

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



SEMINARIO
2012

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



Editores
Luis José Balairón Pérez
David López Gómez

**ACTIVIDAD EXPERIMENTAL DE I+D+i EN
INGENIERÍA HIDRÁULICA EN ESPAÑA.
RED DE LABORATORIOS DE HIDRÁULICA
DE ESPAÑA. SEMINARIO 2012**

**EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

Primera edición, 2014

© Editores

Luis José Balairón Pérez

David López Gómez

© Todos los nombres comerciales, marcas o signos distintivos de cualquier clase contenidos en la obra están protegidos por la Ley

© de las fotografías: el autor

© de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València

www.lalibreria.upv.es / Ref.: 6174_01_01_01

ISBN: 978-84-9048-238-4 (versión impresa)

Queda prohibida la reproducción, distribución, comercialización, transformación, y en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de todo o parte de los contenidos de esta obra sin autorización expresa y por escrito de sus autores.



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

SEMINARIO 2012. COMUNICACIONES DE LAS 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.**

Madrid, 3 de Julio de 2012

Editores

Luis José Balairón Pérez

David López Gómez

PRESENTACIÓN

La **Red de Laboratorios de Hidráulica de España** (RLHE), se constituyó en el año 2008 como un foro encuentro entre los principales Centros de Investigación en materia de ingeniería hidráulica experimental de España.

Las instituciones que participan en la RLHE son el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y las Universidades de Castilla La Mancha (UCLM), A Coruña (UDC), Politécnica de Cataluña (UPC), Politécnica de Cartagena (UPCT), Politécnica de Madrid (UPM) y Politécnica de Valencia (UPV).

El objetivo principal de la RLHE es constituir un foro o espacio de encuentro entre los principales centros de investigación en materia de ingeniería hidráulica experimental de España que permita detectar complementariedades, contribuir al fortalecimiento de la actividad de I+D en el campo específico de la ingeniería hidráulica e impulsar proyectos de investigación aplicada y de desarrollo tecnológico e innovación en común en las materias específicas de la Red.

Entre las actividades más relevantes de la RLHE figura la transferencia de conocimiento entre las instituciones participantes en sus respectivos ámbitos de trabajo, concretándose esta tarea en la celebración de unos seminarios anuales en los que, las diferentes instituciones de la Red, presentan algunos de los trabajos más relevantes realizados en el contexto de las citadas Líneas Prioritarias para el aprovechamiento común. Estos Seminarios vienen celebrándose desde el año 2009, habiéndose recogido en tres publicaciones editadas en papel los resúmenes de las comunicaciones presentadas en las ediciones de 2009, 2010 y 2011.

La presente publicación recoge los resúmenes de las ponencias presentadas en el Seminario sobre Líneas Prioritarias de Investigación de la RLHE, organizado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, el tres de julio de 2012 en Madrid.

Se trata de la cuarta publicación que realiza la RLHE y como las anteriores (Seminarios 2009 2010 y 2011) ofrece a los investigadores de las instituciones que constituyen la Red, la posibilidad de compartir los resultados de sus trabajos en el ámbito de la ingeniería hidráulica.

Luis Balairón Pérez

Coordinador de la Red de Laboratorios
de Hidráulica de España, RLHE

ÍNDICE

Resúmenes Línea Prioritaria A

Criterios hidromorfológicos para la restauración de espacios fluviales

RESTAURACIÓN DE LAS CONDICIONES DE EQUILIBRIO HIDROMORFOLÓGICO EN EL MEANDRO DE QUINZANAS (<i>David López, María Isabel Berga, Alba González, Georgina Corestein, Ernest Bladé</i>)	7
ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE MEDICIONES SOBRE SISTEMAS DE CAPTACIÓN (<i>Luis G. Castillo, Juan T. García, José M. Carrillo</i>)	11
CONCENTRACIÓN LIMITANTE DE SEDIMENTO FINO TRANSPORTADO (<i>Sergi Capapé Miralles, J.P. Martín Vide</i>)	15
ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA DE UN TRAMO DE CAUCE ALUVIAL SOMETIDO A UNA EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS. RÍO ÉSERA EN PERARRÚA (<i>Pedro Millán, Francisco J. Vallés, Ignacio Andrés-Doménech, J.A. López-Tarazón, G. Lobera, A. Tena, D. Vericat, R.J. Batalla</i>)	19
ANÁLISIS DE CAMBIOS MORFODINÁMICOS EN CAUCES DEBIDOS AL PASO DE AVENIDAS. APLICACIÓN AL TRAMO FINAL DEL RÍO PALANCIA (<i>Beatriz Nácher, Eduardo Albentosa, Francisco J. Vallés, Ignacio Andrés-Doménech</i>)	23
SEGUIMIENTO ÓPTICO DE PECES (2D Y 3D) EN ESCALAS DE HENDIDURA VERTICAL CON TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL (<i>Álvaro Rodríguez, María Bermúdez, Juan R. Rabuñal, Jerónimo Puertas</i>)	27
VALIDACIÓN DEL ESQUEMA NUMÉRICO DEL MÓDULO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE FONDO – MODELO IBER (<i>Georgina Corestein, Ernest Bladé</i>)	29

Resúmenes Línea Prioritaria B

Hidrodinámica de embalses. Gestión sostenible de embalses

MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DE LA HIDRODINÁMICA DE LA RÍA DE AROUSA EN PERIODOS DE ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA (<i>María Bermúdez, Luis Cea, Jerónimo Puertas, Guus S. Stelling, Julie D. Pietrzak, Gerben J. de Boer</i>)	35
--	----

Resúmenes Línea Prioritaria C

Riesgo asociado a la escorrentía urbana

CALIBRACIÓN DE UN MODELO DE ESCORRENTÍA URBANA EN LA RED UNITARIA DE SANEAMIENTO DE CIUDAD REAL (<i>Javier González, Luis Rodríguez, Carmen M^a Rincón, M^a Dolores Acosta, Aurelio Cubero</i>).....	41
CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS DE DESCARGA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE EN EL MARCO DEL PROYECTO EUROPEO LIFE+AQUAVAL (<i>Miguel Martín, Carmen Hernández-Crespo, Nuria Oliver, Sara Gargallo, Sara Perales</i>)	43
MONITORIZACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE EN EL MARCO DEL PROYECTO EUROPEO LIFE+ AQUAVAL (<i>Ignacio Andrés-Doménech, Francisco J. Vallés, Pedro Millán, Beatriz Nàcher, Sara Perales</i>)	45
METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ROTURAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA (<i>Ángela Martínez, Luis Garrote</i>).....	47

Resúmenes Línea Prioritaria D

Seguridad de presas. Aspectos hidrológicos e hidráulicos

EXPERIENCIA DEL PROYECTO ALIVESCA EN ANÁLISIS DE IMÁGENES (<i>Soledad Estrella, Martí Sánchez-Juny, Belén Martí-Cardona, Josep Dolz</i>).....	51
ENSAYOS DE PERMEABILIDAD CON MATERIAL DE GRAN TAMAÑO (<i>Ángel Lara, Rafael Cobo y María Pilar Viñas</i>).....	55
FÓRMULA DE ESTABILIDAD PARA TALUDES FRENTE AL DESLIZAMIENTO EN MASA (<i>Hibber Campos, Rafael Morán, Miguel Ángel Toledo</i>)	57
SIMULACIÓN HÍBRIDA DEL DESAGÜE DE FONDO DE LA PRESA DE MULARROYA (<i>David López, Miguel de Blas, Juan José Rebollo</i>)	61
MEDIDAS DE VELOCIDAD EN CHORROS RECTANGULARES Y CONTRASTE CON SIMULACIONES CFD. PROYECTO EMULSIONA (<i>Luis G. Castillo, José M. Carrillo</i>)	65
EL USO DE MODELOS DE RIESGO PARA LA GESTIÓN DE INUNDACIONES, INCLUYENDO LA EVALUACIÓN DE SEGURIDAD DE PRESAS Y OTRAS INFRAESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN (<i>Ignacio Escuder, Armando Serrano-Lombillo, Luis Altarejos</i>).....	69

LÍNEA PRIORITARIA A

**CRITERIOS HIDROMORFOLÓGICOS PARA LA RESTAURACIÓN DE
ESPACIOS FLUVIALES**

RESTAURACIÓN DE LAS CONDICIONES DE EQUILIBRIO HIDROMORFOLÓGICO EN EL MEANDRO DE QUINZANAS

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

⁽¹⁾ Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. m.isabel.berga@cedex.es

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

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. Se han realizado los trabajos de calibración de la rugosidad y de la capacidad de transporte, así como ensayos con avenidas reales y de caudal restaurador. En estos últimos se ha comprobado que el fenómeno de escondimiento, debido a la granulometría continua, afecta a las condiciones de inicio de arrastre. Se han obtenido las tensiones críticas de inicio de arrastre corregidas considerando este efecto, y se han calculado los solidogramas correspondientes a cada una de las 3 fracciones de material empleado para reproducir la granulometría del lecho.

Mediante el análisis de la serie histórica de avenidas registradas desde 1994 (realización de las obras de canalización) hasta la actualidad, se comprueba que el volumen transportado del árido de mayor diámetro es despreciable. Además, estas fracciones apenas tienen influencia en la conformación actual del cauce. Por todo esto, y con el objeto de determinar las condiciones de equilibrio hidromorfológico del cauce, en los ensayos se ha aportado de forma constante el caudal conformador ($350 \text{ m}^3/\text{s}$) y su caudal sólido correspondiente (33.3 Kg/s) representado por el árido de la fracción de menor tamaño.

En el tramo final del modelo, aguas abajo del meandro, se ha situado una trampa de sedimentos que permite registrar en tiempo real el peso del sedimento retenido. El tiempo de ensayo hasta alcanzar el equilibrio, momento en el cual el caudal sólido de entrada se ha igualado con el registrado, fue de unos 130 días (escala prototipo).

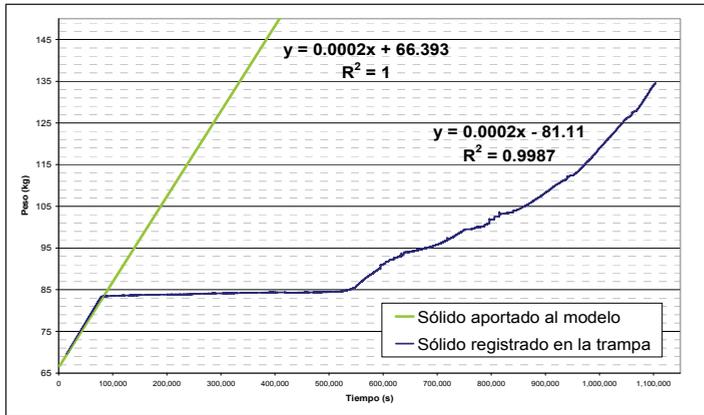


Figura 1. Registro de caudal sólido en la trampa de sedimentos

Una vez alcanzado el equilibrio se ha escaneado el lecho móvil de la zona del meandro y se ha obtenido el MDT (figura 2), donde se muestra un perfil longitudinal en el que se aprecian las formas del lecho, y cuya pendiente media es aproximadamente la de equilibrio (0.002).

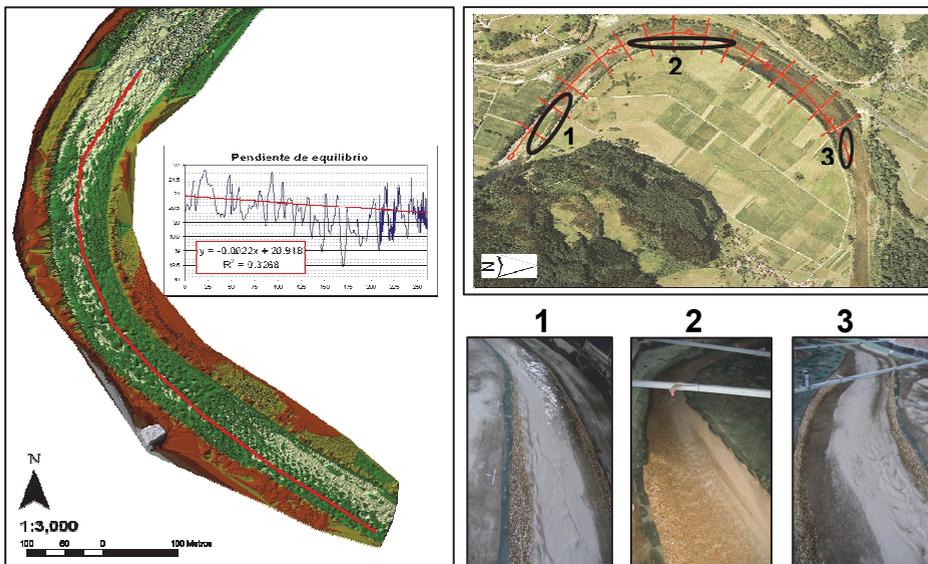


Figura 2. MDT lecho móvil. Comparativa (prototipo-modelo) de principales formas sedimentarias

También se ha realizado un análisis cualitativo comparando las formas sedimentarias existentes en el prototipo y las generadas en el modelo. Como se puede ver en la figura 2, las principales formaciones del cauce se reproducen en el modelo.

