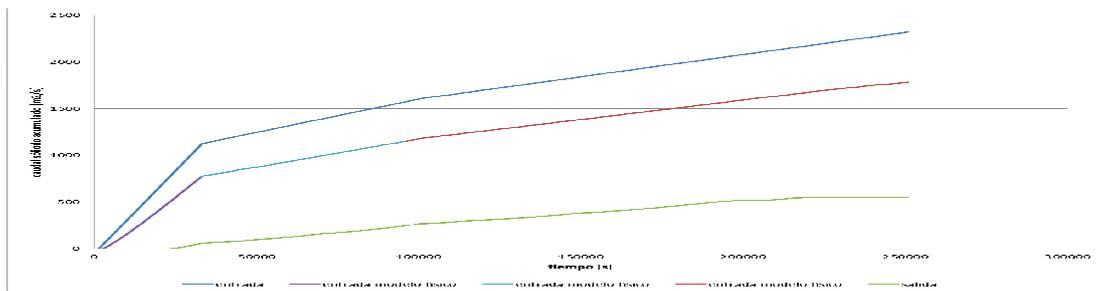


Figura 2: Caudal sólido acumulado. Canal rectangular usando MP&M y aporte de sedimentos por sedimentograma.

Se están realizando también simulaciones empleando la geometría del modelo físico y en este caso además de las condiciones de cálculo empleadas anteriormente se estudia la situación de aporte de sedimentos definido por la capacidad de arrastre de la hidrodinámica.

4. Comentarios finales

Se ha modelado satisfactoriamente el tramo del río Narcea coincidente con el meandro de Quinzanas.

El uso de la información que proporcionan los ensayos de laboratorio realizados en el modelo físico permitirá validar IBER, calibrándolo para reproducir los ensayos y obtener así una herramienta eficaz para la predicción de los efectos de diversas avenidas.

Bibliografía

Georgina Corestein, Ernest Bladé, Cristina Lechuga, M^a. Isabel Berga, Alba González (2010). *Estudio experimental y numérico del Meandro de Quinzanas (Asturias). Congreso Latinoamericano de Hidráulica (Uruguay)*

Flumen (2009) "Estudio mediante un modelo matemático del meandro de Quinzanas en el río Narcea (Asturias)". *Convenio de colaboración entre el Centro de Estudios de Experimentación de obras Públicas i la Universitat Politècnica de Catalunya. Informe Final.*

IBER (2010) www.iberaula.es

Bladé, E., Gómez-Valentín, M. (2006). *Modelación del flujo en lámina libre sobre cauces naturales. Análisis integrado en una y dos dimensiones. Monograph CIMNE N°97.*

Wong, M., Parker, G. (2006). "Reanalysis and Correction of Bed-Load Relation of Meyer-Peter and Müller Using Their Own Database." *Journal of Hydraulic Engineering* 132(11): 1159-1168.

COMUNICACIONES LÍNEA PRIORITARIA B:
HIDRODINÁMICA DE EMBALSES. GESTIÓN SOSTENIBLE DE EMBALSES

INFLUENCIA DE LA RESUSPENSIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE EMBALSES EN SU DEMANDA DE OXÍGENO DISUELTO

Miguel Martín, Carmen Hernández

IIAMA. Universidad Politécnica de Valencia

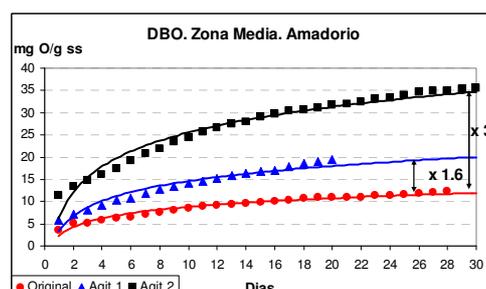
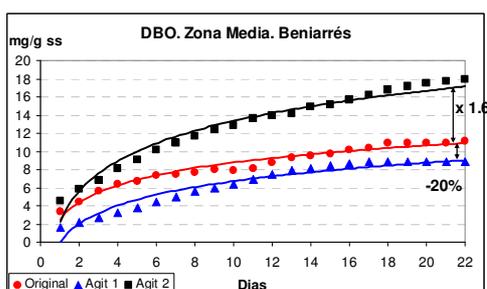
El objetivo del presente trabajo es el de averiguar si la resuspensión de los sedimentos de los embalses modifica las características de los mismos, magnificando o reduciendo algunos de los efectos que modifican la calidad de las aguas. En concreto, se ha estudiado la posible modificación de su demanda de oxígeno. La demanda de oxígeno del sedimento (DOS) está asociada a tres procesos principales: la oxidación de los sulfuros, la nitrificación biológica (DBON) y la biodegradación carbonosa (DBOC). Habitualmente, se identifica la DOS como un flujo, esto es, una transferencia de oxígeno por unidad de tiempo y superficie. Siendo ese aspecto ya estudiado previamente por los autores, se ha enfocado el presente trabajo empleando la metodología clásica de determinación de la DBO mediante respirometrías.

Se dispone de nueve muestras de sedimentos superficiales obtenidas en tres puntos (cola, medio y presa) de tres embalses (Beniarrés, Amadorio y Guadalest). De cada una de ellas se toman unos 200 g húmedos y se depositan en el fondo de un vaso de precipitados de 1 litro. Se adicionan 800 ml de agua potable desclorada y se dejan en reposo. Para cada una de las muestras de cada vaso se realizan tres DBO en tres momentos temporales distintos:

- La primera DBO se realiza con el sedimento que se acaba de ubicar en el vaso: se cogen 4 g de sedimento húmedo en 250 ml de agua y se realiza el ensayo.
- Después de 13 días en reposo los vasos se agitan durante una hora, la concentración de SST aproximada es de 100 g/l. Antes de cesar la agitación se retiran 50 ml de la mezcla y se añaden a ella 200 ml de agua para generar los 250 ml de agua para la segunda DBO.
- Transcurridos otros 20 días en reposo se repite la operación anterior para generar los 250 ml de agua para la tercera DBO.

La duración del ensayo de DBO es de entre 25 y 30 días, en función de si se observa que alcanza el estado estacionario o no. No se añaden sustancias inhibitoras de la nitrificación ni se inoculan fangos biológicos externos para activar el proceso: se deja que la biodegradación evolucione de forma natural.

Los resultados que se esperan son que las DBO sucesivas vayan disminuyendo desde la primera hasta la tercera, ya que la materia orgánica carbonosa (biodegradación carbonosa) y la nitrosa (nitrificación) en los vasos va a ir reduciéndose durante el mes que dura el ensayo. Los resultados, por el contrario, muestran incrementos en las DBO bien en la segunda DBO (Guadalest), bien en la tercera (Beniarrés), bien en ambas (Amadorio). Los resultados parecen indicar que la resuspensión de sedimentos provoca alteraciones que modifican de manera significativa y negativa el impacto que éstos tienen sobre el medio, por lo que no solo es importante caracterizarlos previamente, sino hacer un seguimiento de los mismos si, por cuestiones relacionadas con su gestión se planteara su reubicación dentro del propio embalse.



ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EVOLUCIÓN TÉRMICA EN EMBALSES: INSTRUMENTACIÓN Y TRABAJO DE CAMPO

Marina Arbat, Martí Sánchez-Juny; Ernest Bladé, Josep Dolz, Joaquim Rabadà

Instituto mixto Flumen - UPC

1. Introducción

El Instituto mixto Flumen UPC lleva estudiando la hidrodinámica de embalses desde hace más de 15 años por lo que ya dispone de una extensa red de medidas (mediante instrumentación fija y campañas de campo) así como gran cantidad de datos y experiencia en el campo de la instrumentación de ríos y embalses. Algunos ejemplos particulares de estudios realizados son: balances térmicos de varios tramos del río (*Prats et al., 2010*), incidencia del sistema de embalses (Mequinenza-Ribarroja-Flix) en el tramo bajo del río Ebro; incidencia de la presencia de las centrales térmicas a la temperatura del río (*Prats et al., 2011*), dinámica sedimentaria del embalse (*Dolz et al. 2009, Arbat et al. 2010*),...

En esta comunicación se presentan la instrumentación, las campañas de campo y la metodología utilizadas con tal de estudiar la evolución térmica de embalses: los puntos de medida y la instrumentación que se ha diseñado para las campañas, así como una valoración de los métodos y los resultados obtenidos hasta el momento en los embalses en que Flumen está trabajando.

Como ejemplos prácticos se presentan la campaña realizada durante el periodo 2007-2010 en el embalse de Ribarroja de Ebro (curso medio-bajo del río Ebro) y también el diseño e implementación de la monitorización que se está realizando en el embalse de Sau situado en el río Ter (iniciado en mayo de 2011).

2. Embalse de Ribarroja de Ebro

Durante este tiempo se han realizado varias campañas de campo para evaluar la evolución y las características de la calidad del agua a lo largo del embalse de Ribarroja (*Arbat et al., 2009*), los datos obtenidos en estas campañas han sido de gran utilidad tanto para conocer el comportamiento del río Ebro como para para gestionar y modelizar su evolución (*Arbat et al., 2009*).

