

04-009

REAL-TIME ESTIMATION OF FLOW RATES IN THE FLOOD PLAINS OF THE AZUER RIVER AND JABALÓN RIVER

Martín Utrillas, Manuel ⁽¹⁾; *Benítez Navío, Alberto* ⁽²⁾; *Rubio Balaguer, José Manuel* ⁽³⁾; *Curiel Esparza, Jorge* ⁽¹⁾; *Cantó Perelló, Julián* ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universitat Politècnica de València, ⁽²⁾ Confederación Hidrográfica del Guadiana, ⁽³⁾ Coven s l

The measurement of flow rates in flood plains is a very complex issue. Rivers that run over very flat reliefs easily overflow during floods. When this happens, conventional gauging stations are within the flooded area and do not provide a real measure of the flow rates. A novel method has been developed for a better estimation of the flow rates in this type of rivers. This method has been applied to the Azuer River and Jabalón River. Real-time flows are estimated using a height-flow rate curve obtained by applying a Hec-Ras model. Extensive topographic surveys have been carried out and the appropriate boundary conditions were introduced in the model.

Keywords: flow rates estimation; flood plain; Azuer River; Jabalón River

ESTIMACIÓN EN TIEMPO REAL DE CAUDALES EN LA LLANURA DE INUNDACIÓN DEL RÍO AZUER Y RÍO JABALÓN

La medida de los caudales en zonas húmedas y llanuras de inundación de ríos que discurren sobre relieves muy llanos plantea una gran dificultad. Estos ríos se desbordan fácilmente durante las crecidas o avenidas. Cuando esto sucede la medida proporcionada por las estaciones de aforo convencionales no refleja los caudales realmente circulantes, ya que los dispositivos de aforo quedan inmersos dentro de la zona inundada. Se ha desarrollado un método para una mejor estimación de los caudales en este tipo de ríos. Este sistema se ha aplicado a los ríos Azuer y Jabalón. La estimación del caudal en tiempo real se lleva a cabo utilizando una curva alturas-caudales, obtenida utilizando un modelo Hec-Ras. Para ello ha sido necesario realizar amplios levantamientos topográficos e introducir las condiciones de contorno apropiadas en los modelos.

Palabras clave: estimación de caudales; llanura de inundación; río Azuer; río Jabalón

Correspondencia: Manuel Martín Utrillas mgmartin@fis.upv.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1.Introducción

Las inundaciones son dentro de los peligros naturales los que tienen una mayor incidencia social, económica y territorial, a la vez que son los más frecuentes (Olcina-Cantos, 2008). Las avenidas entrañan grandes riesgos, pudiendo poner en peligro poblaciones y propiedades, como sucedió con la rotura de la presa de Tous (Piqueras, 1983), por ello en la década de los noventa se estableció en España un Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), que tenía por finalidad paliar los riesgos causados por las inundaciones (Del Campo-Benito y Yagüe-Córdoba, 2007).

El sistema SAIH facilita información que permite la prevención de las avenidas, y así poder tomar medidas de diversa índole, que pasan desde la gestión anticipada del sistema de embalses a alertar a la población. Entre los datos que proporciona el SAIH destacan por su importancia, los meteorológicos, los pluviométricos y de modo especial, los caudales circulantes registrados en tiempo real en las diversas secciones de los ríos de la cuenca hidrográfica correspondiente (Membrillera, 2019).

La medida de caudales en los ríos se realiza habitualmente construyendo estaciones de aforo en el cauce. En muchos casos este procedimiento acarrea problemas medioambientales, pues estas infraestructuras constituyen barreras para la fauna piscícola (Sanz-Ronda, Bravo-Córdoba y Martínez de Azagra, 2010) y alteran el régimen de corrientes, produciendo impactos de diversa índole (Cisowska y Hutchins, 2016). La construcción de estas estaciones puede suponer un mayor impacto que la canalización mediante muros de hormigón en las márgenes de un pequeño tramo de río (González del Tánago, y García de Jalón. 1995). Las estaciones de aforo solo pueden ser eficaces si el caudal circulante por el río pasa por la estructura de la estación de aforo. Los ríos de la planicie manchega se desbordan con pequeños caudales, formando llanuras de inundación (DGPC y DGOH ,1985), en las que las estaciones de aforo llegan a quedar inmersas, dejando, por tanto, de ser operativas.