En estos momentos se está realizando un análisis de las posibles actuaciones necesarias para la restauración de las condiciones de equilibrio hidromorfológico en el meandro, y para ello, se está acelerando el proceso mediante la colocación de espigones transversales.

Una vez calibrada la curva $Q_{sólido}-Q_{líquido}$ en el modelo físico, el equipo del grupo Flumen ha realizado una serie de modificaciones en el módulo de transporte de sedimentos del modelo matemático Iber, para poder adaptarlo a las características de la zona de estudio. Con estas primeras modificaciones se está reproduciendo el anterior ensayo restringido al cauce principal, con la geometría de la obra de 1994. Los resultados preliminares de esta simulación muestran zonas de depósito y erosión semejantes a las observadas en modelo físico y prototipo.

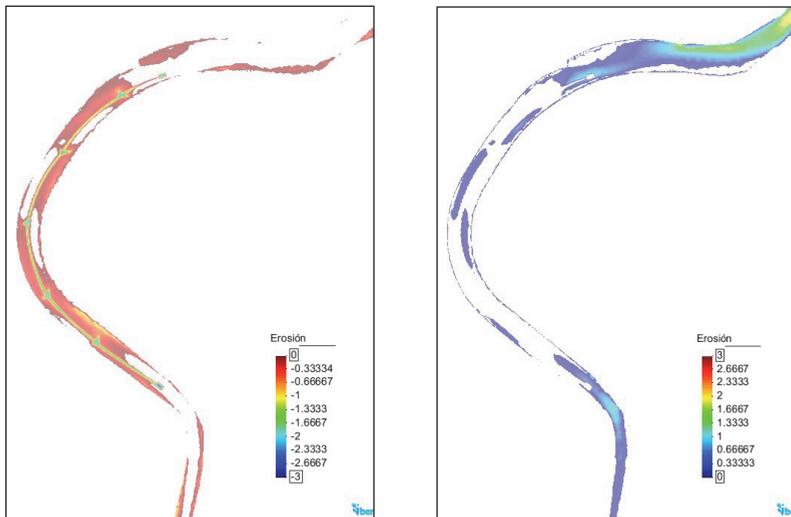


Figura 3. Resultados preliminares de la simulación matemática. Zonas de sedimentación y erosión

ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE MEDICIONES SOBRE SISTEMAS DE CAPTACIÓN

Luis G. Castillo, Juan T. García, José M. Carrillo

*Grupo I+D+i Hidr@m. Universidad Politécnica de Cartagena.
juan.gbermejo@upct.es*

Conocida la escasez de agua en el sureste español y el modo en que se presentan las precipitaciones, se plantea la necesidad de diseñar sistemas de captación en cauces efímeros con el fin de captar parte del flujo de las avenidas y controlar los daños aguas abajo.

Las captaciones de fondo consisten generalmente en una reja situada en el lecho de un cauce, de modo que el agua captada pasa a través de la reja y se conduce a una balsa de almacenamiento.

El Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Politécnica de Cartagena cuenta con una infraestructura diseñada específicamente para el estudio de estos sistemas de captación. Este dispositivo permite analizar la influencia de diferentes configuraciones de barras (forma, espaciamiento, inclinación) sobre el flujo de captación cuando se modelan diferentes concentraciones de sedimentos (figuras 1 y 2).



Figura 1. Vista general de la infraestructura de captación



Figura 2. Detalle del flujo a su paso por la reja

Se está analizando la relación de caudales captados, la distribución sobre la superficie de la reja (figura 3) y el funcionamiento hidráulico del sistema de recogida: canal lateral, transición, rápida y decantador (figura 4).

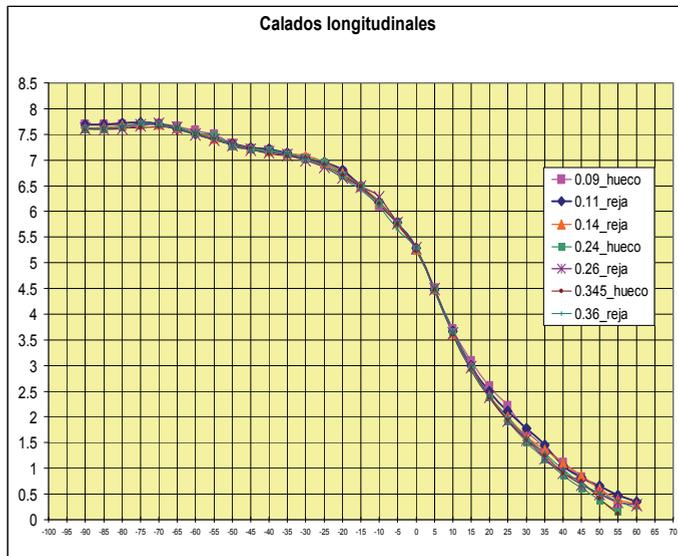


Figura 3. Detalle del paso del agua a través de la reja

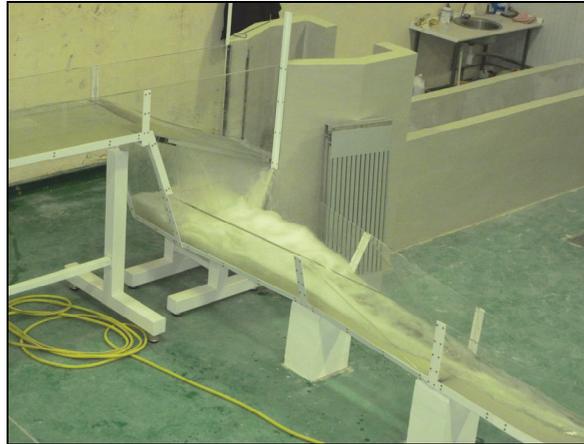


Figura 4. Detalle de reja, canal lateral y transición

Los datos obtenidos se comparan con los resultados simulados mediante programas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Las primeras comparaciones entre los resultados obtenidos en el modelo numérico y las mediciones realizadas en el modelo físico muestran una buena concordancia (figura. 5).

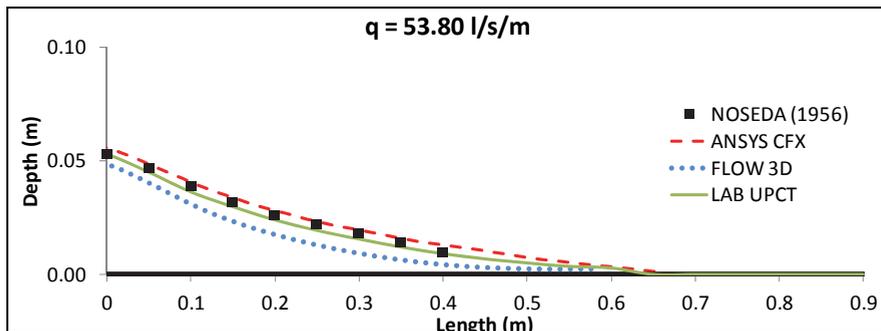


Figura 5. Perfiles de flujo medidos y simulados a lo largo de una captación de fondo

Una vez calibrados los modelos numéricos en agua clara, se procederá a analizar la variabilidad de los diferentes parámetros de diseño en diferentes condiciones de flujo y grado de concentración de sedimentos.

CONCENTRACIÓN LIMITANTE DE SEDIMENTO FINO TRANSPORTADO

Sergi Capapé Miralles, J.P. Martín Vide

Grupo GITS. Universitat Politècnica de Catalunya. sergi.capape@upc.edu

La carga de lavado –comúnmente identificada con el sedimento fino- es ignorada en la mayoría de las ecuaciones de transporte de sedimento (Yang, 1996). No obstante, constituye la mayor parte de la carga total de sedimento transportado en algunos ríos (como el Pilcomayo en Suramérica (Orfeo, 2007) o el Amarillo en Asia (Yang, 1996)). Asimismo, las características que tradicionalmente se otorgan a la carga de lavado son la independencia de las condiciones hidráulicas y la dependencia del suministro de material fino con origen en la cuenca, aunque haya críticas (p. ej. Yang (2005) y Khullar (2010)).

Las ecuaciones que estiman el transporte de sedimento presentan los resultados en capacidad (o sea, suponen cierta la hipótesis de que la disponibilidad de material susceptible de ser transportado es ilimitada). Una condición necesaria, pero no suficiente, para que el transporte de sedimento se encuentre en capacidad es que el sedimento transportado en suspensión y el transportado por el fondo estén relacionados (Graf, 1999). La implicación inversa no tiene por qué ser cierta dado que el transporte de la carga de lavado, que no está relacionada con el material que conforma el cauce, podría encontrarse en capacidad.

Las condiciones para las que un flujo que transporta sedimento en suspensión alcance su capacidad han sido investigadas, sin llegar a un resultado concluyente, a partir de: la potencia del flujo disponible para el transporte (Bagnold, 1966), la supresión de la turbulencia (Itakura y Kishi, 1980) o el análisis de regresión utilizando factores adimensionales (Nalluri y Spavillero, 1998) entre otros. Así, la lista de las ecuaciones disponibles para estimar la concentración limitante es corta y las incertidumbres son aún mayores cuando el sedimento es fino (los limos y las arcillas, con un tamaño inferior a 0.063 mm). Además, algunas de las expresiones excluyen parte del sedimento fino en su intervalo de aplicabilidad.

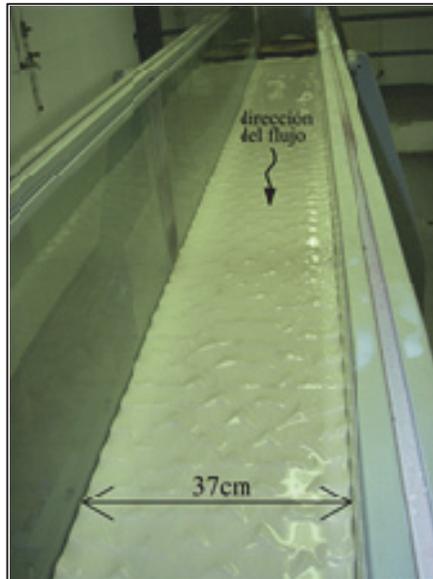


Figura 1. Depósito y formas de fondo de sedimento fino ($D_{50} = 19 \mu\text{m}$)

En un experimento previo realizado (Pineda, 2010), la incorporación de sedimento fino no uniforme ($D_{50} = 0.025 \text{ mm}$, $\sigma_g = (D_{84}/D_{16})^{0.5} = 2.5$, donde D_x indica el tamaño de la partícula para el cual el $x\%$ del material es más pequeño y σ_g es la desviación típica granulométrica) en un flujo de agua clara en un canal de contornos fijos y lisos produjo la sedimentación de parte del sedimento y la aparición de formas de fondo (figura 1). Las condiciones del flujo cumplían los requisitos de Nordin (1985) para definir el sedimento como carga de lavado y por lo tanto se esperaba que no hubiera sedimentación:

$$U_f/V_s \geq 1.25 \text{ cuando } \theta \geq \theta_c$$

Donde U_f es la velocidad de corte, V_s la velocidad de caída de las partículas, θ la tensión de corte adimensional de Shields y θ_c la tensión de corte adimensional crítica de Shields para el inicio del movimiento. En particular, los datos del experimento fueron:

$$U_f/V_s = 9 > 1.25 \text{ y } \theta = 0.46 > \theta_c = 0.15 \text{ calculado a partir de Cao et al. (2006)}$$

La concentración de sedimento en suspensión medida fue de 14 g/l, un 56% de la máxima prevista, aunque al cabo de un corto tiempo. La estimación de la concentración limitante según las distintas ecuaciones es, sin embargo, mucho menor (hasta dos órdenes de magnitud), por lo que tampoco explican el valor medido en el canal. El uso de una ecuación de transporte como la de Yang (1996), aunque en parte fuera del intervalo de tamaños para la que es aplicable, sí es justificable porque una vez alcanzada la concentración limitante, la sedimentación de parte del material fino de la carga de lavado lo transforma gradualmente en sedimento con origen en el cauce. Pero aun así, la concentración de sedimento transportado que se obtiene es muy diferente al valor real.