La instrumentación instalada consistía en:

- a) Plataforma multiparamétrica flotante (parte emergida) para el estudio de la meteorología del embalse (in situ): sensores de temperatura, humedad relativa, radiación incidente, radiación reflejada, velocidad y dirección del viento. Frecuencia: 10 minutos.
- b) Plataforma multiparamétrica flotante (sonda multiparamétrica sumergida), tomando medidas a varias profundidades: sensores de temperatura del agua, velocidad y dirección del agua, pH, conductividad y oxígeno disuelto. Frecuencia: un perfil cada 6 horas.
- c) Boya flotante (aproximadamente en el punto medio del embalse) con una cadena de termistores (fijos a varias profundidades, profundidad máxima 20 m). Frecuencia: 10 minutos.
- d) Sensores de temperatura y presión en varios puntos en (entradas y salidas del embalse). Frecuencia: 10 minutos.

3. Embalse de Sau

El embalse de Sau (en el río Ter) es bastante más profundo que el de Ribarroja (más de 40 m de profundidad máxima mientras que Ribarroja llega a unos 24 m), también sufre más variaciones de nivel que el caso anterior; por lo que el diseño de la instrumentación y su instalación se tuvo que adaptar a las nuevas condiciones. Se decidió hacer una campaña centrada únicamente en la evolución de la temperatura del agua (Arbat et al., 2011), por lo que se decidió no utilizar la sonda multiparamétrica instalada en la plataforma flotante. Además el embalse de Sau ya dispone de una estación meteorológica (situada al lado de la presa) que funciona correctamente.

Se instalaron sensores de temperatura-presión en los puntos aguas arriba del embalse (donde aún funciona como un río) y en la torre de toma (para medir la temperatura de salida).

Para los tramos intermedios, en dos puntos, se ha utilizado el mismo esquema de colgar una cadena de termistores de una boya (centrada aproximadamente en medio del embalse). También se van realizando perfiles de otras variables de calidad del agua periódicamente (distribución de velocidades, conductividad, oxígeno disuelto o pH).

4. Comentarios finales

A lo largo de los estudios se han tenido que cambiar diseños iniciales, reparaciones y cambios de la instrumentación, además se han encontrado problemas debidos a las inclemencias meteorológicas, fallos de la instrumentación, falta de cobertura para mandar los datos vía GSM, errores de medida, vandalismo/robo de instrumentación, errores de calibración, o casos en que a partir de cierta profundidad el sensor no toma bien la medida debido a la presión del agua. Todos estos problemas se han ido sorteando y arreglando en la medida de lo posible.

Con todo, se dispone de una base de datos de medidas de campo extensa y de gran calidad que se ha utilizado (y se está utilizando) para estudios de la evolución térmica de embalses. Además también servirá para la puesta a punto de un modelo hidrodinámico y térmico tridimensional para embalses.

Referencias bibliográficas

- Arbat, M., Sánchez-Juny, M., Bladé, E., & Dolz, J. (2009). *Modelación bidimensional del Embalse de Ribarroja de Ebro con CE-QUAL-W2*. Jornadas de Ingeniería del Agua (Madrid).
- Arbat, M., Bladé, E., Pourcq, K. D., Dolz, J., López, P., Armengol, J., et al. (2010). *Dinámica sedimentaria del extremo aguas arriba del embalse de Ribarroja (río Ebro)*. II International Congress on Dam Maintenance and Rehabilitation (Zaragoza).
- Arbat, M., Sánchez-Juny, M., & Dolz, J. (2011). *Estudi en model numèric de la hidrodinàmica de l'embassament de Sau. Anàlisi previ*. Estudio realizado a petición de Aigües Ter-Llobregat (Barcelona).
- Dolz, J., Armengol, J., Roura, M., De Pourcq, K., Arbat, M., & López, P. (2009). *Estudio de la dinámica sedimentaria y batimetría de precisión del embalse de Ribarroja*. Estudio realizado por el Gupo Flumen a petición de la Confederación Hidrográfica del Ebro (Barcelona).
- Prats, J., Val, R., Armengol, J., & Dolz, J. (2010). *Temporal variability in the thermal regime of the lower Ebro River (Spain) and alteration due to anthropogenic factors*. Journal of Hydrology, 387(1-2), 105-118. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.04.002.
- Prats, Jordi, Joan Armengol, Rafael Marcé, Martí Sánchez-Juny & Josep Dolz. (2011). *Dams and Reservoirs in the Lower Ebro River and Its Effects on the River Thermal Cycle*. doi:10.1007/698.

ENSAYOS A ESCALA DE LABORATORIO DE FLUJOS DE NITRÓGENO DESDE SEDIMENTOS DE EMBALSES.

Miguel Martín Monerri, Carmen Hernández Crespo

IIAMA, Universidad Politécnica de Valencia

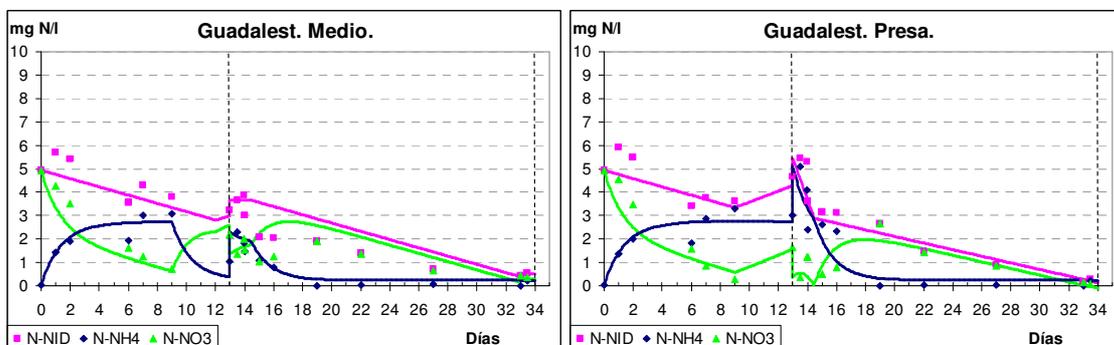
Para la elaboración de modelos de calidad de aguas en donde los procesos de eutrofización pueden jugar un papel relevante, es necesario contar con los intercambios de nutrientes con los sedimentos. Dada la escasez de este tipo de información en los embalses de nuestro país, se han llevado a cabo una serie de ensayos sencillos que al menos puedan proporcionar una aproximación en el orden de magnitud de los flujos. Los resultados se aplican en los modelos de calidad de aguas elaborados para los embalses de Beniarrés, Amadorio y Guadalest.

La descripción del montaje experimental se puede consultar en “Influencia de la resuspensión de los sedimentos de embalses en su demanda de oxígeno disuelto” en este mismo documento. En los nueve vasos descritos se tomaron muestras de agua para analizar nitrógeno total, nitrógeno amoniacal y nitratos. El periodo de estudio fue de 33 días.

Los flujos fueron determinados a partir del planteamiento de dos modelos sencillos: uno para el nitrógeno amoniacal y otro para los nitratos:

$$V \frac{d[NH_4^+]}{dt} = FlujoNH_4^+ A - k_{nit} [NH_4^+] V \quad V \frac{d[NO_3^-]}{dt} = FlujoNO_3^- A + k_{nit} [NH_4^+] V$$

en los que el único proceso considerado además de los flujos es la nitrificación del nitrógeno amoniacal. Los resultados fueron obtenidos a partir de la calibración de los modelos. La simulación se realiza en estado transitorio. En las figuras siguientes se muestran los valores obtenidos experimentalmente (puntos) y los simulados (líneas) en dos muestras del embalse de Guadalest:



El proceso de calibración ha llevado a establecer flujos de $N-NH_4^+$ y $N-NO_3^-$ variables en el tiempo debido fundamentalmente a los cambios que se producen conforme se oxida la capa superior del sedimento. En ambos casos, los flujos de $N-NH_4^+$ asignados son de $170 \text{ mg N/m}^2 \text{ d}$ desde el inicio del experimento hasta el día número 9 y de $10 \text{ mg N/m}^2 \text{ d}$ a partir de ese momento. Estos valores corresponderían a condiciones anaerobias en el sedimento en el primer caso y con la formación de la capa aerobia del sedimento en el segundo caso. Los flujos de nitratos son siempre negativos, lo que refleja la capacidad de desnitrificación que ejercen los sedimentos. Los valores son de $-185 \text{ mg N/m}^2 \text{ d}$ en el primer periodo en ambos puntos, pero en el segundo periodo el valor es de $-150 \text{ mg N/m}^2 \text{ d}$ para la presa y de $-30 \text{ mg N/m}^2 \text{ d}$ para la zona media. Los máximos valores obtenidos son de $250 \text{ mg N-NH}_4^+/\text{m}^2 \text{ d}$ para la zona de la cola del embalse de Beniarrés, pero con una duración de tan sólo un día; mientras que en el embalse de Amadorio los flujos iniciales son de $70-80 \text{ mg N-NH}_4^+/\text{m}^2 \text{ d}$ y $-125 - -150 \text{ mg N-NO}_3^-/\text{m}^2 \text{ d}$. También se ha observado una relación bastante marcada entre el flujo en los primeros instantes y la concentración inicial en el agua intersticial del sedimento y algo menor entre la $DBO_{límite}$ del sedimento y los días que dura el flujo inicial.