Los ríos Jabalón y Azuer, situados en la cuenca alta del Guadiana, se desbordan fácilmente cuando se producen avenidas, formando llanuras de inundación (DGPC, 2014). A pesar de que en la década de los cuarenta y cincuenta se realizaron actuaciones de encauzamiento, las estaciones de aforo aguas arriba de los embalses de la Vega del Jabalón y de Puerto de Vallehermoso, en el río Azuer este último, quedan inutilizadas al ser anegadas. El desbordamiento de los ríos supone un grave problema para la gestión de las avenidas, ya que es primordial conocer los caudales entrantes en los embalses.

Se ha desarrollado un método novedoso de medida de los caudales, sin utilizar las estaciones de aforo tradicionales. Para medir los caudales hay que establecer secciones de control en aquellos lugares donde se rompe la continuidad de la llanura de inundación, por barreras físicas, bien naturales o artificiales, como son las vías de comunicación. Utilizando esos puntos de paso del agua obligados se puede medir el nivel y establecer una curva de gasto (Aldana-Valverde 2002), que permita conocer el caudal en cada momento. Ello tiene además la ventaja de que no se construyen nuevas infraestructuras, evitando los efectos negativos comentados anteriormente. Se han establecido secciones control en diferentes infraestructuras, para calcular las curvas de gasto a lo largo de los cauces de ambos ríos por medio de un modelo hidráulico.

Al aplicar el método de medida de caudales se supone que en el periodo transcurrido desde la obtención de la curva de gasto, hasta el momento de utilizarla, las condiciones del cauce no cambian de forma significativa, sin embargo, las avenidas y los cambios en la vegetación pueden alterar la curva de gasto (Ven Te Chow, 1994). La situación cambiará tras una avenida, donde se pueden producir modificaciones sustanciales en las condiciones del

cauce. Algunos de estos cambios serán reversibles, ya que el cauce volverá poco a poco a su equilibrio. En todo caso, tras una avenida se deberá evaluar si la curva de gasto sigue siendo válida o si se debe volver a calibrar el sistema.

De ese modo es posible conocer la evolución de los caudales en tiempo real, Información imprescindible en la gestión de episodios de avenidas.

2.Objetivos

El objetivo principal es medir caudales en los ríos en tiempo real, cuando se desbordan formando llanuras de inundación, en las que no es posible utilizar los métodos tradicionales ya que las estaciones de aforo quedan inutilizadas por la avenida.

Objetivo importante es establecer las ubicaciones apropiadas de las secciones de control en los ríos, siendo respetuosos con el medio ambiente y evitar realizar obras e infraestructuras y aprovechar las existentes, como puentes u obras de paso en las que se concentran los caudales.

El siguiente objetivo es obtener el dato de caudal en tiempo real, a través de las medidas de nivel del río.

Por último los caudales se han de poder conocer tanto con las características actuales del cauce, como con las características modificadas por el paso de las avenidas.

3.Metodología

Para conocer el caudal de un río hay que diseñar una herramienta que permita determinar el caudal circulante por una sección de un cauce natural en un momento determinado. El procedimiento de obtención de datos consiste en conocer la altura de la lámina de agua que se alcanza en un momento determinado en la sección de medición o de control, La medición de la altura se realiza mediante un equipo que dispone de una sonda de lectura y emisión de datos que se ubica en una estructura de paso en el cauce. La estructura es fija e inalterable a las avenidas, como un puente, esto permite enviar datos de forma continua a un centro de decisión, tanto en situación normal como en episodios críticos de crecidas y avenidas. Con el sistema de sonda se obtiene la altura de la lámina de agua en el punto de control en tiempo real. La curva de gasto se obtiene al modelizar el cauce, y el flujo circulante.