A raíz de los hechos observados, se llevará a cabo una serie de experimentos con sedimento fino para simular la carga de lavado. Algunas de las cuestiones que se plantean son: ¿Se puede definir un criterio para estimar la concentración limitante de carga de lavado en un flujo? ¿Es posible prever la sedimentación de material fino en el cauce? Estas dos preguntas se contestan confirmando o rectificando algunas expresiones existentes de concentración limitante ¿Es igual el proceso de transporte de la carga de lavado y de sedimento con origen en el cauce cuando se supera la capacidad del primero?, es decir ¿se puede extender el conocimiento de transporte de sedimento con origen en el cauce al transporte de carga de lavado cuando esta carga deja un depósito en el fondo? ¿Cómo influye la rugosidad del cauce en el transporte de finos?, es decir, si el fondo es más grueso que los finos, ¿cambia la concentración limitante?.

Es interesante resaltar que la combinación del estudio de la concentración limitante de sedimento transportado (la capacidad) y de la utilización de material fino no es la más frecuente, siendo el tamaño arena el más habitual en este tipo de ensayos. Singularizar para los tamaños más finos contribuirá a mejorar el entendimiento de la carga de lavado tradicionalmente obviada.

Referencias

Bagnold, R.A., (1966). An approach to the sediment transport problem from general physics. U.S. Geological Survey Paper 422-I.

Cao, Z.; Pender, G.; Meng, J., (2006). Explicit formulation of the Shields diagram for incipient motion of sediment. Journal of Hydraulic Engineering.

Khullar, N.K., (2007). Transport of fines/ wash load through channels – A review. *Hydrology Journal*.

Khullar, N.K.; Kothyari, U.C.; Ranga Raju, K.G., (2010). Suspended wash load transport of nonuniform sediments. *Journal of Hydraulic Engineering*.

Itakura, T.; Kishi, T., (1980). Open Channel Flow with suspended sediment. *Journal of the Hydraulics Division*.

Nalluri, C.; Spaliviero, F., (1998). Suspended sediment transport in rigid boundary channels at limit deposition. *Water Science and Technology*.

Nordin, C.F., (1985). Discussion of “The Principle and Application of Sediment Effective Power”. *Journal of Hydraulic Engineering*.

Orfeo, O., (2007). Río Pilcomayo: Análisis del transporte de sedimentos en Misión La Paz (Prov. de Salta). CECOAL-CONICET. En línea: <http://www.hidricosargentina.gov.ar/analisisfeb07.PDF> (Consulta: 10 de Junio de 2012)

Pineda, C., (2010). Transporte en suspensión en una cuenca pirenaica degradada. Tesina de especialidad. Escuela T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPC, Barcelona.

Yang, C.T., (1996). *Sediment transport: Theory and practice*. Mc Graw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. Mc Graw-Hill, New York.

Yang, C.T.; Simoes, F.J.M., (2005). Wash load and bed material load transport in the Yellow river. *Journal of Hydraulic Engineering*.

ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA DE UN TRAMO DE CAUCE ALUVIAL SOMETIDO A UNA EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS. RÍO ÉSERA EN PERARRÚA

Pedro Millán⁽¹⁾, Francisco J. Vallés⁽¹⁾, Ignacio Andrés-Doménech⁽¹⁾, J.A. López-Tarazón⁽²⁾, G. Lobera⁽²⁾, A. Tena⁽²⁾, D. Vericat⁽²⁾, R.J. Batalla⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. pedmilro@cam.upv.es

⁽²⁾ Universitat de Lleida

Los cauces son el resultado de la acción del flujo en avenidas, sobre sus contornos naturales, provocando ésta cambios morfológicos importantes a través de mecanismos de erosión, transporte y sedimentación. El flujo es de esta manera y en general, bifásico de agua y sedimentos. Se alcanzan así sucesivos estados de equilibrio dinámico.

Algunas de las presiones humanas sobre los ríos alteran estos equilibrios dinámicos, amenazando el hábitat de diversas especies acuáticas. Alcanzar un nuevo equilibrio dinámico puede costar mucho tiempo.

Una presión antrópica muy habitual en cauces aluviales es la extracción de grava. Esta actividad afecta a las características del cauce principalmente a escala local, pero su efecto también puede propagarse aguas arriba y aguas abajo. Las formas sedimentarias se modifican durante la extracción y la diversidad de hábitats se ve seriamente afectada.

En este trabajo se examina la evolución morfodinámica de un tramo del río Ésera (CHE), a su paso por el pueblo oscense de Perarrúa, el cual experimentó una extracción puntual de grava muy intensa en el año 2011 (figura 1).

Como se puede ver en la figura 1, tanto la barra central (que era estable y estaba parcialmente vegetada) como dos barras más pequeñas situadas aguas arriba, fueron eliminadas con la extracción.

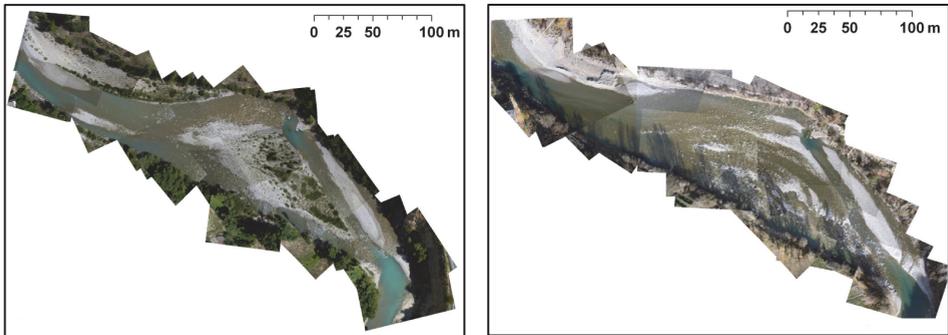


Figura 1. Fotografía aérea del tramo de estudio antes de la extracción de gravas (izquierda) y después de la misma (derecha)

La generación de sendos MDT, pre y post-extracción (figura 2), permite apreciar cambios en la pendiente y la morfología del tramo. Asimismo, se calcula que el volumen total de sedimentos extraídos es del orden de 5000 m^3 .

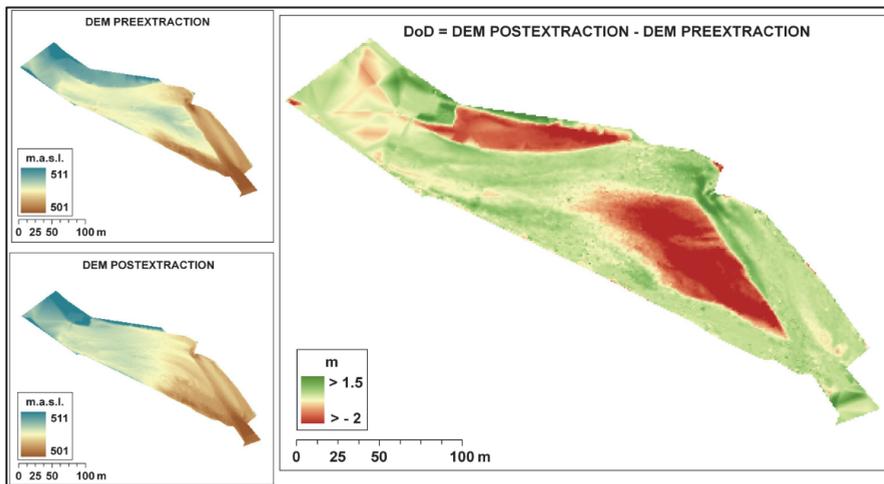


Figura 2. Izquierda: MDT del tramo de estudio antes y después de la extracción. Derecha: MDT de la diferencia de elevaciones entre ambas situaciones

Las simulaciones hidráulicas se han realizado con el modelo GUAD-2D (INCLAMSOFT). En la figura 3 se muestran los resultados de velocidad y calado para cada escenario simulado (pre y post-extracción), correspondientes

a $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (media de los mínimos mensuales de la serie histórica), de interés desde el punto de vista de la simulación de hábitats. Se observa una clara reducción de la velocidad y calado debido al aumento de la anchura del tramo.

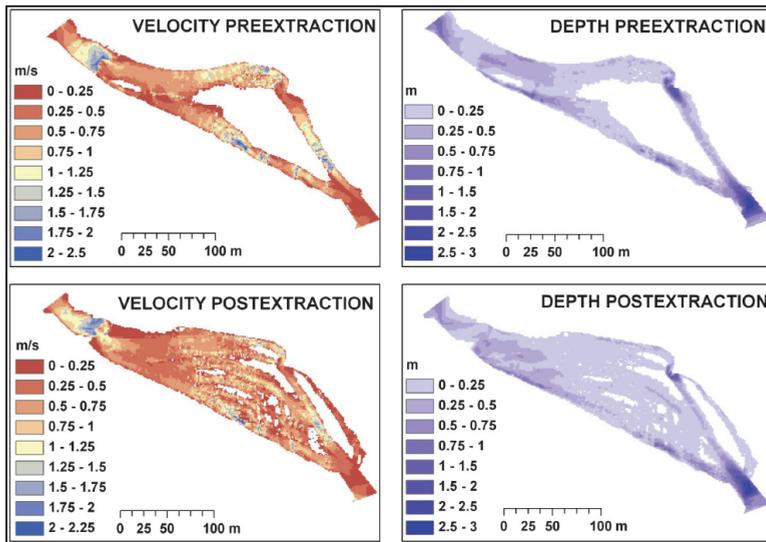


Figura 3. Resultados de las simulaciones hidráulicas para $Q=5.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Agradecimientos

Esta investigación está financiada por el M^o de Economía y Competitividad a través del proyecto Consolider-Ingenio 2010 CSD2009-00065 (2009-2014).

ANÁLISIS DE CAMBIOS MORFODINÁMICOS EN CAUCES DEBIDOS AL PASO DE AVENIDAS. APLICACIÓN AL TRAMO FINAL DEL RÍO PALANCIA

Beatriz Nácher, Eduardo Albentosa, Francisco J. Vallés, Ignacio Andrés-Doménech

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. beanacro@cam.upv.es

El estudio morfodinámico de los cauces fluviales es una herramienta que permite analizar la evolución en planta y perfil del curso de un río debida al paso de sucesivas avenidas por el mismo, determinándose las zonas donde se producen erosiones o deposiciones de material. Este tipo de estudios deben tener en cuenta tanto la erosión general como la erosión local producida en el entorno de las estructuras insertas en el cauce. En este último caso, cabe destacar los puentes cuyas pilas y estribos producen un estrechamiento de la sección útil, así como los que tienen la solera protegida.

El análisis de la erosión se ha planteado en este trabajo desde el punto de vista de las tensiones tangenciales que el flujo produce sobre el material del lecho. Se asume que si dichas tensiones superan la tensión crítica de las partículas del lecho, en caso de que sea aluvial, se produce la erosión de dicha zona.

El caso de estudio al que se aplicó esta metodología se corresponde con el último tramo del río Palancia, desde su paso por Sagunto hasta la desembocadura. En este tramo, el cauce está constituido tanto por material aluvial de un diámetro considerable (en torno a los 0.16 m), como por material rocoso, fundamentalmente arcillas muy compactadas y conglomerados.

El cauce del río Palancia sufrió cambios morfodinámicos importantes durante el fenómeno de la gota fría de octubre del año 2000, del que se ha realizado un estudio hidrológico para determinar el hidrograma de avenida en su paso por Sagunto. Contando con información topográfica y geomorfológica de campo, de antes y después del paso de dicha avenida, se pueden comparar los resultados obtenidos con la metodología propuesta con lo que realmente se observó en el cauce. En este tramo existen tres puentes con el lecho rigidizado, lo que permite determinar la validez del método tanto en cauce abierto como en el entorno de estructuras fluviales.