CONTROL AUTOMÁTICO EN CANALES DE RIEGO. EXPERIENCIAS EN EL CANAL DE LABORATORIO PAC-UPC

Klaudia Horváth⁽¹⁾, Eduard Galvis R.⁽²⁾, Manuel Gómez Valentín⁽¹⁾, José Rodellar Benede⁽²⁾

(1) *UPC-ETSECCPB. Instituto FLUMEN*

(2) *UPC-ETSECCPB. Departamento de Matemática Aplicada III*

1. INTRODUCCIÓN

El control automático de canales de riego facilita la satisfacción de las necesidades de los regantes y también disminuye la pérdida de agua y los costos a largo plazo del sistema de riego. En la práctica se suelen utilizar los algoritmos de control más comunes, como PID. sin embargo, actualmente existen otros algoritmos más sofisticados que se pueden aplicar. Algunos de ellos se han comprobado mediante simulación numérica, pero muy pocos de ellos han sido probados en la realidad o en modelos a escala. En este trabajo se muestra la utilidad de una instalación que combina el modelado numérico y la verificación de los algoritmos de control en el laboratorio.

2. EL CANAL DE LABORATORIO PAC - UPC

El denominado canal PAC-UPC (Canal de Prueba de Algoritmos de Control – Universitat Politècnica de Catalunya) se encuentra en el Campus Nord de la UPC. El canal tiene una longitud de 220 metros, con un caudal circulante de hasta 100 l/s. El retardo –tiempo en el que el agua llega desde aguas arriba hasta aguas abajo – es un parámetro significativo de los canales. El PAC-UPC tiene una longitud que permite un retraso notable, y por lo tanto, se comporta como los canales de riego reales.

Dispone de tres compuertas motorizadas y varios puntos de derivación (vertederos). Se puede utilizar diferentes configuraciones: de una a tres tramos de canal. Esto significa que permite simular modelos de una entrada/una salida (SISO) y configuraciones de múltiples entradas/múltiples salidas (MIMO).



Figura 1. UPC-PAC (Canal de Prueba de Algoritmos de Control – Universitat Politècnica de Catalunya)

Hay 9 sensores de nivel de agua y tres compuertas motorizadas cuya abertura está regulada a partir de un SCADA. El sistema recibe como entradas las señales de nivel y la posición de las compuertas. Las señales de salida permiten cambiar la posición de las compuertas. Los caudales se miden a partir de las relaciones hidráulicas de las compuertas y vertederos. Los datos se procesan por un SCADA propio desarrollado en el entorno MatLab. En este sentido,

cualquier nuevo algoritmo de control se puede instalar y probar fácilmente. Más información sobre el canal PAC y algunos algoritmos analizados en Sepulveda.¹

3. MODELO NUMÉRICO DEL CANAL

El modelo numérico del canal se desarrolla con la ayuda del código SIC² (Simulación de canales de riego), desarrollado por el Cemagref. Reproduce las principales características del canal y está equipado con la posibilidad de probar algoritmos de control.

Inicialmente, se pueden realizar estudios numéricos y posteriormente pruebas de laboratorio. Así se pueden evaluar las características de cualquier nuevo algoritmo de control. Dado que el SIC también puede trabajar enlazado con Matlab, el mismo archivo del algoritmo de control puede ser empleado tanto para las pruebas numéricas como las de laboratorio.

4. CONTROL AUTOMÁTICO DEL CANAL

a. Identificación del sistema

Para la identificación del canal, pensando en el objetivo de diseñar controladores automáticos, se han obtenido modelos lineales sencillos, cuyos resultados se han comparado con las medidas sobre el canal. Se han utilizado tres modelos: Muskingum, Hayami e Integrador de Retardo Zero (IDZ por sus siglas en inglés). Cada uno de los tramos se ha modelado de forma independiente y así diferentes estrategias de control se pueden desarrollar basadas en estos modelos.

b. Algoritmos del control automático

Como ejemplo práctico, se ha usado el modelo Muskingum para implementar un controlador predictivo, considerando como variable de control, la abertura de la compuerta aguas arriba y como variable controlada, el caudal aguas abajo.

También se han incorporado controladores de acción Proporcional Integral (PI) para los tres tramos del canal, basados en los modelos mencionados. En estos controladores, la variable de control es el nivel aguas abajo y la variable controlada, la abertura de las compuertas aguas arriba.

5. RESULTADOS

Diversos controladores automáticos se han usado en el canal PAC-UPC, incluso algunos de ellos en trabajos conjuntos con la Confederación Hidrográfica del Ebro, para sintetizar y realizar pruebas con diferentes estrategias de control que posteriormente se pueden poner en funcionamiento en canales reales. El canal PAC-UPC es una herramienta diseñada para el desarrollo y comprobación por cualquier usuario de sus algoritmos de control y que puede ser usado de manera versátil para muy diversas aplicaciones de control automático de sistemas en el contexto general de cualquier estudio hidráulico.

6. REFERENCIAS

[1] SEPULVEDA, C., 2008. Instrumentation, model identification and control of an experimental irrigation canal., Tesis Doctoral UPC

[2] P.O. MALATERRE, J.P. BAUME. SIC 3.0, a simulation model for canal automation design, RIC'97 International workshop on regulation of irrigation canals: state of art research and applications, April 22-24 1997, Marrakech, Morocco, 1997a

COMUNICACIONES LÍNEA PRIORITARIA C
RIESGO ASOCIADO A LA ESCORRENTÍA URBANA

MODELACIÓN FÍSICA REDUCIDA DE DISEÑOS ESPECIALES EN GRANDES COLECTORES. CASO DEL DESVÍO DEL COLECTOR SUR EN EL CRUCE CON EL CANAL DE ACCESO DEL AVE (VALENCIA)

Pedro Millán Romero, Beatriz Nácher Rodríguez, Ignacio Andrés Doménech, Francisco J. Vallés Morán

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia

Las obras de los nuevos túneles de acceso ferroviario de la Línea de Alta Velocidad (LAV) a Valencia están suponiendo obras adicionales de desvío y reposición de numerosos servicios, entre los que se encuentra parte de la red de colectores de la capital del Turia.

En particular, el caso objeto del estudio es la interferencia de estos túneles con un tramo del Colector Sur. El trazado de este tramo de colector, que con una capacidad máxima de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ es parte integrante de la red principal de la ciudad, se caracteriza por los fuertes condicionantes geométricos con los que debe cumplir, pues discurre por una trama urbana consolidada. Además, sus dimensiones dificultan todavía más el planteamiento de trazados alternativos.

Por tanto, el cruce del canal de acceso de la LAV con el Colector Sur de Valencia obliga a un nuevo diseño del tramo afectado. La solución adoptada combina geometrías complejas con soluciones hidráulicas especiales: curvas en planta, transiciones de secciones ovoideas a rectangulares, caídas localizadas en alzado, elementos de macrorrugosidad para estabilización del resalto hidráulico provocado por un perfil WES, etc.

Con un diseño tan singular, resulta imprescindible el análisis del comportamiento hidráulico sobre modelo físico reducido. La aplicación de los criterios básicos de semejanza de Froude, junto con las condiciones límite físicas, técnicas y económicas de aplicación de aquéllos, permite concluir que la escala geométrica no distorsionada 1/20 es perfectamente válida para estudiar los problemas hidráulicos planteados mediante modelación física.

De los ensayos realizados sobre el modelo físico reducido se desprende que el resalto hidráulico queda perfectamente fijado en el cuenco amortiguador, de manera que la transición final de entronque con el colector existente aguas abajo de sección ovoide funciona siempre en régimen subcrítico (figura 1). También se observa que el calado crítico en cabecera del perfil WES es del orden de 2/3 del teórico, valor ampliamente contrastado por la experiencia. Asimismo, se corrobora que el resguardo admisible en la reposición no se ve comprometido por el efecto del peralte de la lámina libre en la alineación curva contemplada en el nuevo diseño.



Figura 1 Subtramo aguas abajo del perfil WES (Caudal de diseño)

Los resultados obtenidos en los ensayos sobre modelo físico sancionan el nuevo diseño del tramo afectado, y permiten afirmar que dicho diseño representa una solución técnicamente viable e hidráulicamente óptima desde el punto de vista de su funcionamiento, tanto para el caudal de diseño ($100 \text{ m}^3/\text{s}$) como para todo el rango de caudales que pueden circular en lámina libre por este tramo del Colector Sur.

VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE UN MODELO DE AGUAS SOMERAS CON POROSIDAD AL CÁLCULO DE LA TRANSFORMACIÓN LLUVIA-ESCORRENTÍA EN CUENCAS URBANAS

Marta Garrido, Luis Cea, Jerónimo Puertas, María Elena Vázquez-Cendón, Luis Pena

Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. Universidad de A Coruña. GEAMA-UDC

Los modelos hidrodinámicos bidimensionales tienen cada vez más aplicación en cálculos de transformación lluvia-escorrentía en cuencas urbanas. Estos modelos permiten calcular el volumen de escorrentía y, al mismo tiempo, las velocidades y calados en toda la superficie de la cuenca. Cuando el flujo circula a través de zonas urbanas debe tenerse especial cuidado en la definición de la zona y de los parámetros del modelo, por tener efectos significativos en el desarrollo de la inundación. Este efecto de las zonas urbanizadas sobre el desarrollo del flujo puede tenerse en cuenta en los modelos bidimensionales de aguas someras de dos formas diferentes: incluyendo la geometría exacta de los edificios (enfoque detallado o *resolved approach*) o considerando sólo la macro-estructura de la zona urbana (enfoque poroso o *porosity approach*).

El primer enfoque requiere una definición de la geometría más detallada y por lo tanto, proporciona una definición más minuciosa del campo de flujo. Por lo tanto este enfoque requiere una malla más fina en las proximidades de la zona urbana. Por otro lado, el enfoque poroso tiene en cuenta los efectos de las zonas urbanizadas de una manera macroscópica, incluyendo un parámetro de porosidad efectiva en las ecuaciones, así como un término fuente adicional que representa las pérdidas de carga y arrastre adicionales generados en la región urbana (Soares-Frazao et al. 2008, Cea et al. 2010).

En las simulaciones presentadas en este trabajo la transformación lluvia-escorrentía se calcula directamente a partir de datos de precipitación con un modelo 2D de aguas someras con ambos enfoques. A fin de validar los resultados numéricos y calibrar el coeficiente de pérdida de carga para diferentes geometrías, varios experimentos nuevos han sido modelizados con diferentes configuraciones urbanas diseñadas específicamente para este estudio.

Con una calibración adecuada del coeficiente de arrastre, el enfoque poroso es capaz de reproducir los resultados experimentales con un esfuerzo computacional mucho menor que el enfoque de detalle. Obviamente, la aproximación porosa no reproduce los datos de flujo de pequeña escala dentro de la región urbana, pero la velocidad global y los campos de calados del agua son correctamente simulados. Los resultados numéricos se compararon con los hidrogramas experimentales obteniendo resultados alentadores. En todos los casos se ha comparado el caudal máximo y la forma del hidrograma de salida. También se ha comparado el tiempo de cálculo y la estabilidad numérica de cada enfoque. El modelo de porosidad es capaz de reproducir las características medias del campo de flujo dentro, fuera y alrededor del área urbana, con un coste computacional mucho menor que las ecuaciones clásicas de aguas poco profundas resuelto sobre una malla refinada. Después de aplicar la técnica a modelos a escala, su aplicabilidad a las escalas reales debe ser investigada.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Dirección Xeral de Investigación, Desenvolvemento e Innovación de la Xunta de Galicia (Ref. 08MDS003CT)

Referencias

Soares-Frazao, S., Lhomme, J., Guinot, V., Zech, Y. (2008.) Two-dimensional shallow-water model with porosity for urban flood modelling. *Journal of Hydraulic Research* **46** (1).

Cea, L., Vázquez-Cendón, M.E. (2010) "Unstructured finite volume discretisation of two-dimensional depth averaged shallow water equations with porosity". *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol.63 (8) pp.903-930, 2010, ISSN 0271-2091. Editor: Wiley, Reino Unido

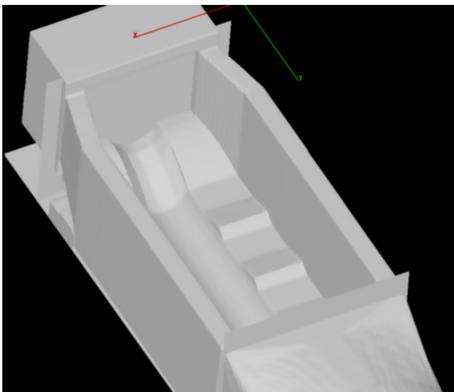
MODELACIÓN NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DEL FLUJO MEDIANTE TÉCNICAS CFD: APLICACIÓN AL DESVÍO DEL COLECTOR SUR EN EL CRUCE CON EL CANAL DE ACCESO DEL AVE (VALENCIA)

Daniel Valero Huerta, Rafael García Bartual

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia

En paralelo con los trabajos de laboratorio para la modelación física del nuevo tramo de colector Sur en Valencia, se llevó a cabo una modelación numérica tridimensional del diseño propuesto a la escala real, para el caudal máximo $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$.

La definición geométrica del colector se realizó con *Autocad*, incluyendo la totalidad de los detalles en cuanto a transiciones (perfil WES y ensanchamiento, transición suave del cuenco al perfil ovoide) y otros aspectos geométricos relevantes (tamaño, diseño y disposición de los disipadores de energía, tramo en curva del colector, caz, sección ovoide, etc.). Figura 1.



Se ha empleado una malla de cálculo estructurada a base de hexaedros regulares referidos a unos ejes fijos x-y-z, con el eje z vertical y el eje "y" coincidente con el eje en planta del tramo ovoide. La resolución es gradualmente variable, máxima en los contornos y elementos especiales y menor en las zonas centrales del flujo. Por ejemplo, la zona indicada en la fig.1 incluyendo la transición al tramo ovoide contiene 6 millones de celdas, con un $\Delta t = 0.7 \cdot 10^{-3} \text{ s}$. Las ecuaciones promediadas de Navier-Stokes se resuelven con aproximación de las tensiones de Reynolds mediante la hipótesis de viscosidad turbulenta.

Fig 1: Definición geométrica cuenco de amortiguación

Es decir, $\nu_T = C_\mu \cdot \frac{\kappa^2}{\varepsilon}$ (Kolmogorov-Prandtl). El modelo de turbulencia empleado es el modelo $\kappa - \varepsilon$ (RNG) con sendas ecuaciones de transporte para la energía cinética turbulenta (κ) y para la tasa de disipación (ε). El software empleado es *FLOW3D*.

Los resultados obtenidos permiten conocer los campos de velocidades, presiones, vorticidad e intensidad de la turbulencia en todos los puntos de la región 3D analizada. La 2 muestra una instantánea del resalto hidráulico. Se presentan dos videos, tanto en visión Euleriana del flujo (fig.1) como Lagrangiana (observador moviéndose a lo largo del colector a la velocidad media).

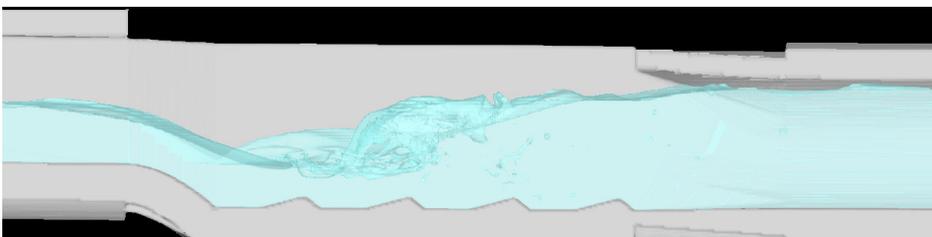


Fig 2: Instantánea del resalto hidráulico

Los principales aspectos de la geometría y estructura del flujo tridimensional (resalto hidráulico, calados normales, separación de la lámina en el ensanchamiento previo al cuenco, peralte, etc) contrastan muy favorablemente con las mediciones del laboratorio. Por ejemplo, para la sección crítica la diferencia observada con los resultados experimentales es de 1,3 %.

COMUNICACIONES LÍNEA PRIORITARIA D
SEGURIDAD DE PRESAS. ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

LA MODELACIÓN FÍSICA REDUCIDA COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS. CASO DE LA PRESA DE TERRATEIG (VALENCIA)

Pedro Millán Romero, Eduardo Albentosa Hernández, Miguel Ángel Eguibar Galán, Ignacio Andrés Doménech, Francisco J. Vallés Morán

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia

La velocidad del flujo al pie de los aliviaderos de presas, rápidas y caídas en encauzamientos y canalizaciones suele ser bastante elevada. En consecuencia deben disiparse grandes cantidades de energía mediante dispositivos o estructuras hidráulicas diseñadas al efecto.

Errores en el diseño de estos elementos pueden causar erosiones y socavaciones en el cauce de aguas abajo de los mismos, flujos supercríticos (con todas las consecuencias en el funcionamiento hidráulico), resaltos hidráulicos en zona no deseada, impactos contra las estructuras de aguas abajo... por lo que las consecuencias pueden ser nefastas, tanto para la propia estructura como para el entorno.