Para obtener la curva de gasto se deberá realizar la modelización del cauce que pasará por obtener diferentes secciones del mismo a lo largo de su eje longitudinal, aguas arriba y aguas debajo de la sección de control, también conocer la sección longitudinal del cauce a lo largo del citado eje y los posibles obstáculos al flujo que puedan existir, así como son las diferentes estructuras u obras de paso, árboles de gran porte, vegetación en general tanto en el lecho como las laderas del cauce, escombros o restos de vegetación. Una vez conocidas estas características se deberá establecer el funcionamiento del cauce en situación de flujo variado permanente, situación estacionaria en el tiempo con caudal constante, aunque con variaciones en las características del cauce espacialmente, se considera la más adecuada ya que permite aumentar la densificación de puntos de control de caudal circulante con una pequeña inversión.

Se utiliza el programa Hec-Ras de US Army Corps of Engineers (2016), que cuenta con un primer módulo de modelización de la geometría del cauce, donde se define la forma del mismo mediante la introducción de las secciones transversales, la longitud del cauce, la

pendiente geométrica, la existencia de estructuras y sus dimensiones. En segundo lugar se definen las condiciones de funcionamiento hidráulico, de acuerdo con la siguiente secuencia:

-Obtención de los datos de campo. Se hace el levantamiento topográfico del cauce en el entorno de cada estructura que soporta el punto de control y se reconoce el cauce, obteniendo datos sobre sus características hidrológicas como vegetación presente, tipo de terreno y pendiente y así obtener el coeficiente de Manning del cauce (n). También se toman los datos pormenorizados de la sección de la estructura.

- Obtención de n . Se aplica la fórmula: $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$, donde n_0 es el valor básico para un canal uniforme, recto y liso compuesto por los materiales naturales; n_1 considera las irregularidades superficiales; n_2 es función de las variaciones en las secciones transversales del canal en forma y tamaño; n_3 considera las posibles obstrucciones que puedan aparecer en el cauce; n_4 es función de la vegetación que aparece y las condiciones del flujo y m_5 es el factor de corrección de los efectos por meandros en el cauce.

- Modelización de la sección de control. A partir de los datos de campo y utilizando el programa informático se modelizan tanto las estructuras donde se prevé instalar las sondas de lectura como los cauces en el entorno de dichas estructuras.

- Definición de los escenarios posibles con el mismo n . Para cada sección de control se establece mediante el programa informático un proceso de tanteo en el que se obtiene el caudal máximo de agua sin que sobrepase la estructura. Una vez conocido el caudal máximo, se establecen caudales inferiores y se obtiene el intervalo de caudales con unos diez valores del caudal. Se determina con el programa la lámina de agua para cada caudal de la avenida

- Obtención de la curva del caudal ajustada con el mismo n . Tras el proceso anterior se obtiene la tabla de las láminas de agua y sus correspondientes caudales. Se representan esos diez puntos y se obtiene la curva real del caudal, a esta curva que se le ajusta una curva teórica, y se obtiene la curva del caudal ajustada o tipo en el momento que se reconoce el cauce, cuya expresión es:

$Q = a * b^h$, donde, Q es el caudal circulante, en m^3/seg ; a y b son los parámetros de la curva para cada punto de control analizado, h es la lámina de agua en el cauce, en m .

-Obtención de la curva del caudal para varios n ajustada. Se establecen cinco valores de n a lo largo del tiempo, el n del reconocimiento y cuatro posibles. Con los cinco valores propuestos se representa la lámina de agua y la función producto del caudal por el coeficiente de Manning ($Q*n$), con cincuenta puntos, a esta curva se le ajusta una curva teórica, que es la curva para varios n . Su expresión es $Q * n = a * b^h$, donde, Q es el caudal circulante, en m^3/seg ; n el coeficiente de Manning; a y b los parámetros de la curva para cada sección de control analizada y h es la lámina de agua en el cauce, en m .

4.Caso de estudio

Los ríos Azuer y Jabalón (Figura 1), nacen en el Campo de Montiel, una región de unos 5.500 km^2 , que se extiende sobre una meseta comprendida entre los 800 metros y los 1000 metros de altitud y que alberga un extenso acuífero. El Campo de Montiel está constituido por materiales calcáreos, donde hay múltiples manantiales, originando el nacimiento de arroyos y ríos. La recarga del acuífero se produce durante el invierno y la primavera, haciendo que el régimen hidrológico los ríos en cabecera sea peculiar, con caudales permanentes incluso durante el verano, debido a que son alimentados por el acuífero