Para el modelo y la simulación bidimensional, que se llevó a cabo con GUAD 2D, se utilizó la información topográfica citada, del año 1997. Esta topografía fue completada con información gráfica obtenida de fotografías anteriores a la avenida, sobre todo en el entorno de los tres puentes. También se llevó a cabo un estudio de rugosidades de toda la zona del cauce.

Como resultado del análisis hidráulico se obtienen las tensiones tangenciales desarrolladas en el tramo de estudio. Comparando la tensión crítica de los materiales aluviales del cauce con la tensión tangencial calculada, se obtienen mapas binarios de movimiento–no movimiento (figura 1), que se comparan con las zonas erosionadas según fotos aéreas de antes y después de la avenida.



Figura 1. Mapa de movimiento - no movimiento. Detalle en la zona de dos de los puentes del cauce

Las conclusiones principales que se derivan del trabajo realizado son:

- Para el material aluvial, el modelo representa de manera correcta las principales zonas donde se produjo la erosión del material.
- Para la zona de material rocoso es necesario implementar una metodología que represente la erosión de este material, diferente a la tensión crítica en función del diámetro del material.
- Para la erosión de los materiales localizados en el entorno de los puentes no se puede aplicar la metodología expuesta, ya que la movilización del material en la zona de influencia de las estructuras se produce mucho antes que si ese mismo material estuviera localizado en una zona de “cauce abierto”. Es necesario realizar un estudio de cómo afecta la protección de la solera de los puentes a la erosión que se produce aguas abajo de los mismos, ya que en el caso del río Palancia se observaron erosiones muy importantes que no se están reproduciendo correctamente (figura 2).



Figura 2. Erosión aguas abajo del Puente de Canet

SEGUIMIENTO ÓPTICO DE PECES (2D Y 3D) EN ESCALAS DE HENDIDURA VERTICAL CON TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL

Álvaro Rodríguez, María Bermúdez, Juan R. Rabuñal, Jerónimo Puertas

Universidad de A Coruña. arodriguezta@udc.es

Los medios acuáticos son hábitats donde se desarrollan gran cantidad de especies animales y vegetales. La composición, estructura y funcionamiento de estos ecosistemas es fácilmente alterable por las actividades antrópicas como la construcción de obras transversales en el río.

Dichas acciones han provocado transformaciones especialmente destacables en el caso de los peces, más vulnerables que la vegetación cuando varían las condiciones hidráulicas del medio.

Las escalas de hendidura vertical son una de las soluciones empleadas para adaptar una instalación o estructura para permitir a los peces sobrepasar el obstáculo de cierta envergadura.

El funcionamiento hidráulico de las escalas se ha obtenido mediante estudios experimentales en modelos reducidos. Sin embargo no existen hasta la fecha trabajos que conecten los estudios hidráulicos con los parámetros biológicos de los peces.

El objetivo de este proyecto es el desarrollo de un sistema de visión artificial para el seguimiento de la trayectoria de natación de peces: Este sistema se utilizará en ensayos con individuos vivos para la evaluación de la eficacia biológica de las escalas recogiendo información sobre la posición, velocidad y aceleración en cada instante del animal mediante un sistema de adquisición óptico y un procesamiento automático utilizando diferentes técnicas de Visión Artificial.

Para la consecución de dicho objetivo se ha construido un sistema de Visión Artificial consistente en 28 cámaras de gran angular, parcialmente sumergidas desde un punto de vista cenital. Dicho sistema se ha integrado en modelo escala de 27 x 4,5 m dividido en piscinas de PVC conectadas por hendiduras

verticales construido en el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de Madrid (CEDEX).

Este sistema se ha utilizado con éxito para el seguimiento de la trayectoria de los peces a partir de las imágenes recolectadas por las cámaras.

Para ello se ha desarrollado un algoritmo basado en Redes de Neuronas Artificiales (RNAs) de tipo mapa auto organizativo (redes SOM) para aislar la superficie del pez en las imágenes de cada cámara, obteniendo el centro de su masa mediante un análisis de cuerpos conexos.

El conjunto de cámaras se calibrado mediante un modelo de cámara proyectivo que permite eliminar la distorsión introducida por la lente y la refracción lumínica y proyectar las imágenes de las 28 cámaras en modelo 2D de la escala donde se ha proyectado el mapa de velocidades de la escala confeccionado mediante estudios experimentales.

Esto permite reconstruir la trayectoria y velocidades del pez en cada instante, extraer su velocidad de natación a partir de la velocidad aparente y la velocidad del agua y extraer diferentes parámetros biológicos.

Se han realizado diferentes estudios con ejemplares vivos en el sistema desarrollado, extrayendo estadísticas de tiempos y zonas de descanso, aceleraciones y trayectorias de paso por hendidura para decenas de ejemplares de diferentes especies.

Es sistema 2D construido y validado mediante los ensayos realizados, será extendido para reconstruir la trayectoria en 3 dimensiones del pez lo largo de la escala integrando cámaras de perspectiva lateral integradas con el sistema actual usando técnicas de calibración conjunta que permitirán reconstruir la posición del pez en las 3 dimensiones espaciales usando las perspectivas lateral y cenital del pez para un mismo instante.

Este sistema permitirá utilizar la redundancia debido a la utilización de múltiples cámaras para eliminar falsas detecciones e integrar las posiciones (x,y,z) del pez (o peces) obtenidas para cada instante, en un modelo probabilístico conocido como Filtro de Kalman que utilizará un modelo dinámico construido a partir de las leyes físicas que definen el movimiento del pez, y que obtendrá una estimación óptima de la posición espaciotemporal del pez usando las mediciones del sistema de visión artificial, que contendrán componentes de ruido e incertidumbre.

VALIDACIÓN DEL ESQUEMA NUMÉRICO DEL MÓDULO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE FONDO – MODELO IBER

Georgina Corestein, Ernest Bladé

Instituto FLUMEN. georgina.corestein@upc.edu

En esta comunicación se presenta parte de los trabajos realizados en el desarrollo del módulo de transporte de sedimentos de fondo del modelo Iber. En particular se centra en los avances en la validación de la implementación numérica actual presentando dos casos, uno teórico y otro basado en datos de laboratorio.

Como es sabido la validación de los modelos de simulación numérica no es trivial, y en el caso del transporte de sedimentos presenta retos específicos. La implementación debe poder gestionar las diferencia entre la velocidad de propagación de la onda de la hidrodinámica y del sedimento [1][2].

No existen muchos ejemplos teóricos que puedan usarse para verificar la implementación en el caso bidimensional y es por este motivo que se ha popularizado ([3][1][4]) un caso de prueba con solución exacta propuesto en 1987 por De Vriend [5]. Este caso test consiste en un área de 1000m x 1000m con una duna de arena de forma cónica cuya forma viene dada por la ecuación:

$$B(x, y, 0) = \begin{cases} \sin^2\left(\frac{\pi(x-300)}{200}\right) \sin^2\left(\frac{\pi(y-400)}{200}\right) & \text{if } 300 \leq x \leq 500, 400 \leq y \leq 600, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

siendo B la cota del fondo. Se espera que esta duna se propague adquiriendo una forma de estrella.

Para estimar el caudal sólido se emplea la fórmula de Grass [6] que es una expresión sencilla que no requiere el cálculo de tensiones críticas y que por este motivo reduce el número de variables involucradas en el cálculo.

$$q_b = A_g |v| |v|^{m_g - 1}$$

Para esta expresión y siguiendo la propuesta de De Vriend [5] puede calcularse el ángulo de propagación como: $\tan \alpha = \frac{3\sqrt{3}(m_g-1)}{9m_g-1}$ usando $m_g=3$, resulta $\alpha=21.7867893^\circ$.

En la figura 1 se muestran los resultados de las simulaciones realizadas con Iber, se observa que se consigue la forma de estrella esperada y que el ángulo de propagación se aproxima satisfactoriamente al valor exacto.

El estudio comparativo con datos de laboratorio se realiza empleando los valores recogidos en una serie de ensayos realizados en las instalaciones de Laboratorio de Hidráulica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Coruña como parte de la tesis doctoral de Enrique Peña [7]. Los ensayos se realizaron en el canal de 15 m de longitud y sección de 0.5m x 0.5m; el caso que se presenta se realizó introduciendo una capa de arena de 4.5 cm en la parte central del canal (Figura 2); las condiciones hidrodinámicas fueron de caudal constante 21.8 l/s a la entrada y nivel fijo 11.5 cm a la salida.

En la figura 2 también se presentan los resultados conseguidos mediante simulación numérica. La figura muestra el perfil longitudinal en el centro del canal donde puede observarse la evolución del fondo del mismo en tres instantes de tiempo: 0s, 7200s y 29500s.

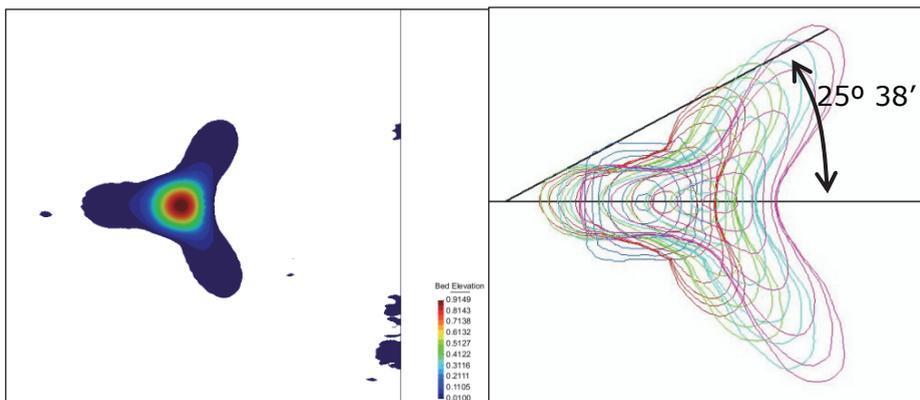


Figura 1. Evolución de la forma de la duna. Mapa de colores de un instante de la propagación (izq). Curvas de nivel desde instante inicial hasta 100 h y ángulo aproximado de propagación obtenido (der)

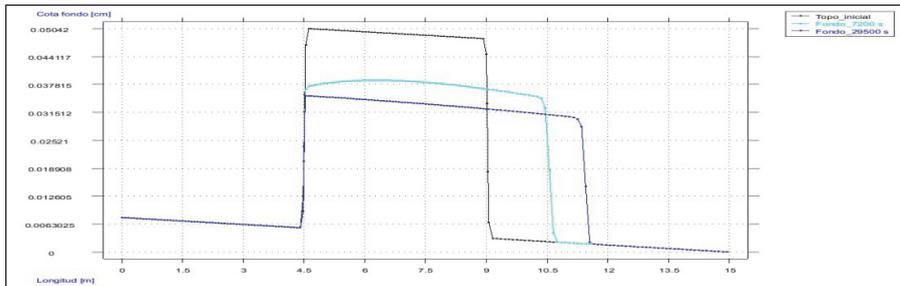


Figura 2. Resultados de la simulación de la evolución de la cota del fondo correspondiente al ensayo de caudal constante 21.8 l/s

Bibliografía

- [1] M.J. Castro Díaz, E.D. Fernández-Nieto, A.M. Ferreiro, C. Parés, Two-dimensional sediment transport models in shallow water equations. A second order finite volume approach on unstructured meshes, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 198 (2009) 2520-2538.
- [2] J. Murillo, P. García-Navarro, An Exner-based coupled model for two-dimensional transient flow over erodible bed, *Journal of Computational Physics*. 229 (2010) 8704-8732.
- [3] J. Hudson, *Numerical Techniques for Morphodynamic Modelling*, University of Reading, 2001.
- [4] A. Serrano-Pacheco, J. Murillo, P. Garcia-Navarro, Finite volumes for 2D shallow-water flow with bed-load transport on unstructured grids Finite volumes for 2D shallow-water flow with bed-load transport on unstructured grids, *Journal of Hydraulic Research*. 50 (2012) 37-41.
- [5] H. De Vriend, 2DH mathematical modelling of morphological evolutions in shallow water, *Coastal Engineering*. 11 (1987) 1–27.
- [6] A.J. Grass, *Sediment Transport by Waves and Currents - Report N^o: FL29*, SERC London Centre for Marine Technology, London, 1981.
- [7] E. Peña González, J.F. Marqués, F. Sánchez-Tembleque Díaz-Pache, J. Puertas Agudo, L.C. Gómez, Experimental validation of a sediment transport two-dimensional depth-averaged numerical model using PIV and 3D Scanning technologies, *Journal of Hydraulic Research*. 46 (2008) 489-503.