En el caso de las presas, la disipación de energía se realiza fundamentalmente mediante el resalto hidráulico provocado por los cuencos amortiguadores de resalto. Este resalto tiene características especiales y toma una forma definida en cada caso, que depende fundamentalmente de la energía de la corriente a disipar, de la geometría del cuenco y sus elementos disipadores, y de la condición de contorno impuesta por el cauce aguas abajo. Por este motivo, el estudio en modelo físico reducido resulta prácticamente obligatorio para el diseño de este tipo de órganos de disipación de energía.

La modelación física reducida permite, en el caso particular de las presas, contemplar la interacción presa-cauce en avenida de una manera integral, permitiendo realizar las modificaciones oportunas sobre el diseño hasta alcanzar un comportamiento hidráulico óptimo del conjunto de un modo sencillo y económico. Por tanto, aunque el planteamiento metodológico de diseño de estructuras hidráulicas pueda seguir ciertas pautas generales, el desarrollo del mismo debe ser completado y analizado con ensayos sobre modelo físico reducido antes de ejecutar el prototipo.

En el caso de la presa de Terrateig (Valencia), actualmente en fase de construcción, la ejecución del modelo físico reducido de la misma ha permitido alcanzar un comportamiento hidráulico conjunto óptimo de sus órganos de desagüe y de disipación de energía para todo el rango de caudales analizado, partiendo de un diseño original con serios problemas de funcionamiento hidráulico en situación de avenida que, afectando gravemente al cauce de aguas abajo, ponía en peligro la propia estabilidad de la obra (figura 1).



Figura 1 Comportamiento del modelo físico en situación de Avenida de Proyecto (T=1000 años) para la solución proyectada (izquierda) y para la solución actual (derecha)

SIMULACIÓN NUMÉRICA EN ALVIADEROS DE VERTIDO LIBRE

José María Carrillo, Luis G. Castillo

Grupo de I+D+i Hidr@m. Universidad Politécnica de Cartagena. UPCT

En el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Politécnica de Cartagena se están realizando estudios en modelo físico de las acciones hidrodinámicas a pie de presa por efecto de vertidos en caída libre.

De este modo, actualmente se están realizando campañas de medición de velocidades, presiones y aireación para avanzar en el conocimiento de los fenómenos que se producen dentro del cuenco de amortiguación.

Los resultados obtenidos están siendo comparados con simulaciones numéricas, realizadas mediante el software comercial ANSYS CFX, para obtener una adecuada caracterización del fenómeno bifásico aire-agua.

En la actual fase de simulación, se ha puesto de manifiesto la importancia de los elementos que configuran el mallado del dominio fluido en la obtención de la solución mediante programas de volúmenes finitos (ANSYS CFX en este caso). De este modo se ha constatado que, debido a la complejidad matemática originada por la separación del flujo y la alta turbulencia que se genera en los vertidos de caída libre, los resultados obtenidos con el mallado habitual del software no son del todo acertados, debiendo emplear elementos de mayor calidad.

En la Figura 1 puede observarse la forma de la lámina libre observada en el modelo físico ubicado en el laboratorio de la UPCT, junto a los resultados obtenidos en las simulaciones numéricas, según el tipo de elemento predominante en el mallado del dominio fluido.

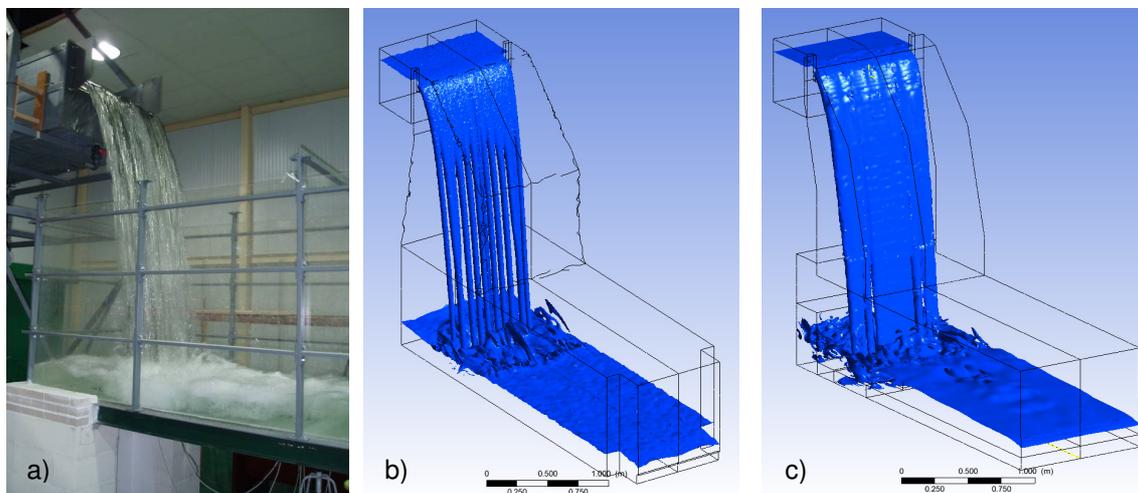


Figura 1. Forma de la lámina en vertido libre: a) observación en laboratorio, b) simulación con mallado de elementos tetraédricos, c) simulación con mallado de elementos hexaédricos.

INVESTIGACIÓN SOBRE LA CAPACIDAD DE DESAGÜE DE ALIVIADEROS EN LABERINTO

Álvaro Acedo⁽¹⁾, David Santillán⁽¹⁾, Hibber Campos⁽¹⁾, Rafael Morán⁽¹⁾, Miguel A. Toledo⁽¹⁾, Carlos Granell⁽²⁾

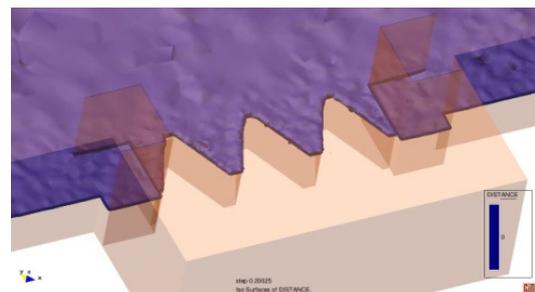
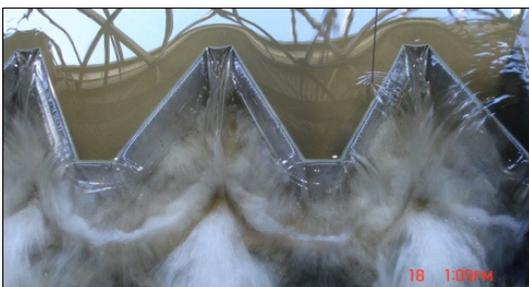
(1) Universidad Politécnica de Madrid

(2) Jesús Granell Ingeniero Consultor, S.L.

Este trabajo está enmarcado dentro del proyecto “Mejora de la capacidad de desagüe de presas existentes mediante aliviaderos en sifón y aliviaderos en laberinto”, perteneciente al Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008/2011 con número de expediente nº 029/RN08/04.5. En él participan de manera coordinada el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, Jesús Granell Ingeniero Consultor SL, y la Universidad Politécnica de Madrid a través del Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica y Energética.

El objetivo principal del trabajo es caracterizar el funcionamiento hidráulico de este tipo de aliviaderos para definir criterios de dimensionamiento óptimos teniendo en cuenta la influencia de las condiciones de aproximación, así como los fenómenos que condicionan su comportamiento: oblicuidad del vertedero en relación con la dirección del agua en la alimentación, e interferencia de láminas vertidas por caras adyacentes del vertedero. Para ello, se ha previsto la realización de una campaña de modelación física y numérica que permita extraer conclusiones suficientes para elaborar una metodología aplicable por la comunidad técnica.

En la presentación se describe el recinto de ensayo ejecutado en las instalaciones del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, el sistema de control y adquisición de datos de instrumentación, los resultados preliminares obtenidos tras las primeras pruebas realizadas en los últimos meses así como una descripción del protocolo de actuación para futuros ensayos.



CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA Y DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO DE ALIVIADEROS CON CAJEROS ALTAMENTE CONVERGENTES

León Morera⁽¹⁾, Hibber Campos⁽¹⁾, Rafael Morán⁽¹⁾, Miguel Ángel Toledo⁽¹⁾, Patricia Sanz⁽²⁾, Fernando Salazar⁽²⁾, Blanca Martínez⁽³⁾, Javier Caballero⁽³⁾

(1) *Universidad Politécnica de Madrid*

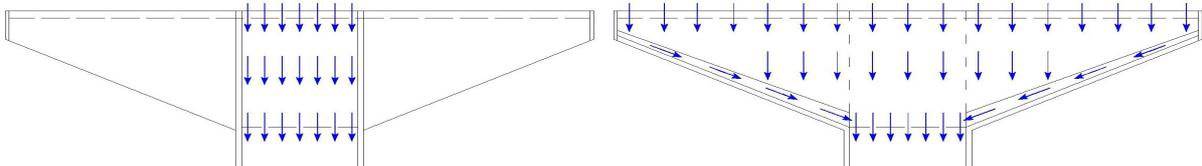
(2) *CIMNE*

(3) *ALATEC*

El proyecto ALCON, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro del *Plan Nacional de investigación científica, desarrollo e innovación tecnológica 2008-2011* con número de expediente IPT-310000-2010-11, tiene como principal objetivo la obtención de criterios generales para el diseño de aliviaderos con cajeros altamente convergentes. Tres entidades participan en el proyecto: por un lado la empresa ALATEC, que actúa como coordinadora; por otra parte la U.P.M., una de cuyas funciones será la modelación física en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos; y finalmente CIMNE, que se encargará de la modelación numérica.

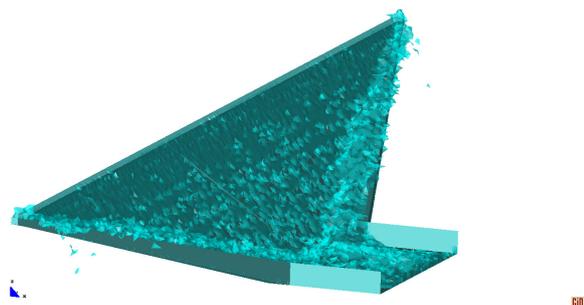
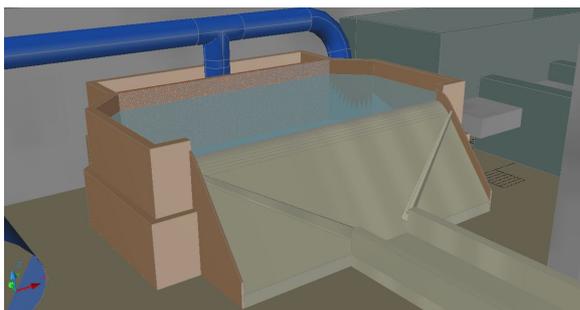
Pese a la existencia de algunas presas con este tipo de aliviadero en diferentes partes del mundo, los estudios experimentales de que se dispone son específicos, ad hoc, e insuficientes, lo cual explica que esta ventajosa tipología no se haya consolidado aún dentro del mundo de las presas.

Estos aliviaderos, situados sobre el cuerpo de presas de fábrica, se fundamentan en el incremento de la longitud del labio de vertido de manera que resulte sensiblemente mayor al ancho del cauce disponible al pie, precisando así de la colocación de una pareja de cajeros sobre el paramento para conducir el agua hacia el cuenco amortiguador de manera satisfactoria.



De este modo se consigue aumentar la capacidad de desagüe, aspecto muy tenido en cuenta en la cada vez más exigente normativa sobre seguridad de presas. Asimismo, desde el punto de vista de la explotación hidroeléctrica, esta tipología permite maximizar la capacidad de embalse útil y aumentar el nivel máximo normal gracias a la reducción de la altura de lámina vertiente para un mismo caudal.

En el proyecto ALCON se conjugan la modelación física y la numérica: la utilización conjunta de ambas herramientas permite el alcance de resultados de máxima utilidad. Inicialmente los modelos computacionales sirven de apoyo al diseño del modelo físico y al planteamiento de la campaña de ensayos de laboratorio que, una vez iniciada, será la referencia fundamental de calibración y optimización del modelo numérico. Este procedimiento permitirá la fijación de criterios de cálculo y proyecto para esta tipología de aliviadero, criterios que serán finalmente implementados en un *software* específico que servirá de herramienta a los proyectistas y ampliará las posibilidades de la ingeniería de presas.



Tal y como se ha expuesto, la experimentación en laboratorio resulta el eje fundamental del proyecto ALCON. El modelo físico se está construyendo en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid. Contará con un depósito de 20 m² dotado de pared de tranquilización. La presa se ha diseñado para un caudal de 250 l/s, presentando una altura de 1,5 m y una longitud de labio de vertido máxima de 5 m, la cual convergerá hacia 1 m de ancho en el cuenco amortiguador.

APLICACIÓN DEL MODELO SPH AL ESTUDIO DE ALIVIADEROS ESCALONADOS. PROYECTO ALIVESCA

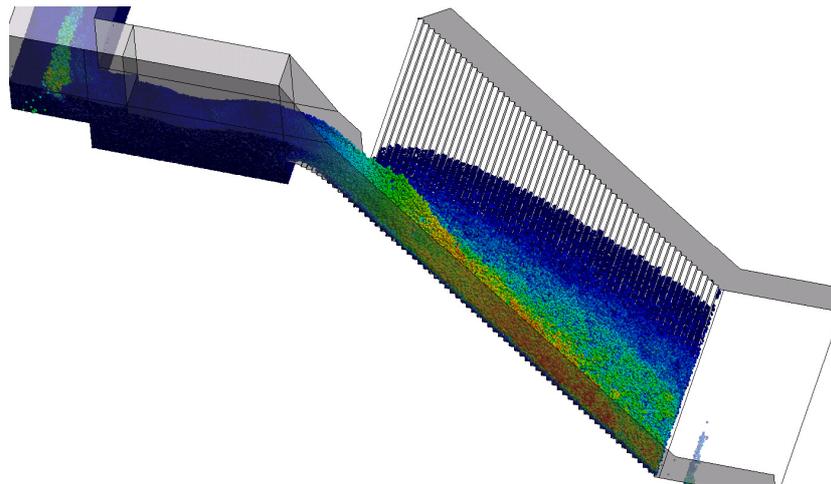
David López⁽¹⁾, Miguel de Blas⁽¹⁾, Roberto Marivela⁽¹⁾, Luis Balairón⁽¹⁾, Martí Sánchez-Juny⁽²⁾, Soledad Estrella⁽²⁾

(1) Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX

(2) Instituto Mixto FLUMEN-UPC

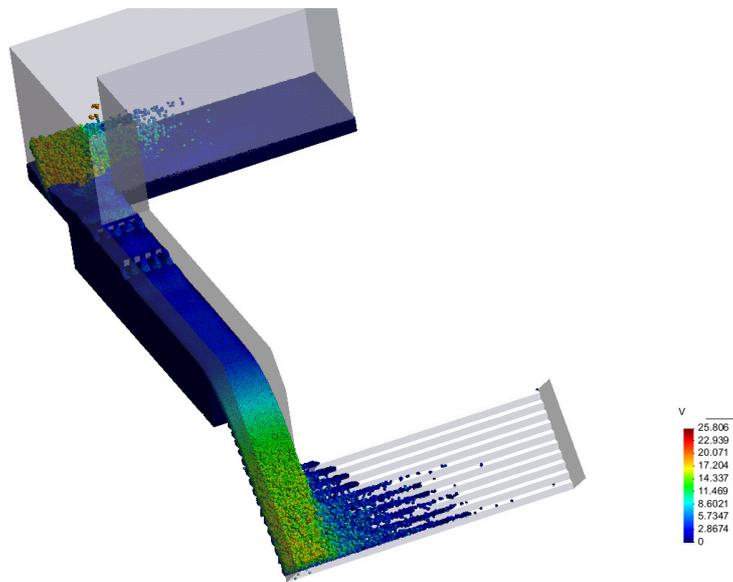
Dentro de los trabajos incardinados en el proyecto ALIVESCA, se ha incluido el análisis hidrodinámico del vertedero y la rápida escalonada mediante la técnica numérica lagrangiana SPH. Para ello, se ha empleado software propio MDST desarrollado en el CEDEX, que resuelve las ecuaciones 3D de Navier Stokes, para flujo monofásico cuasi compresible.

El estudio numérico se ha dividido en dos partes diferenciadas por la aireación. Por un lado, se ha analizado el flujo en la zona no aireada, donde el modelo es completamente representativo, y es posible obtener mejores conclusiones. En esta zona, se compararán los perfiles de velocidad y los registros de presión obtenidos en modelo físico con los resultados de la simulación numérica.