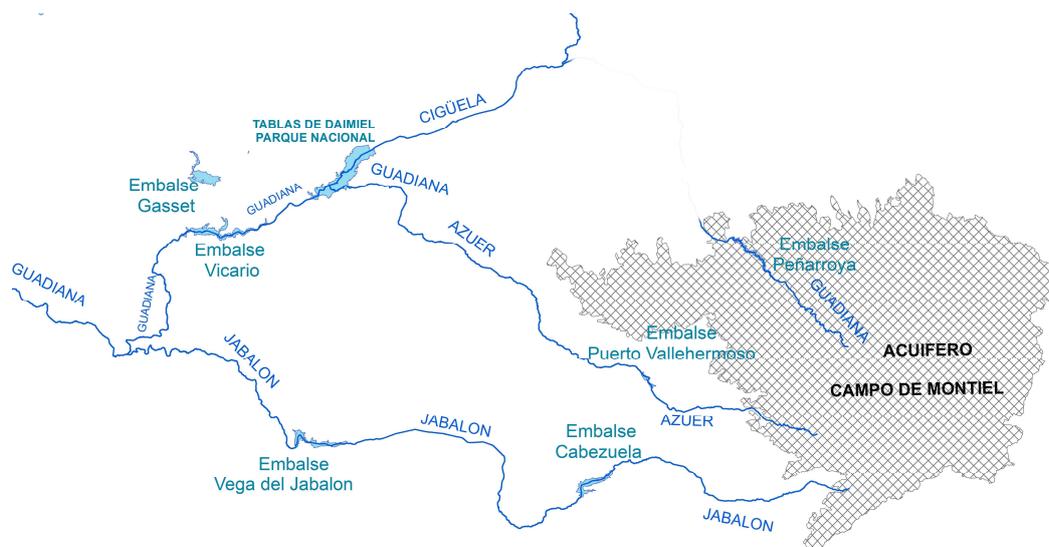
Kárstico del Campo de Montiel, cuya recarga se prolonga hasta la primavera, debido a las aguas infiltradas procedentes del deshielo de la Sierra de Alcaraz.

El río Azuer nace cerca de las Lagunas de Ruidera, al sur, en un paraje denominado Fuente Blanca, en el término municipal de Villahermosa provincia de Ciudad Real (CR). Su afluente principal es el río Cañamares. Tiene una longitud de unos 120 km, con una cuenca de más de 1700 km² y desemboca en el río Guadiana, en las proximidades de las Tablas de Daimiel, donde confluyen sus aguas con las del río Cigüela para formar el humedal manchego. El cauce del río Azuer discurre poco después de su nacimiento por un curso profundo y estrecho, hasta llegar a una zona llana y amplia, donde se une con sus afluentes principales Cañamares y Tortillo, para poco después ser retenido por el embalse del Puerto de Vallehermoso. Aguas abajo de la presa, su cauce cruza las localidades de Membrilla (CR), Manzanares (CR) y Daimiel (CR), antes de llegar a su confluencia con el río Guadiana, en las proximidades del Molino de la Máquina. El río Azuer ha ocasionado numerosas inundaciones en el pasado (DGPC, 2014). Las más recientes son las sufridas en Membrilla y Manzanares en la pasada década, destacando por su intensidad las de finales de 2009 y comienzos del 2010. El relieve llano de la zona propicia que cuando se produce una crecida del río éste se desborde ocupando una gran extensión y generando de forma ocasional, aunque recurrente a lo largo de los años, una gran llanura de inundación, al igual que sucede en el resto de las zonas de la Mancha Húmeda en un área reconocida desde 1980 reserva de la Biosfera por el gran valor ecológico de los ecosistemas que alberga. El río Azuer se encauzó según un proyecto que data de los años cuarenta (Carrillo-Vegas, 1943), sin embargo, en la actualidad el cauce se ha reducido mucho por las invasiones de los terrenos colindantes y por ello el río se desborda con caudales muy pequeños, que no superan un metro cúbico por segundo.

