

Propuesta de un método simplificado para el análisis de puentes en estudios de inundación bidimensionales.

Tema M, Tema D

Cristina Prieto Sierra, Eduardo García Alonso, Raúl Medina Santamaría

Instituto de Hidráulica Ambiental IH Cantabria, Universidad de Cantabria. E.T.S.I. Caminos Canales y Puertos. Avda de los Castros s/n 39005, Santander, España.

prietoc@unican.es, edelwar@gmail.com, medinar@unican.es

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los modelos bidimensionales de flujo son herramientas cada vez más habituales a la hora de evaluar los riesgos de inundación en el territorio, debido tanto a las mejoras en capacidad de cálculo de los ordenadores como a la disponibilidad de datos topográficos más detallados. No obstante a estos avances, realizar un buen modelo hidráulico en dos dimensiones sigue siendo una tarea que plantea varios retos, entre los que destaca la correcta representación de las estructuras hidráulicas del tramo analizado. En particular, es bien sabido que la presencia de puentes es en muchos casos la causa de una sobreelevación de la lámina de agua, que finalmente genera la inundación de las llanuras adyacentes.

Cuando se emplean modelos bidimensionales para realizar estudios en los que interese conocer el incremento de nivel debido a un puente, nos enfrentamos a la complicación que supone generar una malla de detalle en cada uno de ellos, así como al coste computacional que conlleva la ejecución de las mismas, con cientos de miles de elementos. Por otra parte, los límites de capacidad de cálculo inducen habitualmente a subdividir el dominio de cálculo en tramos cortos, lo que operativamente resulta incómodo y poco eficiente. Desde el punto de vista práctico, cuando se trata de proyectos en tramos de río largos o complicados, es conveniente disponer de un procedimiento simplificado para reproducir el efecto de los puentes sin tener que plasmar en la malla de cálculo su geometría detallada.

La mayor parte de los modelos de flujo 2D permiten introducir una rugosidad variable en el dominio de cálculo, asociada a cada celda o conjuntos de ellas, en función del tipo de tramo de río o de los usos del suelo en las diferentes llanuras de inundación. Esta posibilidad permite plantear **una metodología genérica basada en el incremento local de la rugosidad, para representar el efecto de obstrucción del flujo debido a los puentes.** El objetivo de este artículo es definir un procedimiento simple para determinar la extensión y magnitud del incremento de rugosidad que se debe aplicar en un modelo 2D de un tramo de río con uno o varios puentes, de forma que se genere la misma sobreelevación que si se hubiera realizado una discretización con suficiente detalle. En última instancia, el objetivo es garantizar la validez de este procedimiento para poder llevar a cabo el modelado de tramos amplios de río, incluso cuencas completas, sin tener que introducir la geometría de los puentes.

El análisis se llevó a cabo en puentes de pilas y puentes de un solo vano, en régimen uniforme y lecho fijo. El cálculo analítico de la sobreelevación se hizo aplicando la fórmula de Yarnell (1934) [1, 2], en los primeros; y la metodología del US Bureau of Public Roads (USBPR), en los segundos [3]. El modelo hidráulico bidimensional empleado fue el SRH-2D_v2 [4]. Previamente se había comprobado que este modelo es capaz de reproducir en valor y extensión, si se le introduce la geometría real, la sobreelevación asociada a puentes de distintas tipologías y grado de obstrucción.

El SRH-2D_v2 resuelve las ecuaciones de onda dinámica, mediante el método de volúmenes finitos [5], en una malla híbrida no estructurada [6], esto, junto a que en zonas que pueden verse afectadas por inundación y secado da resultados robustos y estables, constituye una de sus principales ventajas. Tanto para generar la malla como para el post-proceso de los resultados, se usó la herramienta gráfica SMS [7].

2. RESUMEN DEL MÉTODO

A continuación se realiza un breve resumen de los pasos del método propuesto:

1. Empleando fórmulas empíricas o datos locales, se determina la **máxima sobreelevación** debida al puente en las condiciones de cálculo.
2. Se calcula la distancia en la que se dará el incremento de rugosidad. Esta distancia se mide entre la cara aguas arriba del puente y la sección 1 (donde se produce la máxima sobreelevación).
3. Se calcula el coeficiente de rugosidad equivalente para obtener la sobreelevación hallada en el paso 1º, a lo largo de la distancia establecida en el paso 2º.

En el artículo completo se presentan las fórmulas que se proponen para obtener estas variables. Respecto a la determinación de la distancia de afección, en la que hay que introducir el incremento de rugosidad (geometría sin puente), para lograr la sobreelevación calculada analíticamente (en la geometría con puente), se evaluaron distintas opciones:

- **Para puentes de un solo vano:** Se analizaron las distancias obtenidas con el método de Bradley (1978), el método modificado de Bradley [8], la recomendación para valles con amplias llanuras de inundación y la gráfica dada por el Biery & Delleur [9],[10]. A partir de los resultados y gráficas obtenidas, la distancia que se consideró óptima fue de $b/2$. Consiguiéndose representar, en valor y volumen, la máxima sobreelevación.
- **Para los puentes de pilas:** En este caso, la distancia a la que se consideró que se producía la máxima sobreelevación en el puente simplificado fue de media separación entre pilas ($b/2$).