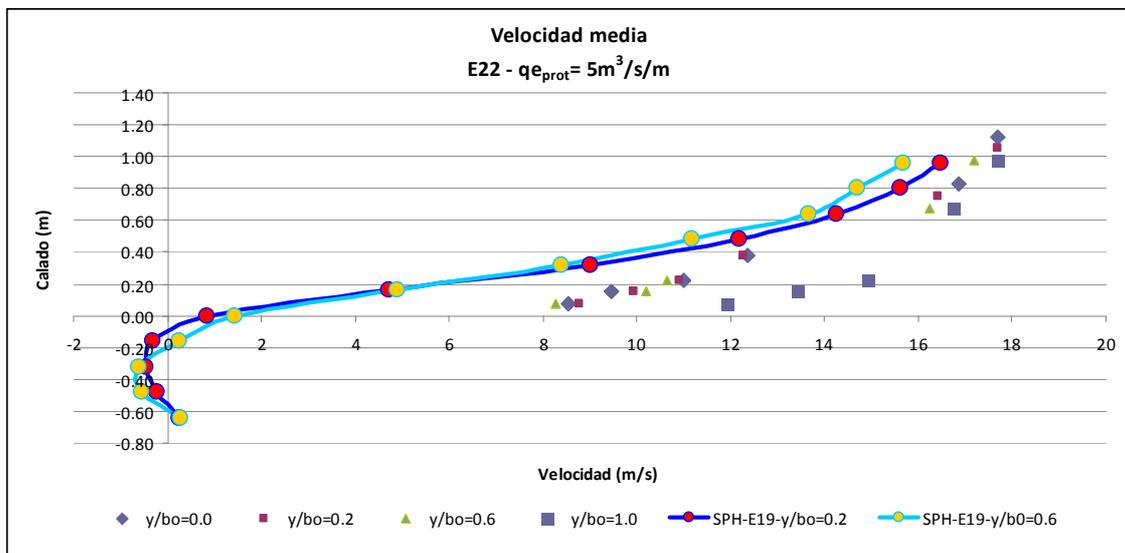


Aunque la expansión lateral del flujo en la rápida de un aliviadero sin cajeros de acompañamiento está gobernado por las ecuaciones de flujo bifásico aire-agua, se ha querido simular este fenómeno con el modelo SPH monofásico para tratar de acotar la influencia de la aireación en la expansión y estudiar la influencia de otros factores como son la rugosidad y la viscosidad turbulenta. Este estudio se ha realizado sobre un modelo numérico a escala 10/1 respecto a las dimensiones del modelo físico construido en el laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos de la UPC.

Por otro lado, se ha realizado un análisis detallado de la zona de flujo sin aireación, centrado por tanto en el vertedero, sobre el que es posible realizar el estado de presiones y velocidades que permiten caracterizar el flujo en este tipo de estructuras hidráulicas. Para esto, se ha llevado a cabo un modelo numérico a escala 15/1 del modelo físico, lo que corresponde a las dimensiones teóricas del prototipo, con un tamaño de partículas de 12 cm. lo que supone un incremento en la precisión con respecto al modelo anterior.



Las primeras comparaciones entre los resultados obtenidos en el modelo numérico y las mediciones realizadas en el modelo físico muestran una buena concordancia.



MODELIZACIÓN MEDIANTE CDF DE FLUJO QUASI 2-D SOBRE VERTEDEROS SEMICIRCULARES. CONTRASTE CON RESULTADOS EXPERIMENTALES

Jesús Flores y Javier González

Universidad de Castilla-La Mancha. E. T. S. I. Caminos, Canales y Puertos.

En el proceso de modelización hidráulica de ríos o canales se requiere con mucha frecuencia la modelización de estructuras sobre las que se produce flujos tipo vertedero, que relacionan las condiciones hidráulicas de aproximación a la estructura con el caudal de paso, y en condiciones de anegamiento, las condiciones hidráulicas aguas abajo. Así son los casos de vertederos laterales o frontales en canales, o la existencia de azudes o puentes en la modelización de ríos y llanuras de inundación, por ejemplo. La presencia de este tipo de estructuras, a modelar como vertedero, controla los niveles aguas arriba. La forma geométrica del vertedero (rectangular, semicircular, cuarto de círculo), el espesor del mismo, o la profundidad del flujo en la aproximación condiciona la relación que puede establecerse entre la altura de sobrevertido y el caudal, en la forma del coeficiente de vertedero, que, por ejemplo, se muestra como uno de los parámetros más sensibles en estudios de zonas inundadas entorno a ríos con un alto número de estructuras de paso modeladas mediante técnicas 1-D ó 2-D.

La modelización en un esquema 3-D mediante modelos CFD se muestra como una alternativa para la modelización de los procesos que ocurren en torno a un vertedero de pared delgada, y la influencia de geometría y las condiciones de aproximación de forma explícita, sin necesidad de implementar las relaciones de vertedero, o permitiendo de la obtención previa del valor del coeficiente de vertedero a implementar en una estructura con una geometría determinada para su modelización posterior 1-D o 2-D. Sin embargo, la capacidad de los modelos CFD de representar correctamente las condiciones de flujo sobre vertedero es muy dependiente de las particularidades de la forma en la que se modela, pudiendo obtenerse grandes desviaciones con respecto a la realidad o a resultados experimentales obtenidos mediante experimentación física.

En el presente trabajo se pretende un análisis de sensibilidad que conduce a la determinación de los aspectos más importantes a tener en cuenta para la correcta representación del flujo que se produce sobre vertederos ortogonales cuando quiere ser modelado mediante un modelo CFD bifásico (agua-aire) tridimensional. Los resultados son comparados con los obtenidos experimentalmente. Dicho análisis numérico se lleva a cabo mediante la realización de modelos “quasi 2-D” con el software comercial ANSYS CFX 12, el cual se basa en el método de los volúmenes finitos para mallas no estructuradas. El modelo escogido en cuestión es homogéneo multifásico euleriano. En el que la existencia de múltiples fluidos es introducida por una función que controla la fracción de volumen de cada fluido por celda, y la definición de la lámina libre se consigue mediante un tratamiento especial de alta resolución en el cálculo de la advección, que permite comprimir y afilar la zona de transición entre fluidos. Mientras que la definición de la geometría se realiza con el paquete básico de ANSYS ICEM CFD 12.

Para completar exitosamente un complejo problema de lámina libre computacionalmente, es necesario superar numerosos obstáculos en la modelación, siendo el primero de ellos la geometría. La selección del tamaño de elementos es de gran importancia para conseguir una solución de calidad que a la vez requiera un tiempo de cálculo práctico. Análisis de sensibilidad se han realizado sobre la dimensión y distribución de los elementos, los cuales indican que es fundamental una buena definición del mallado en el entorno del labio, donde la velocidad del flujo es mayor, y en la zona de transición. Este último aspecto es esencial, no se pueden obtener resultados a niveles cualitativo y cuantitativo reales sin una buena definición de la zona de transición, zona donde se encuentra ubicada la lámina libre. La experiencia con los modelos realizados a las velocidades de flujo con las que se ha estado trabajando indican que la zona de difusión es algo inferior a dos veces el tamaño de elemento empleado. Lo que conlleva, que en modelos con muy pequeños caudales, en los que se requiere una precisión milimétrica, es

necesario utilizar modelos de tamaño milimétrico en el entorno donde la lámina de agua es esperada.

Otro aspecto importante son las condiciones de contorno a escoger, destacando principalmente las condiciones de pared. En la modelación se ha podido comprobar que el modelo de superficie lisa no deslizante genera pérdidas de carga muy pequeñas, siendo mucho más conveniente los modelos de pared rugosa, en los que aunque el valor de la rugosidad introducida sea sumamente pequeña, como un orden de magnitud inferior al milímetro, la pérdida de carga ofrece resultados cuantitativamente más ajustados a los reales. Y el último gran obstáculo es el modelo de turbulencias a escoger. Hasta la fecha ha sido empleado el modelo K-E, que ofrece resultados similares al modelo K-W, y mejores resultados cuantitativamente que el modelo SST, el cual introduce poca pérdida de carga.

Bajo estas condiciones, los resultados obtenidos hasta el momento muestran una considerable aproximación entre los valores del coeficiente de vertedero obtenidos empíricamente para diferentes sobreelevaciones y los hallados numéricamente. Computacionalmente se consigue una idéntica evolución creciente de dicho valor para pequeños caudales, y la estabilización del coeficiente a partir de cierto punto. Y además, se modela perfectamente el vertedero con condiciones de lámina subatmosférica y atmosférica.

PROYECTO ALIVESCA

Soledad Estrella⁽¹⁾, Martí Sánchez-Juny⁽¹⁾, Juan Pomares⁽¹⁾, Josep Dolz⁽¹⁾, Rafael Ibáñez de Aldecoa⁽²⁾, María Domínguez⁽²⁾, Jesús Rodríguez⁽²⁾, Luis Balairon⁽³⁾, David López⁽³⁾

(1) Instituto mixto FLUMEN – UPC

(2) DRAGADOS S.A.

(3) Centro de Estudios Hidrográficos – CEDEX

1. Introducción

ALIVESCA es un proyecto de investigación aplicada colaborativa entre la empresa DRAGADOS, el Instituto FLUMEN de la UPC y el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. El objetivo general es establecer los criterios hidráulicos para el diseño de aliviaderos escalonados sin los tradicionales cajeros laterales mediante la modelización física.

Son objetivos específicos, en primer lugar cuantificar la expansión lateral del flujo hacia aguas abajo del vertido mediante un análisis de la distribución del caudal, tanto a pie de presa como a lo largo de la rápida. En segundo lugar, definir el comportamiento del flujo de agua en el aliviadero basándose en medidas de presión, velocidad y concentración de aire para poder caracterizar la expansión de la lámina.