El río Jabalón nace muy cerca de la población de Montiel (CR) en un paraje denominado Los Ojos. Es afluente del río Guadiana, al que se incorpora en un punto próximo a la localidad de Corral de Calatrava (CR), tras un recorrido de unos 161 kilómetros de longitud en el que recibe aguas de una cuenca vertiente de más de 1500 km². Después de recorrer una tercera parte de su curso llega al embalse de la Cabezuela, para a continuación pasar cerca de la ciudad de Valdepeñas (CR). Recorre el área del Campo de Calatrava, caracterizada por afloramientos cuarcíticos y materiales neógenos sobre el zócalo paleozóico, así como por la presencia de materiales y edificios volcánicos (IGME, 2009). La escasa pendiente del terreno, hace que cuando se producen crecidas se inunden grandes extensiones. El caudal de este río es irregular y suele secarse en el verano. Sin embargo, durante las avenidas puede tener caudales que superan los 300 m³/s, y que están muy por encima del caudal que su cauce puede soportar sin desbordarse. Al igual que pasaba con el río Azuer hay proyectos de encauzamiento del río Jabalón, alguno data de los años treinta y el objetivo era liberar las tierras inundadas para la agricultura ya que los humedales se consideraban zonas insalubres.

El encauzamiento de estos ríos no fue suficiente para evitar la inundación de amplias zonas cuando se producen avenidas, ya que las antiguas secciones de encauzamiento fueron poco a poco invadidas por los colindantes, reduciendo su capacidad. Todo ello puede verse agravado en el futuro por el impacto del cambio climático (AEMET, 2020, CEDEX, 2017, Inundaciones y Cambio Climático, 2018).

Figura 1: Mapa de situación de los ríos Azuer y Jabalón



El novedoso sistema para la medida de los caudales en las cuencas de los ríos Jabalón y Azuer, consiste en la disposición de sondas limnimétricas en los cauces, aprovechando la existencia de estructuras que permitan su instalación. Las sondas envían los datos de lectura de nivel y, por medio de las curvas de gasto, se obtiene el caudal de la avenida.

Hay diez secciones de control para determinar la curva de gasto y así obtener el caudal circulante a partir de las lecturas de la altura de lámina de la sonda que se disponga. Para realizar las estimaciones de avenida en la cuenca del río Jabalón se utilizan tres secciones de control en el río Jabalón y dos ubicadas en el cauce de la rambla de Santa Cruz de Mudela, se nombran las secciones de control de aguas abajo y hacia aguas arriba en cada cauce. Los puntos de control se encuentran todos en el propio cauce. Para la cuenca del río Jabalón, los puntos de control están situados en los puentes de las carreteras, CR-P-5222 PK 18+800, N-IV PK 202+700, CR-6112 a 300 m de cruce con CR-611, CM-4122 PK 4+700 y el puente a 1 Km. aguas arriba de la presa Vega del Jabalón. En la cuenca del río Azuer los puntos están en los puentes de: Manzanares CM-9313, Membrilla uno en brazo derecho y otro en el izquierdo CRP-6032, La Campana y La Viña. Se encuentran aguas abajo cuatro secciones, pero el del embalse del Puerto de Vallehermoso se encuentra aguas arriba.

Para cada sección de control, la estructura representa un obstáculo en el flujo del agua, por lo que se disponen más puntos de cálculo en el entorno de la misma. En todas las estructuras contamos con una sección transversal muy cercana aguas arriba y aguas abajo que incluye la geometría del tablero, pilas y estribos, tanto en planta como en alzado. A partir de esa geometría se han interpolado secciones transversales adicionales entre cada una de ellas y la inmediatamente anterior la inmediatamente posterior respectivamente. En general se han interpolado cuatro secciones, ello permite que el programa ajuste mejor los cálculos alrededor de la estructura que es donde nos interesa conocer mejor el funcionamiento. Se adoptan los valores de 0,10 para estrechamientos y 0,30 para ensanchamientos para estimar las pérdidas localizadas que se producen en esos puntos. El régimen del flujo será estacionario y lento, por lo que basta con determinar las condiciones de contorno aguas abajo. Los escenarios de cálculo se determinan para cada caso cuando no se produce el anegamiento de la estructura, de forma que el flujo obtuviese una lámina de agua adecuada. Conocido el rango de caudales se han establecido diez escalones entre ellos que definen los escenarios de cálculo y que permiten determinar la correlación entre los caudales circulantes y láminas de agua del flujo.