En las Figuras 1a y 1b se muestran, para uno de los puentes de un solo vano y uno de los de pilas, los perfiles de la superficie del agua, obtenidos introduciendo la geometría del puente real y la simplificada (sólo el río y el incremento de rugosidad en las distintas longitudes evaluadas).

3. RESULTADOS

El método planteado es útil para estudios de inundación o aquellos en los que se desee conocer el incremento de nivel debido a un puente, y puede emplearse a partir de fórmulas empíricas, o alimentado con datos medidos *in situ* de sobreelevación. Aplicando el método mediante un entorno gráfico tipo SMS o similar, es posible evaluar de forma sencilla el efecto asociado a la remodelación, creación o eliminación de cualquier puente, sin modificar la malla de cálculo. Por otra parte, el procedimiento descrito no debe emplearse para llevar a cabo análisis morfodinámicos que requieran el conocimiento preciso del campo de velocidades (p.e. erosión en pilas y erosión general transitoria).

En definitiva, las ventajas del método consisten en **ahorro de esfuerzo y tiempo**, tanto en lo relativo a la generación de la malla como al coste computacional del modelado hidráulico. En cuanto a esto último, con el procedimiento propuesto se alcanzan soluciones estables y convergentes para pasos de tiempo en torno a 1 s y elementos de 5 m de lado, mientras para la geometría de los puentes originales eran necesarios incrementos de tiempo del orden de 0.1 s con elementos de 1 m. En conjunto, el método propuesto proporciona una reducción en más de un orden de magnitud en los tiempos de ejecución, **sin pérdida de precisión** a efectos prácticos.

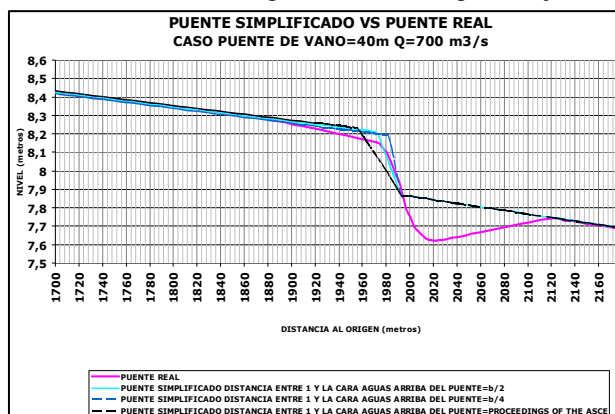


Figura 1a

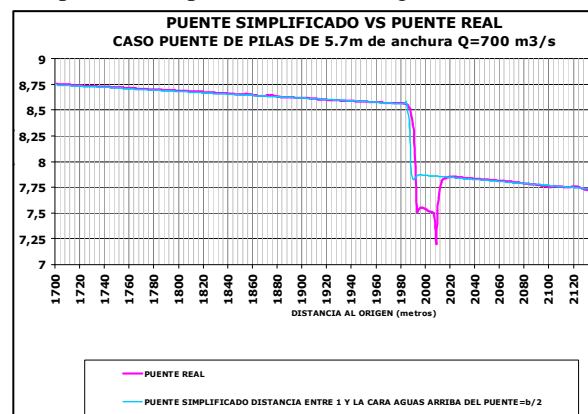


Figura 1b

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Yarnell, D.L. (1934). *Bridge Piers as Channel Obstructions*, Technical Bulletin No. 442. US Department of Agriculture, Washington, DC. [2] Henderson, F.M. (1966) *Open Channel Flow*, Macmillan, New York. Pag 264-268. [3] Bradley, J.N. (1978) *Hydraulics of Bridge Waterways*, 2nd edn, US Department of Transportation/Federal Highways Administration, Washington DC. [4] Yong G. Lai. (2008), US Bureau of reclamation. [5] E. Bladé i Castellet, M. Gómez Valentín, *Modelación del flujo en lámina libre en cauces naturales. Análisis integrado con esquemas en volúmenes finitos en una y dos dimensiones*, Monografía CIMNE N°-97, Junio 2006. [6] Yong G. Lai, *Two-Dimensional Depth-Averaged Flow Modeling with an Unstructured Hybrid Mesh*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 136, No. 1, January 2010, pp. 12-23. [7] *Surface-Water Modeling System* (<http://www.aquaveo.com/>). [8] Kaatz, K.J. and James, W.P.(1997) *Analysis of alternatives for computing backwater at bridges*. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 123 (9), September, 784-792. [9] Biery and Delleur, 1962; *Hydraulics of single span arch bridge constrictions*, Proceedings of the ASCE, Journal of the Hydraulics Division, 88 (HY2), March, 75-10. [10] HAMILL, L. (2004). *Bridge Hydraulics*. Taylor & Francis e-Library, New York XXX . pag 155.