LÍNEA PRIORITARIA B

HIDRODINÁMICA DE EMBALSES. GESTIÓN SOSTENIBLE DE EMBALSES

MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DE LA HIDRODINÁMICA DE LA RÍA DE AROUSA EN PERIODOS DE ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA

María Bermúdez ⁽¹⁾, **Luis Cea** ⁽¹⁾, **Jerónimo Puertas** ⁽¹⁾, **Guus S. Stelling** ⁽²⁾, **Julie D. Pietrzak** ⁽²⁾, **Gerben J. de Boer** ⁽²⁾

⁽¹⁾ *Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. Universidad de A Coruña. GEAMA – UDC. mbermudez@udc.es*

⁽²⁾ *Section of Environmental Fluid Mechanics, Delft University of Technology*

La ría de Arousa está situada en la costa oeste de Galicia y sigue la orientación SO-NE. Tiene una superficie de 239 km², una longitud de 33 km, una anchura media de 9 km y una profundidad en el canal principal que ronda los 50-60 m. Se comporta durante todo el año como un estuario parcialmente estratificado. En invierno, la estratificación está determinada por las aportaciones de agua dulce de los ríos, mientras que en verano está causada por el gradiente de temperatura entre las capas superficiales y el fondo. En ambos casos, es necesario el empleo de modelos numéricos tridimensionales si se quieren reproducir adecuadamente las características del flujo dentro de la ría.

En este trabajo se emplea el modelo Delft3D para simular el funcionamiento hidrodinámico de la ría durante los periodos en los que predomina la estratificación térmica. El modelo resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes bajo la aproximación de aguas someras y la hipótesis de Boussinesq. Los procesos de transporte de masa y energía se modelan mediante la ecuación de advección-difusión en las 3 direcciones.

Se realiza una simulación que cubre el periodo comprendido entre el 1 de julio y el 12 de agosto de 2010. Para ello, se utiliza una malla curvilínea formada por 7424 elementos en el plano horizontal y por 25 capas sigma en la vertical (figura 1). En la frontera que limita con el océano se imponen los componentes armónicos de la marea y perfiles verticales constantes de temperatura y salinidad. En los ríos Ulla y Umia se fija la variación diaria de caudal y de temperatura registrada en dicho periodo. En relación con los datos meteorológicos, se utilizan medidas de temperatura del aire, radiación solar, humedad relativa y velocidad y dirección del viento tomados con un intervalo de 10 minutos.

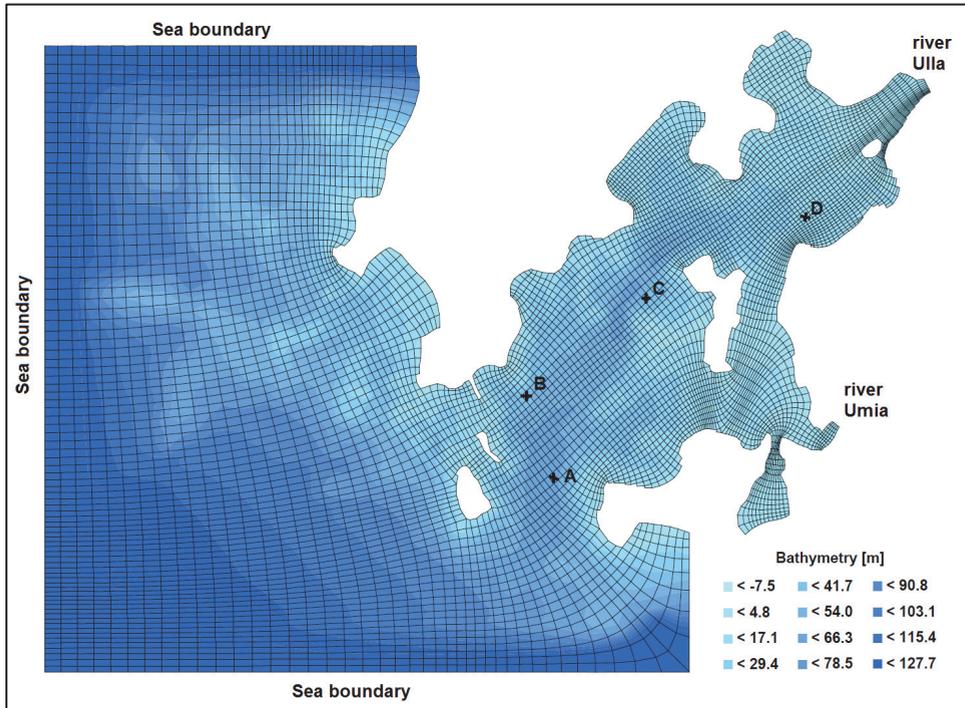


Figura 1. Batimetría y malla utilizada en el modelo numérico. Localización de los puntos de control (A-D) y de los contornos abiertos

Los resultados del modelo se comparan con los perfiles verticales de salinidad y temperatura medidos semanalmente por el *Instituto Tecnológico para el Control de Medio Marino de Galicia* (Intecmar) en las estaciones oceanográficas señaladas en la figura 1. En la figura 2 se muestran los resultados en una de las estaciones de control en dos instantes en los que las condiciones de estratificación son sensiblemente diferentes. Se puede observar como el ajuste entre los perfiles observados y los calculados es satisfactorio.

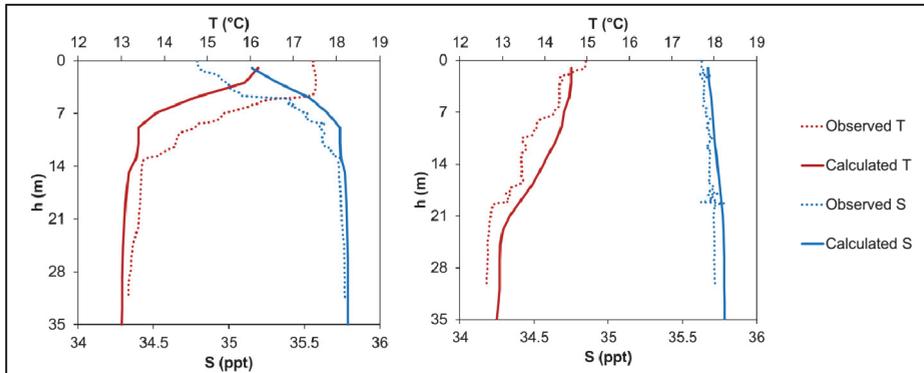


Figura 2. Perfiles verticales de salinidad (S) y temperatura (T) medidos y calculados en el punto de control C en las siguientes fechas: 20-07-2010, 06:10 h (izquierda) y 11-08-2010, 06:55 h (derecha)

Adicionalmente, se llevan a cabo una serie de simulaciones con datos de entrada simplificados para analizar la influencia de la marea, el régimen de viento y el caudal de los ríos Ulla y Umia en las condiciones de estratificación. Como medida global de la estratificación se emplea la anomalía de la energía potencial, que cuantifica la energía necesaria para conseguir una mezcla completa de la columna de agua. Los resultados muestran como este parámetro permite evaluar la importancia de los distintos procesos que generan estratificación y mezcla en la ría.

LÍNEA PRIORITARIA C

RIESGO ASOCIADO A LA ESCORRENTÍA URBANA

CALIBRACIÓN DE UN MODELO DE ESCORRENTÍA URBANA EN LA RED UNITARIA DE SANEAMIENTO DE CIUDAD REAL

Javier González, Luis Rodríguez, Carmen M^a Rincón, M^a Dolores Acosta, Aurelio Cubero

Universidad de Castilla-La Mancha. Javier.Gonzalez@uclm.es

El presente proyecto tiene por objeto la medida y el seguimiento de la producción de contaminantes vinculados a la escorrentía urbana para proponer criterios de diseño de tanques de tormenta en los Municipios del Alto Guadiana. El trabajo que se presenta recoge el estudio realizado sobre la red unitaria de saneamiento de Ciudad Real. El trabajo contiene el seguimiento de estos procesos en campo, mediante la toma de muestras en diferentes puntos de la red, y la construcción de un modelo de escorrentía urbana, que ha sido calibrado a partir de dichas medidas de campo.



Figura 1. Tomamuestras y Datalogger situados en el Campus

La cuenca total analizada tiene una superficie de 124 ha, y recoge los Municipios de Ciudad Real, Miguelturra y Poblete. Se han situado dos puntos de seguimiento en continuo y muestreo en tiempo seco y lluvioso. El primero se sitúa en el punto de desagüe de la red, a la entrada de la EDAR de Ciudad

Real, y el segundo en un punto intermedio de la red, situado en el campus universitario, cubriendo una cuenca meramente residencial.

Mediante el seguimiento en seguimiento en continuo de los caudales y la calidad del agua durante tiempo seco se han caracterizados sus patrones semanales, correspondientes al comportamiento de los vertidos de aguas residuales a la red. Esta caracterización ha permitido establecer los límites en los que oscila cada variable en tiempo seco, y aquellos umbrales que cuando se superan son evidencias de la ocurrencia de un episodio de lluvia y la llegada de la escorrentía urbana asociada, produciéndose la activación del sistema de tomamuestras automático.

El seguimiento de la red se ha realizado durante 18 meses, cuyos datos recogidos han permitido la calibración de la red unitaria completa, construido mediante el software SWMM.

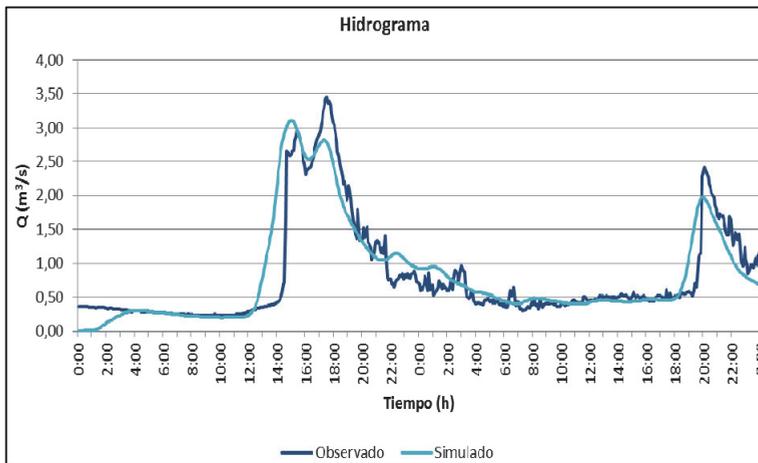


Figura 2. Hidrogramas observado y simulado en la EDAR del 15 al 16 de enero de 2012

Tras la calibración de los parámetros relacionados con la producción del flujo de escorrentía, como de la calidad del agua de escorrentía, se ha obtenido un modelo de la red que permite el diseño de una estrategia de tanques de tormenta en esta red, para la disminución de los vertidos directos al cauce con alta concentración de contaminantes procedentes de la escorrentía urbana.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS DE DESCARGA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE EN EL MARCO DEL PROYECTO EUROPEO LIFE+ AQUAVAL

Miguel Martín, Carmen Hernández-Crespo, Nuria Oliver, Sara Gargallo, Sara Perales

IIAMA. Universidad Politécnica de Valencia. mmartin@hma.upv.es

El objetivo del presente trabajo es el de realizar una caracterización físico-química de los efluentes de SUDS con el fin de evaluar la incidencia en la calidad de las aguas que acceden al sistema de colectores urbanos comparándola con muestras obtenidas en la misma zona drenada en donde no existan.

La principal dificultad que se plantea en el estudio de la calidad de las aguas de escorrentía urbana es el de su gran variabilidad temporal y espacial. La primera depende no solo de la duración e intensidad del evento de precipitación, sino del tiempo transcurrido entre eventos que puedan generar escorrentías susceptibles de lavar las superficies urbanas y alcanzar la red de alcantarillado. La variabilidad espacial viene determinada por las diferentes tasas de acumulación de sustancias por deposición seca desde la atmósfera, que dependen de las actividades humanas en el entorno considerado como por ejemplo las emisiones atmosféricas de industrias. Los usos más o menos intensivos de las calzadas (circulación de vehículos), la presencia de zonas vegetadas (restos vegetales), entre otros factores, condicionan la calidad de este tipo de aguas.