Se calcula el coeficiente de Manning, para cada sección de control de la cuenca de río

Jabalón valen: 0,095; 0,120; 0,080; 0,095; 0,095 y en el caso de la cuenca del río Azuer, 0,095; 0,124; 0,095; 0,105 y 0,105. Se obtienen también los cinco valores de n de cada punto de control.

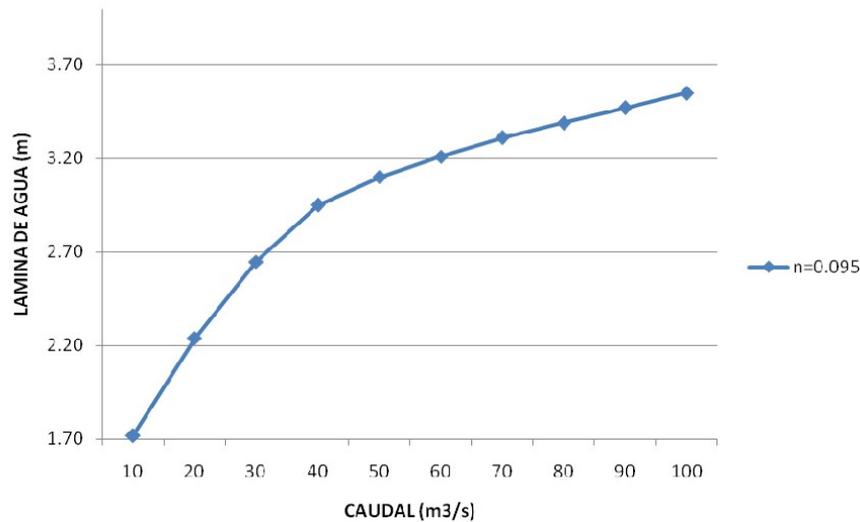
5.Resultados

Con los valores anteriores y con la modelización se obtienen las curvas de gasto correspondiente, a las diez secciones de control.

A continuación, se adjuntan los resultados de una sección de control, el primer punto de control de la cuenca del río Jabalón, la sección de control 1. El grafico de la relación entre el caudal y la lámina de agua, el gasto, se indica en la Figura 2, ajustando una curva a esta gráfica, se obtiene la expresión paramétrica del gasto para la situación del reconocimiento del cauce, que es:

$$Q = 1.1729423 * 3.4373863^h$$

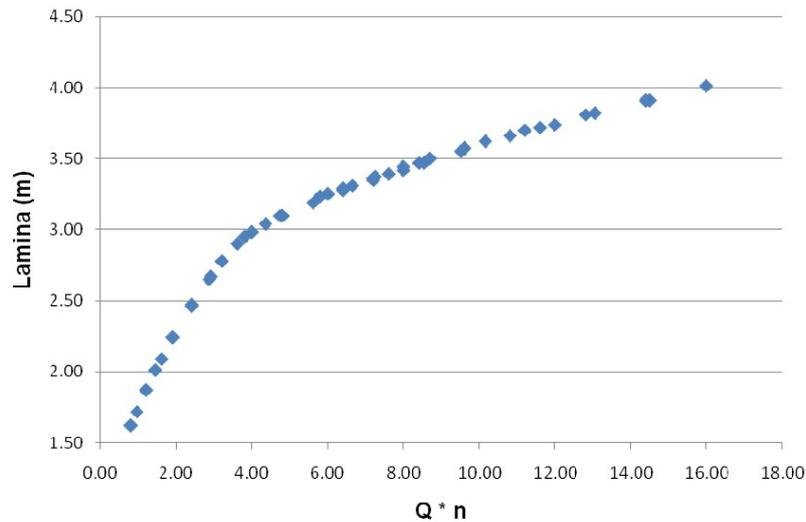
Figura 2: Curva de gasto para la sección de control 1



Los cinco valores previstos de n para el cauce en la sección 1 son: 0,080; 0,095; 0,120; 0,145 y 0,160, por lo que la curva de gasto para diversos valores de n se obtiene con cincuenta puntos y se indica en la Figura 3. La fórmula de la curva ajustada de gasto para n tiene por expresión la siguiente:

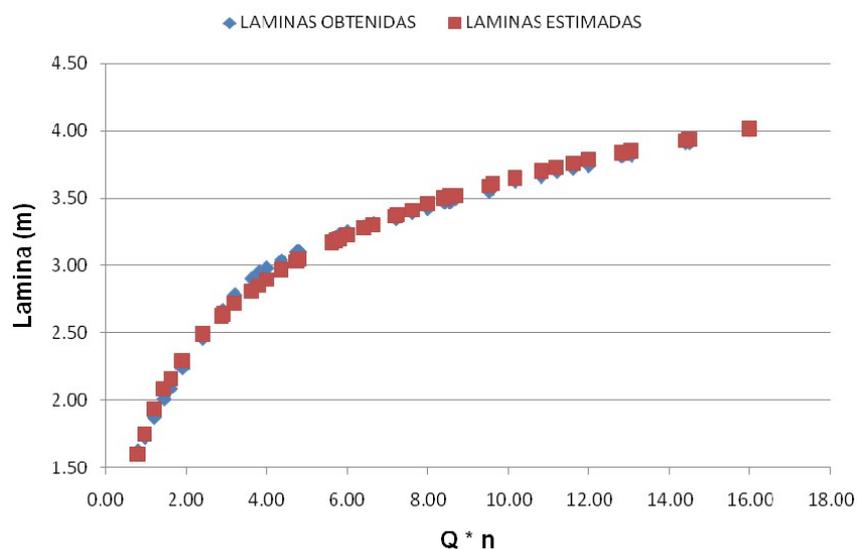
$$Q * n = 0.10925772 * 3.4659363^h$$

Figura 3: Curva de gasto para varios n en la sección de control 1



A partir de la fórmula de la curva ajustada de gasto para n , se puede estimar la lámina que proporciona el valor $Q \cdot n$ determinado. En la Figura 4 se representan tanto los valores de lámina anteriores, Figura 3, como los valores estimados por la fórmula anterior que prácticamente coinciden.

Figura 4: Curvas de gasto de las láminas obtenidas y estimadas, para varios n en la sección de control 1



Se obtienen diez curvas de gasto para cada una de las secciones de control para diferentes valores del coeficiente de Manning, en las cuencas vertientes del Río Jabalón (que incluye la Rambla de Santa Mudela) y del río Azuer. Cada curva de gasto será válida mientras no varíe la forma del cauce, por lo que requiere que se hagan reconocimientos del cauce. En el caso de que se produzcan cambios en las características hidrológicas del cauce como la vegetación, habría que variar el valor del coeficiente de Manning para ajustarlo a la nueva

situación. Una forma de hacerlo es parametrizar la curva de gasto. En la Tabla 1. se presentan los resultados de las curvas de gasto obtenidos para cada una de las diez secciones de control para diferentes valores del coeficiente de Manning n en diversas situaciones del cauce.

Tabla 1: Ecuaciones paramétricas del caudal en cada sección de control, expresadas en función del coeficiente de Manning.

SC	Q (m ³ /s)	n	Q*n = f(h)
1	10-100	0,080-0,160	$Q * n = 0.10925772 * 3.4659363^h$
2	10-55	0,080-0,160	$Q * n = 0.12837569 * 3.13257452^h$
3	5-50	0,060-0,120	$Q * n = 0.3229505 * 2.8440503h$
4	10-80	0,080-0,160	$Q * n = 0.0589317 * 3.6733971h$
5	10-130	0,080-0,160	$Q * n = 0.0961351 * 6.2235256h$
6	10-45	0,080-0,160	$Q * n = 0.0104423 * 22.157029h$
7	2,5-15	0,095-0,200	$Q * n = 0.03579839 * 6.23992408h$
8	1-6	0,080-0,160	$Q * n = 0.04412401 * 5.31176275h$
9	1-6	0,090-0,170	$Q * n = 0.06677917 * 11.3393909h$
10	1-10	0,090-0,170	$Q * n = 0.00247488 * 10.2268004h$

6.Conclusiones.

El novedoso sistema diseñado permite medir los caudales en tiempo real cuando los ríos se desbordan y forman llanuras de inundación. Los equipos de medida de nivel se han ubicado en estructuras fijas ya construidas, como puentes. No se introduce ningún obstáculo nuevo en el cauce, por lo que no hay perturbaciones apreciables en el régimen hidráulico del río. Mediante la aplicación del modelo hidráulico se ha establecido una correlación entre el nivel del agua y el caudal circulante en cada momento por la sección del río.