El modelo se correspondería, a escala 1:15, con un aliviadero en prototipo de altura (H) de 75 m, altura de escalón (h) de 1,20 m, pendiente (i) 0.8 y un ancho de total de presa (B) de 45 m. El modelo se opera bajo la semejanza de Froude.

En el estudio se han analizado tres anchos de vertido (b_0), respecto al ancho total de la presa: B/2, B/3 y B/6, es decir, en prototipo: 22.5m, 15m y 7.5m, realizando el vertido pegado al cajero lateral derecho del modelo para disponer de un mayor ancho de expansión del flujo. Ello se basa en el comportamiento bidimensional del modelo que ha sido corroborado durante la campaña de ensayos.

El estudio se ha realizado para diferentes caudales específicos en la entrada (q_e) alcanzando hasta un máximo $q_{e\text{ prot}}=15\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$

2. Avances del proyecto ALIVESCA

Durante el proyecto y hasta el momento se han efectuado las siguientes actividades:

1. Diseño y construcción del modelo en laboratorio
2. Campaña de ensayos preliminares
3. Instrumentación: pruebas, calibración y validación de los equipos
4. Análisis cualitativo: analizar el comportamiento hidráulico mediante observación
5. Análisis cuantitativo:
 - ✓ Distribución de caudales a pie de presa
 - ✓ Distribución de caudales a lo largo del modelo (diferentes alturas)
 - ✓ Comprobación de la bidimensionalidad
 - ✓ Comprobación de la universalidad del ancho mínimo de apertura
 - ✓ Medidas de presión, velocidad, concentración de aire

Una vez realizado el diseño y la construcción del modelo en laboratorio, se inició por un lado una campaña de ensayos preliminares con el fin de verificar el correcto

funcionamiento del modelo y encontrar diferentes condicionantes a su comportamiento mediante observación, y por otro lado un proceso de calibración y validación de la instrumentación a ser utilizada durante la investigación.

Los tipos de medida y los instrumentos utilizados en el proyecto se detallan en la Tabla 1 1.

Tipo de medida	Instrumento	Marca
Presión	Sensores piezorresistivos	MESSTECH
Velocidad zona no aireada	ADV	Vectrino – Nortek AS
Velocidad zona aireada	Fibra óptica	RBI
Concentración de aire	Fibra óptica	RBI
Calado	Ultrasonido	MEGGIT MOBREY
Calado	Sensores piezorresistivos	MESSTECH

Tabla 1. Instrumentación ALIVESCA

Posteriormente se procedió a analizar cuantitativamente la distribución de caudales a pie de presa para los tres anchos de vertido y diferentes caudales específicos en prototipo de hasta $15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

La distribución de caudales se diseñó mediante aforo definiendo tres zonas uniformemente repartidas a lo ancho del aliviadero, esto es una longitud de $B/3$, que corresponde a un ancho en prototipo de 15m para cada canal. Así, se obtendrá una distribución de caudales en 3 zonas: canal derecho, central e izquierdo.

En la Figura 1 se puede observar la distribución de caudales a pie de presa obtenidas para caudales específicos en prototipo ($q_{e \text{ prot}}$) de $12.20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, para los 3 anchos de vertido ($b_{0 \text{ prot}}$) de 7.5m, 15m y 22.5m.

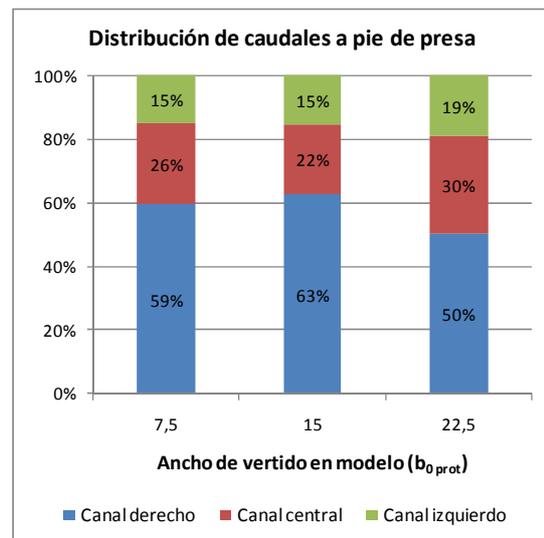


Figura 1. $q_{e \text{ prot}} = 12.20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$

Una vez se obtuvieron los datos de la distribución de caudales a pie de presa, se procedió a realizar otros ensayos con la misma metodología para cuantificar la distribución a diferentes alturas de la estructura y conocer la distribución del caudal a lo largo y ancho de la estructura.

Estos resultados preliminares son el primer paso para definir un rango de variables (caudal, ancho, altura) con las que un aliviadero escalonado puede funcionar sin los tradicionales cajeros laterales.

REFERENCIAS

- [1] Sánchez Juny, Martí (2001): Comportamiento hidráulico de los aliviaderos escalonados en presas de hormigón compactado. Análisis del campo de presiones.
- [2] Táboas Amador, António (2005): Comportamiento hidráulico de los aliviaderos escalonados en presas de hormigón compactado.
- [3] Chanson, Hubert (2002): The hydraulics of stepped chutes and spillways.

APLICACIÓN DEL MODELO IBER A CANALES DE FUERTE PENDIENTE. CALIBRACIÓN MEDIANTE MODELO FÍSICO

Juan José Rebollo, María Isabel Berga, David López

Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX

El objeto de esta comunicación es exponer el análisis del comportamiento hidráulico de la presa de Mularroya (Zaragoza), comparando los resultados obtenidos mediante la experimentación en modelo físico y los resultantes de la aplicación de un modelo numérico asociado basado en esquemas de volúmenes finitos. Las conclusiones de estos resultados permitirán plantear una validación del modelo matemático cuando su uso esté enfocado a la modelación de estructuras hidráulicas y canales de fuerte pendiente.

La presa de Mularroya está localizada en el río Grío, afluente del Jalón. Se trata de una presa de materiales sueltos con un volumen de embalse de 109,3 Hm³ y un aliviadero en curva situado en la margen derecha de la presa. Este órgano de desagüe está formado por un canal de sección rectangular de 12 m de ancho y 2,5 m de altura, con unas bermas laterales de 15 m que permiten la sobreelevación de la lámina de agua para avenidas mayores de 300 m³/s.

Tras diferentes análisis, se estableció un cambio en el diseño de la pendiente longitudinal del aliviadero de un 2 a un 5%, con el objeto de disminuir el calado del flujo y albergar el máximo caudal posible dentro del canal principal. Este incremento de pendiente implica un incremento de la velocidad del flujo, una de las variables claves en la validación del modelo matemático.

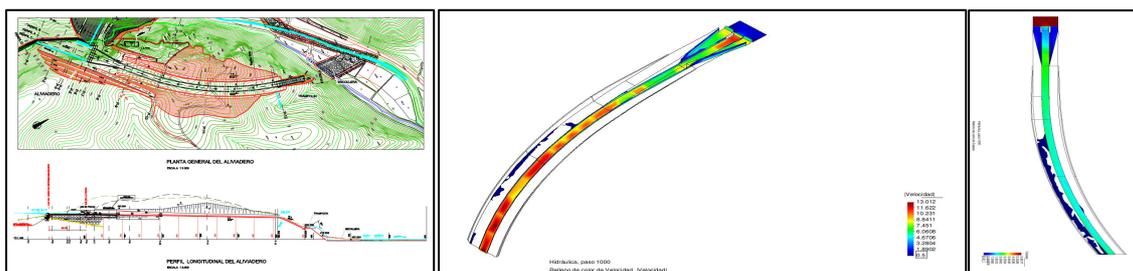


Figura 1: Planta del aliviadero de la presa de Mularroya y perspectivas del aliviadero mediante modelo Iber

El objeto de la experimentación en el modelo físico fue la medición de calados en diferentes secciones del canal y para diferentes caudales. El rango de caudales y las distintas secciones han propiciado una batería de ensayos con múltiples resultados de calados que permiten asegurar una correcta validación de los resultados obtenidos con el modelo numérico.

La escala del modelo físico, realizado en el Laboratorio de Hidráulica del CEDEX, es de 1/60, para asegurar la representatividad de los resultados obtenidos.

Una vez obtenidos los datos del modelo físico, el siguiente paso de la validación fue definir el modelo numérico con Iber. Para ello, se estableció un contorno representativo del aliviadero y unas condiciones iniciales, así como la asignación de características de la superficie y rugosidades.

La herramienta numérica que se ha utilizado para llevar a cabo la comparativa es el modelo Iber, que permite la simulación del flujo en lámina libre en ríos y estuarios (pendiente suave) y que está constituido por un sistema de ecuaciones para aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad. De los tres módulos que conforman el Iber, sólo ha sido aplicado el módulo de hidrodinámica para representar las variables asociadas al comportamiento del flujo (calados, campo de velocidades, etc).