La caracterización se va a llevar a cabo en distintos elementos construidos en los núcleos urbanos e industriales de Xàtiva y Benaguasil, en la provincia de Valencia y que ya han sido descritos en la comunicación "*Monitorización de sistemas urbanos de drenaje sostenible en el marco del proyecto europeo life+ aquaval*". Las variables de calidad de aguas a determinar van a ser: Sólidos suspendidos, DBO_5 , $DBO_{límite}$, DQO, Nitrógeno total (NT) y Fósforo total. Otros componentes que pueden ser de interés determinar en este tipo de aguas urbanas como metales pesados, hidrocarburos y aceites y grasas quedan, de momento, fuera del alcance de este trabajo. La toma de muestras se realizará

de dos formas diferentes: mediante botellas instaladas *in situ* que recogerán las primeras escorrentías generadas en lo que se denomina “primer lavado” y mediante toma de muestras durante el evento. Se ha previsto que se realicen un total de 14 muestreos en los puntos seleccionados.

En algunos de los elementos se podrá comparar la diferencia de calidad de las aguas procedentes de las superficies frente a otras superficies próximas de carácter diferente (casos del aparcamiento permeable y del tejado vegetado de la escuela). En otros, se evaluará la capacidad de retención de agua y contaminantes (balsas y cunetas vegetadas) frente a su no existencia.

Se trata, en suma, de realizar una primera aproximación cuantitativa de la carga contaminante interceptada por estos sistemas como argumento adicional al clásico hidráulico para su diseño y construcción.



Figura 1. Zona de entrada de escorrentías al Parque Costera de L'Ermita en Benaguasil. Se señalan las arquetas para toma de muestra fija de esta agua



Figura 2. Canal de entrada de escorrentías de la calzada a una cuneta vegetada en Xàtiva (por ejecutar). El tomamuestras se ubicará en el propio talud de la cuneta vegetada

MONITORIZACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE EN EL MARCO DEL PROYECTO EUROPEO LIFE+AQUAVAL

Ignacio Andrés-Doménech, Francisco J. Vallés, Pedro Millán, Beatriz Nácher, Sara Perales

IIAMA. Universitat Politècnica de València. igando@hma.upv.es

En el marco del proyecto europeo Life08ENV/E/000099 AquaVal, el IIAMA participa en dos contratos de I+D+i para el análisis de la mejora que supone en la calidad y en la cantidad de las escorrentías urbanas el uso de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en las infraestructuras de demostración construidas en Benaguasil y Xàtiva (Valencia) como estanques de infiltración, pavimentos permeables o aljibes de reutilización.

Durante un período de año y medio, se pretende monitorizar y muestrear las entradas y salidas de agua a estas infraestructuras para analizar la mejora que supone el uso de estas técnicas, en los sitios piloto ejecutados en ambos municipios y adelantarse, de forma pionera, a la demostración de la validez de este tipo de infraestructuras en climas semiáridos como el mediterráneo.

La propuesta de SUDS en Benaguasil consiste en la implantación de cuatro zonas:

- Zona B1. Cuencos de detención e infiltración en el Parque Costa Ermita.
- Zona B2. Aljibe en el Centro de Juventud.
- Zona B3. Balsa de infiltración en Polígono Industrial Les Eres (figura 1).
- Zona B4. Aparcamiento con pavimento permeable junto a la piscina cubierta (figura 1).

Por su parte, la propuesta de SUDS en Xàtiva contempla la implantación de otras tres zonas:

- Zona X1. Cuneta vegetada y cuenco de laminación-infiltración en Ciudad del Deporte (figura 2)
- Zona X2. Cuneta vegetada en la Ronda Norte.
- Zona X3. Cubierta verde, aljibe y pavimento permeable en el Colegio Público Gozalbes Vera (figura 2).

El objetivo fundamental del análisis de variables de cantidad es el análisis, junto con la pluviometría, de los caudales entrantes y salientes en cada infraestructura, de forma que se pueda determinar su eficiencia hidrológica en cuanto a volúmenes de escorrentía gestionados. Todo ello lo permitirá la implantación de instrumentación y dispositivos como:

- Pluviógrafos.
- Aforo de caudales mediante vertedero triangular y sonda de nivel.
- Aforo de caudales mediante sonda de ultrasonidos.
- Aforo de caudales mediante medidores de balancín.
- Aforo de caudales de reutilización mediante contador convencional.
- Dispositivos in situ de almacenamiento de datos.



Figura 1. Infraestructuras de demostración en Benaguasil. Pavimento permeable (izquierda) y balsa de infiltración (derecha)



Figura 2. Infraestructuras de demostración en Xàtiva. Cubierta donde se implantará la cubierta verde (izquierda) y cuneta vegetada en ejecución (derecha)

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ROTURAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Ángela Martínez, Luis Garrote

Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica y Energética. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. UPM. angelamartinezcodina@gmail.com

Se presenta una metodología para analizar estadísticamente las roturas de tuberías en redes de distribución de agua a partir de los datos disponibles, en su relación con las presiones de cabecera de los sectores en los que se dividen dichas redes de distribución, con el fin de ayudar a la toma de decisiones a los gestores del agua. Es una metodología sistemática que se puede aplicar en diferentes sectores y en cualquier red de distribución de agua y que consiste en el filtrado inicial de datos, el empleo de unos indicadores estadísticos que se definen a partir de los datos filtrados, un análisis de sensibilidad de los indicadores y la aplicación del teorema de Bayes. El empleo de un sistema de indicadores es una manera sencilla y cómoda de resumir la gran cantidad de información almacenada en las bases de datos. Para obtener los indicadores que representen mejor el aumento de la probabilidad de fallo en las tuberías, se comparan las funciones de distribución de los indicadores antes de que se produzca la rotura, variando las horas anteriores a las incidencias en las tuberías, y las funciones de distribución de diferentes series de tiempo aleatorias, así como de la serie completa de presiones de cabecera, mediante la aplicación de test estadísticos. Además, es necesario aplicar un análisis de sensibilidad de los parámetros de los que dependen los indicadores y de las variables de cálculo como puede ser el periodo en que se determinan los indicadores. Finalmente, se buscan los valores de los indicadores que hacen que la probabilidad de fallo, condicionada a dichos valores, hacen que la probabilidad de rotura sea más elevada

LÍNEA PRIORITARIA D

SEGURIDAD DE PRESAS. ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

EXPERIENCIA DEL PROYECTO ALIVESCA EN ANÁLISIS DE IMÁGENES

Soledad Estrella, Martí Sánchez-Juny, Belén Martí-Cardona, Josep Dolz

Instituto mixto FLUMEN – UPC. marti.sanchez@upc.edu

Introducción

Como ya se presentó en el Seminario de la Red del año pasado, ALIVESCA es un proyecto de investigación experimental cuyo objetivo ha sido establecer los criterios hidráulicos para el diseño de aliviaderos escalonados sin los tradicionales cajeros laterales, específicamente uno de sus objetivos ha sido 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.

Dentro de este ámbito ya se presentaron los resultados obtenidos en cuanto a la distribución de caudales para diferentes anchos de vertido y diferentes caudales específicos en prototipo de hasta $15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. A pesar de que la información obtenida mediante aforo da cuenta de la apertura de la lámina de agua debido a la ausencia de cajeros, se puede ver que es una información puntual y es de nuestro interés poder estimar con mayor precisión la distribución en cada punto del aliviadero.

Con este fin se ha utilizado el análisis de imágenes para conseguir correlacionar la información de imágenes con la distribución de caudal obtenida mediante aforo.

Distribución de caudales obtenida mediante aforo

La distribución de caudales se obtuvo 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. La Tabla 1 ejemplifica la información obtenida mediante aforo para un ancho de vertido de 15m y caudales específicos de 8 y $15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, que ha sido utilizada para el ajuste con análisis de imágenes. Mayor información sobre la distribución de caudales en ALIVESCA se puede encontrar en [1].

q	% der	% cen	% izq	q1	q2	q3	yc/h	yc1/h	yc2/h	yc3/h
8,0	62%	24%	14%	5,68	2,19	1,29	1,56	1,24	0,66	0,46
15,0	63%	20%	18%	10,78	3,36	3,06	2,37	1,90	0,87	0,82

Tabla 1. Ejemplo de la información obtenida por aforo para un ancho de vertido $b_{0\text{ prot}} = 15\text{m}$

Análisis de imágenes

Este trabajo ha consistido en la toma de videos frontales y el análisis de información obtenida con los mismos, con el fin de correlacionar dicha información con el aforo puntual.

Para ello se utilizó una cámara de fotos y video de la marca Panasonic, modelo No. DMC-FZ38, la misma que puede grabar videos a una velocidad de 30 fotogramas por segundo (fps).

Se tomaron videos en blanco y negro durante 8 segundos obteniendo 240 fotogramas los mismos que se promediaron utilizando Matlab, obteniendo para cada ensayo una imagen promedio. Un ejemplo se puede ver en la figura 1, para un caudal específicos de $8\text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

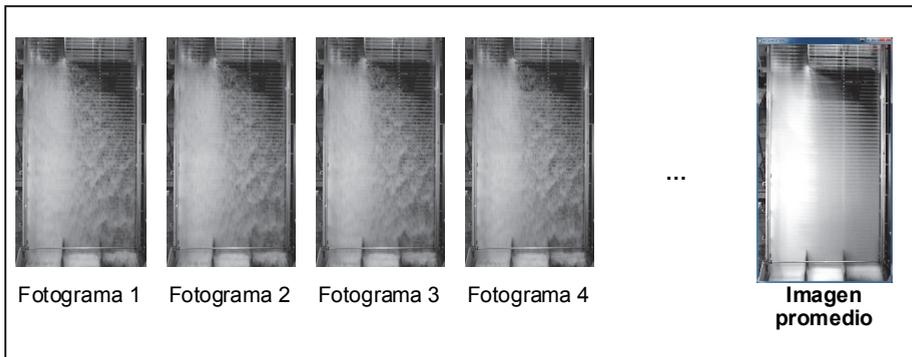


Figura 1. Ejemplo para $q_{e\text{ prot}} = 8\text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ y $b_{0\text{ prot}} = 15\text{m}$

La imagen promedio no es otra cosa que una matriz de filas y columnas a las cuales se les asigna un DN (digital number) el mismo que es proporcional a la radiancia detectada por el sensor de la cámara en su rango de 0 a 255, donde 0 es el negro y 255 el blanco. Procedimientos de análisis de imágenes se pueden encontrar en [2] y referente a su utilización para analizar información experimental en [3].

Así hemos asumido que la información de cada píxel nos puede permitir obtener un aforo distribuido mediante un ajuste con la información de aforo, relacionando el DN con los valores yc/h obtenidos del aforo, donde yc es el calado crítico medido y h es la altura del escalón. El procedimiento y los resultados obtenidos se pueden observar en las figuras 2, 3 y 4.

Figura 2. Datos de la imagen promedio para un $q_{e_prot} = 8\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ y el ajuste por tramos

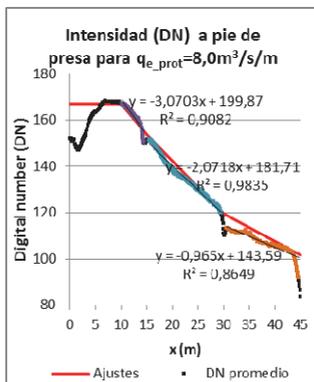


Figura 3. Ajuste de la medida obtenida por medio de aforo de yc/h y DN ($q_{e_prot} = 8\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$).