Se han obtenido las curvas de gasto que relacionan altura y caudal para cinco secciones ubicadas en el río Azuer y otras cinco en el río Jabalón. Se obtiene información de los caudales aguas arriba de las presas y también aguas abajo, en las posibles zonas de afección a las poblaciones. Con esta información se pueden tomar decisiones sobre los desembalses para la laminación de las avenidas.

En previsión de que pudieran producirse alteraciones en las características hidrológicas del cauce, se han calculado las ecuaciones paramétricas, que permiten determinar el caudal en función del número de Manning, n , como variable. Si el cauce sufriera alteraciones significativas, debido a una erosión importante o sedimentación, bien por el transcurso del tiempo o bien por los propios episodios de la avenida, sería necesaria una nueva toma de datos y reajuste el modelo.

5. Bibliografía

- AEMET (2020). Proyecciones climáticas para el siglo XXI. http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- Aldana-Valverde A. L. (2002). Métodos de Estimación de Relaciones Nivel Caudal. Aplicación en los Sistemas en Tiempo Real. *Jornadas sobre sistemas de ayuda a la decisión ante problemas hidráulicos e hidrológicos en tiempo real*. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- Carrillo-Vegas G. (1943). Proyecto de Regularización del río Azuer en sus términos de Membrilla y Manzanares. *Jefatura de Aguas. Delegación de los Servicios Hidráulicos del Guadiana*.
- Cisowska L. & Hutchins M.G. (2016). The effect of weirs on nutrient concentrations. *Science of the Total Environment* 542 (2016) 997–1003.
- CEDEX (2017). Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Centro de Estudios Hidrográficos Informe Técnico para el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría de Estado de Medio Ambiente, Oficina Española de Cambio Climático. Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España. Informe Final. Tomo Único. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento
- Del Campo-Benito J. & Yagüe-Córdoba J. (2007). Desarrollo de las actuaciones del Ministerio de Medio Ambiente en materia de seguridad de presas. Spanish Environmental Ministry dam's safety program. *Revista de Obras Públicas/Marzo 2007/Nº 3.475*.
- DGPC (2014). Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas. Demarcaciones Hidrográficas, Incluyendo Galicia Costa y Cuencas Internas de Cataluña. Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Ministerio del interior.
- DGPC y DGOH (1985). Estudio de Inundaciones Históricas. Mapas de Riesgos Potenciales. Cuenca del Tajo y Cuenca del Guadiana. Madrid: *Dirección General de Protección Civil y Dirección General de Obras Hidráulicas*.
- González del Tánago, M. & García de Jalón D. (1995). Restauración de Ríos y Riberas. *Publ. Fundación Conde del Valle de Salazar-Mundi Prensa, Madrid*.
- IGME, Instituto Geológico y Minero de España (2009). *Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas Actividad 4: Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico Demarcación Hidrográfica 040 Guadiana masa de agua subterránea 040.011 aluvial del jabalón*. http://info.igme.es/SidPDF/147000/984/147984_0000006.pdf
- Inundaciones y cambio climático (2018). *Ministerio para la Transición Ecológica .Madrid*. 105
- Membrillera G. (2019). Congreso Nacional del Agua Orihuela (2019). Innovación y Sostenibilidad Temática: aguas superficiales y subterráneas. / coord. por Joaquín Melgarejo Moreno Árbol académico, Patricia Fernández-Aracil, 2018, ISBN 978-84-1302-034-1, 1119-1140.
- Piqueras J. (1983). Crónica de la Riada del Xúquer (20/21-X-1982). *Cuad. De Geogr.* 32-33.

39-58 Valencia, 1983.

Sanz-Ronda F.J., Bravo-Córdoba F. J. & Martínez de Azagra A. (2010). Estaciones de aforo V-flat y peces migradores de la Península Ibérica: problemas y soluciones. Ingeniería Civil 158/2010.

US Army Corps of Engineers (2016). Hec-Ras River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 5.0. *Aproved for public release. Distribution Unlimited.* <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>

Ven Te Chow, 1994: "Hidráulica de canales abiertos". Mac Graw Hill.

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