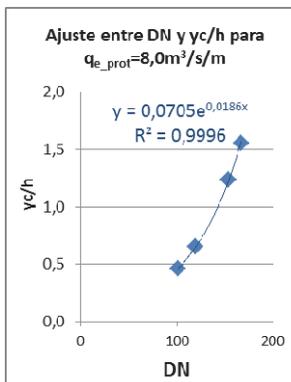
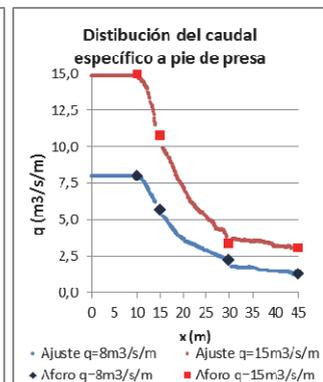


Figura 4. Estimación de la distribución del caudal específico para $q_{e_prot} = 8\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ y $15\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$



Referencias

- [1] Estrella, S. [et al.], 2011. "Aliviaderos escalonados sin cajeros laterales". JIA 2011; II Jornadas de ingeniería del agua. Modelos numéricos en dinámica fluvial. Barcelona 5 y 6 de octubre 2011". 2011
- [2] Marti-Cardona, B. [et al.], 2010 "ASAR polarimetric, multi-incidence angle and multitemporal characterization of Doñana wetlands for flood extent monitoring", Remote Sensing of Environment, vol. 114, pp. 2802- 2815.
- [3] Ruiz-Villanueva, V. [et al.]. "2D modelling of wood transport in rivers". Artículo en revisión.

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD CON MATERIAL DE GRAN TAMAÑO

Ángel Lara, Rafael Cobo, María Pilar Viña

Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX.
rafael.cobo@cedex.es

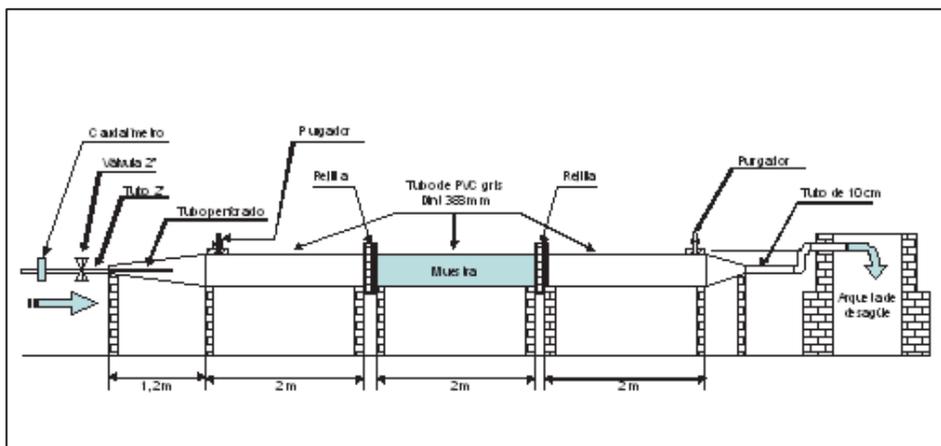


Figura 1

El proyecto de I+D+i “Métodos Numéricos y experimentales para la evaluación de la seguridad y protección de las presas de materiales sueltos en situación de sobreevertido” está siendo realizado por la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la UPM de Madrid, el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería de la UPM de Cataluña y el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

Durante la fase de comprobación del modelo de filtración (no-lineal cuadrático, con coeficientes de Ergun) implementado en el modelo numérico desarrollado en el CIMNE, era necesario tener la seguridad de que se reproducían de forma correcta los fenómenos de filtración que aparecen en las presas ensayadas por el CEDEX y la UPM.

Para ello se proyectó y construyó un aparato que realizara las funciones de un permeámetro, pero a escala mucho mayor, para la medición del gradiente de

presión en una tubería con el mismo material que se estaba utilizando en los ensayos de presas. El material a ensayar sería de un tamaño característico D_{50} de entre 10 mm y 50 mm.

Los caudales de entrada deberían variar por lo menos entre 1 l/s y 10 l/s.

El equipo está alimentado mediante una bomba de potencia adecuada y el caudal se mide con un caudalímetro electrónico.

Se dispusieron siete puntos para la medida de la presión: uno antes de la cámara de material, cinco a lo largo de dicha cámara y otro a la salida de la misma.

Hasta el momento se han realizado ensayos con muestras de 10 mm y 35mm de material seleccionado.

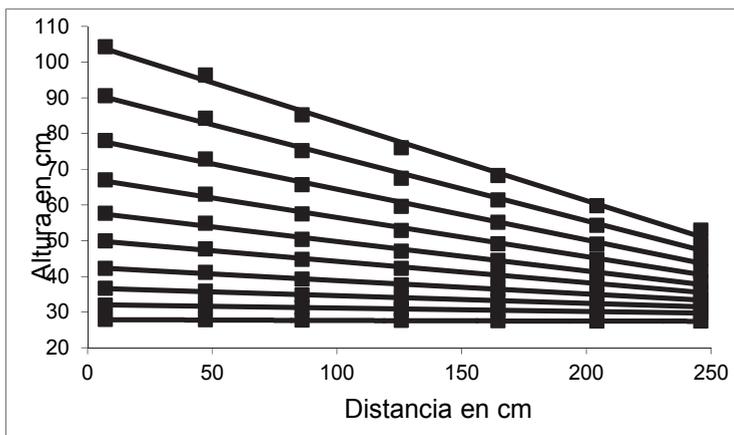


Figura 2

En la gráfica se presenta uno de los ensayos realizados. El material empleado era grava caliza con un $D_{50} = 35$ mm. En el eje X se representa la distancia desde un punto “cero” de las diferentes tomas de presión y en el eje Y se representa la altura de agua en siete tubos piezométricos correspondientes a los siete puntos de medida. La recta superior corresponde a un caudal de 10 l/s y la inferior a un caudal de 1 l/s. El incremento de caudal para el resto de curvas es de 1 l/s. En todos los casos el coeficiente de correlación fue superior al 99%.

FÓRMULA DE ESTABILIDAD PARA TALUDES FRENTE AL DESLIZAMIENTO EN MASA

Hibber Campos, Rafael Morán, Miguel Ángel Toledo

Universidad Politécnica de Madrid. hibber.campos@upm.es

Una parte importante en la caracterización de los mecanismos de rotura de una presa de escollera debido a un sobrevertido, es el estudio de la estabilidad del espaldón de la presa frente a las nuevas tensiones que se generan como consecuencia del campo de presiones intersticiales que se instala en el espaldón debido al caudal de sobrevertido. La saturación total o parcial del espaldón puede provocar la inestabilidad de una parte del espaldón según una superficie de deslizamiento potencial. Dentro del análisis de los movimientos, es de primordial importancia reconocer los factores que condicionan la estabilidad de aquellos otros que actúan como desencadenantes del mecanismo de fallo. La presencia de agua en el espaldón reduce la estabilidad del talud, disminuyendo la resistencia a la rotura de determinadas superficies incrementando las fuerzas que tienden al deslizamiento.

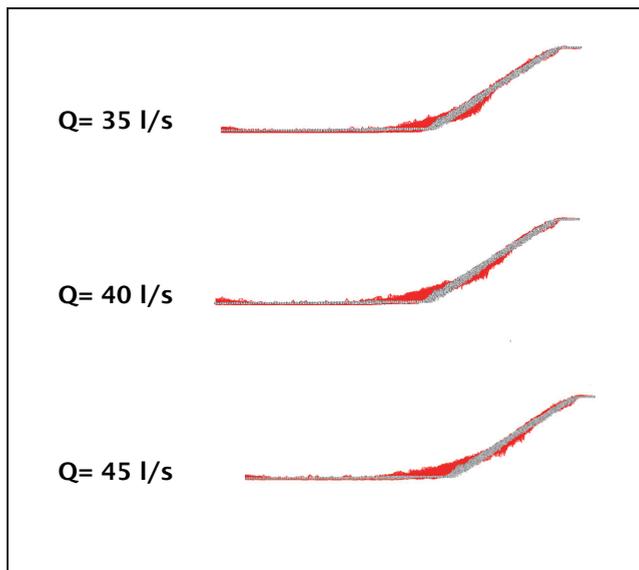


Figura 1. Evolución de la superficie de deslizamiento $H=0,5m$ $N=1,5$ $D_{50}=35,04mm$

Habitualmente los métodos de cálculo de estabilidad de taludes se basan en las teorías del equilibrio límite que consiste en suponer que se puede producir la resistencia al corte máximo a lo largo de toda la superficie de deslizamiento. Los círculos de deslizamiento pésimos son superficiales y se producen en todos los casos en las proximidades del pie de presa, que es donde la presión relativa es mayor.

El objetivo de esta comunicación es validar mediante ensayos en modelo físico la fórmula teórica planteada por Toledo (Toledo, 1998) para describir el límite entre un talud pronunciado y suave mediante la siguiente fórmula:

$$F = \frac{1}{\gamma_{e,sat}} \left(\gamma_{e,sat} - \frac{\beta \gamma_w}{\cos^2 \alpha} \right) \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Donde:

- F** Coeficiente de seguridad frente al deslizamiento en masa
- $\gamma_{e,sat}$** Peso específico de la escollera saturada
- γ_w** Peso específico del agua
- β** Coeficiente de subpresión
- φ** Ángulo de rozamiento interno del material
- α** Ángulo del talud con la horizontal

Una de las grandes incógnitas ha sido siempre obtener el valor de φ . El procedimiento en este caso ha sido verter el material con una pala sobre un muro con la misma altura de la presa a ensayar ($H=0,5m$). Se han obtenido una serie de perfiles con un láser a lo largo del muro y se ha repetido el ensayo 6 veces en las mismas condiciones, sobre los perfiles obtenidos se han eliminado los datos inmediatamente cercanos al pie y a la parte final de la muestra, por considerar que estas zonas se ven influenciadas por las condiciones de contorno del ensayo. El valor obtenido con este procedimiento nos ha dado un valor de $\varphi_1=41,97^\circ$ para un $D_{50}=35,04mm$ y $\varphi_2=36,94^\circ$ para un $D_{50}=12,64mm$.

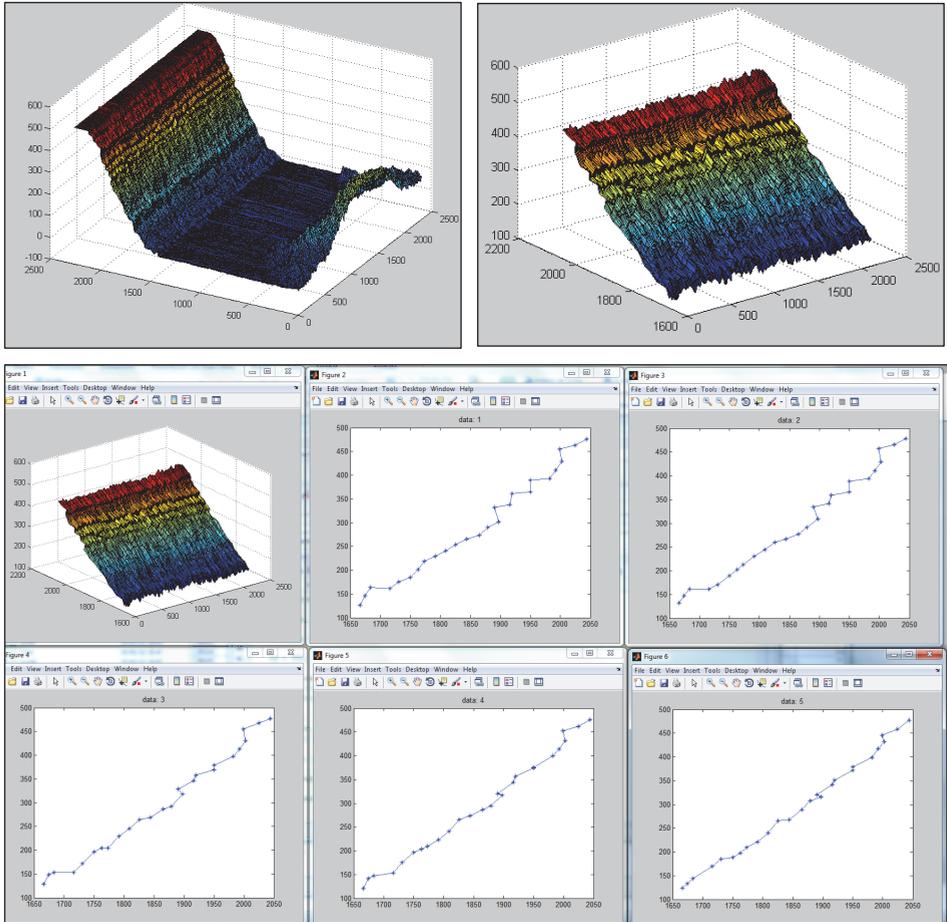


Figura 2. Datos originales y datos filtrados para el cálculo de $\bar{\epsilon}$

SIMULACIÓN HÍBRIDA DEL DESAGÜE DE FONDO DE LA PRESA DE MULARROYA

David López, Miguel de Blas, Juan José Rebollo

Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX. david.lopez@cedex.es

La presa de Mularroya, es una presa de materiales sueltos que se encuentra en construcción. Se sitúa en el T.M. de La Almunia de Doña Godina (Zaragoza). El desagüe de fondo parte del pie de la torre de toma. Consta de dos conductos de unos 50 m de longitud que terminan en la cámara de válvulas. Cada conducto consta de sendas compuertas Bureau de guarda y regulación. Ambos conductos vierten en un canal de 7 m de ancho que posteriormente ensancha a 8.3 m y tiene una longitud total de unos 300 m. Al final del canal se dispone un cuenco de amortiguamiento con protecciones de escollera.

El objeto del estudio es triple. Por un lado analizar el estado tensional en el contorno en la zona de impacto de los desagües de fondo, para comprobar la necesidad de disponer blindajes. En segundo lugar, comprobar el flujo en el canal comprobando que no se producen ondas que afecten a la clave del túnel y pueda provocar una puesta en carga. Y finalmente estudiar la estabilidad del resalto en el cuenco de amortiguamiento y de la escollera de protección.

Para llevar a cabo este estudio se ha planteado una modelación híbrida de la estructura. Se ha modelizado el canal del desagüe con modelo numérico y se ha reproducido en modelo físico el último tramo del canal y el cuenco de amortiguamiento, aprovechando el modelo físico existente del aliviadero.

El estudio numérico se ha dividido también en dos partes bien diferenciadas. Por un lado, se ha realizado una simulación global 2D con el modelo Iber que ha servido para obtener la condición de contorno de aguas arriba del modelo físico (calado y velocidad) y también para calibrar la fricción del modelo tridimensional SPH. La segunda parte del estudio numérico se ha realizado con este modelo 3D, con el que se ha analizado el impacto de los chorros y la formación de ondas en el primer tramo de canal.

En el modelo SPH, se han introducido la condición de fricción, a través de un coeficiente de rugosidad que permite introducir una tensión tangencial en el contorno. Además, se ha implementado la condición de contorno de entrada y

salida de flujo sin necesidad de recirculación, lo que ha permitido establecer el caudal de forma automática.

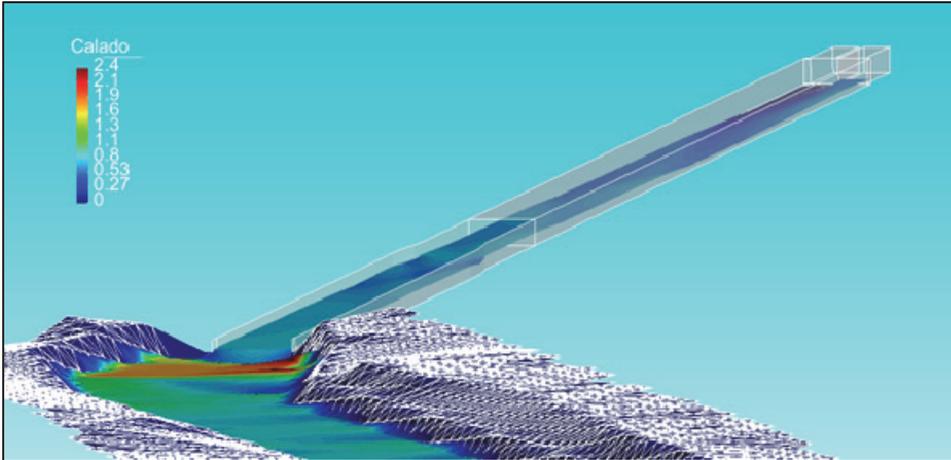


Figura 1. Vista del modelo 2D Iber

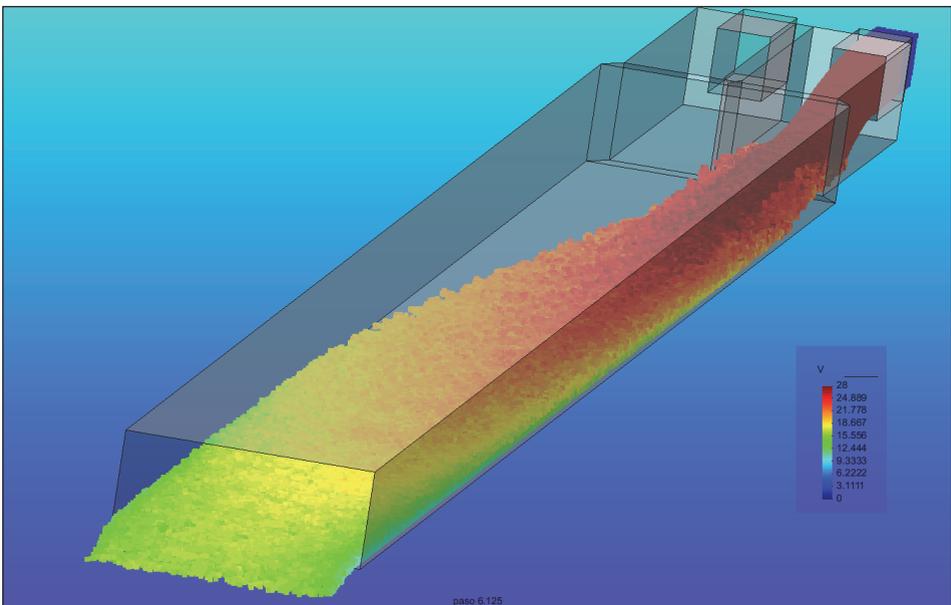


Figura 2. Vista del modelo numérico de detalle SPH

La simulación muestra un buen funcionamiento hidrodinámico, sin que se aprecie la formación de ondas que puedan resultar perjudiciales.

La estabilidad del resalto en el cuenco de amortiguamiento así como la de la escollera de protección se está estudiando en modelo físico.



Figura 3. Vista del modelo físico. Cuenco de amortiguamiento. $Q=98 \text{ m}^3/\text{s}$

MEDIDAS DE VELOCIDAD EN CHORROS RECTANGULARES Y CONTRASTE CON SIMULACIONES CFD. PROYECTO EMULSIONA

Luis G. Castillo, José M. Carrillo

*Grupo I+D+i Hidr@m. Universidad Politécnica de Cartagena.
jose.carrillo@upct.es*

La turbulencia constituye uno de los principales mecanismos de disipación de energía en los aliviaderos de vertido libre. La elevada aireación que sufre el chorro vertiente favorece el amortiguamiento de la energía antes de su restitución al medio natural.

Dentro de los trabajos considerados en el PROYECTO EMULSIONA, el SUBPROYECTO JETEMULSION abarca la medición de concentraciones de aire y velocidades en chorros rectangulares.

El Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Politécnica de Cartagena cuenta con una infraestructura diseñada específicamente para el estudio de disipación de energía en chorros turbulentos (figura 1).



Figura1. Vista de la infraestructura de chorros

La medición de velocidades medias y tasas de aireación en distintas secciones del chorro vertiente se realiza con equipos bifásicos de fibra óptica (figura 2).

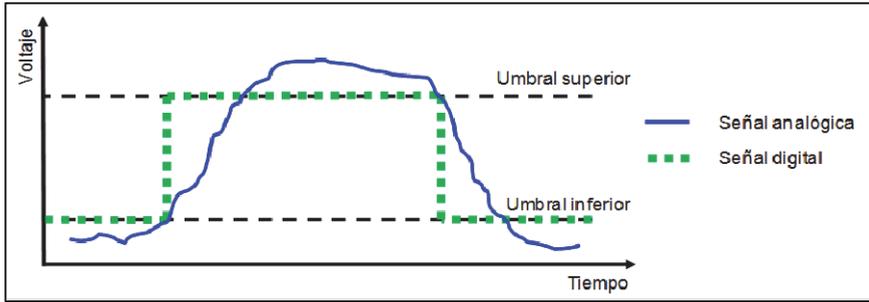


Figura 2. Digitalización de la señal bifásica aire-agua

Los datos obtenidos se comparan con los resultados simulados mediante programas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Las primeras comparaciones entre los resultados obtenidos en el modelo numérico y las mediciones realizadas en el modelo físico muestran una buena concordancia en velocidades (figura 3). Sin embargo, las tasas de aireación simuladas son del orden de un 20 % superiores a las registradas (figura 4).

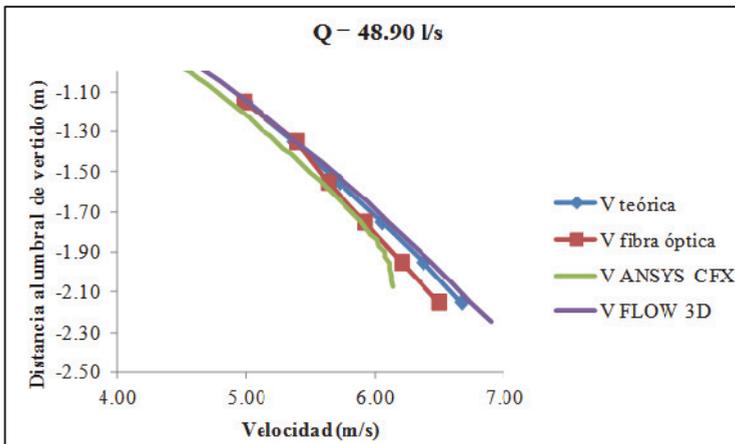


Figura 3. Velocidades en chorro rectangular en caída libre

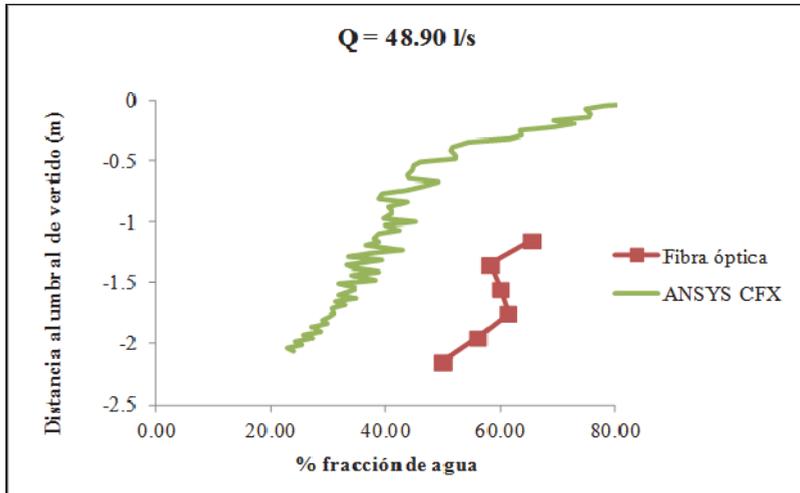


Figura 4. Fracción volumétrica de agua en chorro rectangular en caída libre

EL USO DE MODELOS DE RIESGO PARA LA GESTIÓN DE INUNDACIONES, INCLUYENDO LA EVALUACIÓN DE SEGURIDAD DE PRESAS Y OTRAS INFRAESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN

Ignacio Escuder, Armando Serrano-Lombillo, Luis Altarejos

iPresas, Universidad Politécnica de Valencia. iescuder@hma.upv.es

La comunicación incluye una serie de resultados de investigación y casos prácticos sobre la aplicación de técnicas de análisis de riesgos a la gestión de inundaciones y a la protección de todo tipo de infraestructuras críticas.

El artículo permitirá correlacionar los avances legislativos (Directivas Europeas y sus trasposiciones españolas desde 2007 sobre la gestión de riesgos de inundación y protección de infraestructuras críticas) y herramientas de base tecnológica desarrolladas por los autores en convocatorias competitivas europeas (como ERANET Crue) o españolas (Como el Plan Nacional de I+D) que después se han demostrado útiles para su aplicación a casos reales (por ejemplo el software iPresas o la Metodología SUFRI).

Se acompañarán casos de estudio y ejemplos de ayuda a la gestión en los mencionados aspectos. Con ello se pondrá de manifiesto un campo innovador de aplicación de nuevas tecnologías para los nuevos retos de los ingenieros civiles y de la sociedad en general.