

# ***Modelación numérica de flujo mixto y bolsas de aire atrapado en colectores pluviales***

## ***Tema C (Agua y ciudad)***

*José Luis Aragón, Ernest Bladé y Manuel Gómez*

*Instituto de investigación FLUMEN (UPC y CIMNE)*

*jose.luis.aragon@upc.edu, ernest.blade@upc.edu, manuel.gomez@upc.edu*

La mayoría de los colectores pluviales de una red de drenaje urbano son diseñados para operar en condiciones normales con flujo en lámina libre para eventos de precipitación bajos ( $2 \leq Tr \leq 10$  años). Cuando la capacidad de uno o más colectores es excedida por un evento de precipitación ( $Tr \geq 10$  años) o por cambios bruscos en las condiciones de contorno (operación de compuertas, estaciones de bombeo, etc.), el tipo de flujo en los colectores puede cambiar de lámina libre a presión (flujo mixto).

En la modelación de flujo mixto existen diferentes aproximaciones clasificadas en: el método de la columna rígida y modelos dinámicos completos. Entre estos últimos se encuentran aquellos métodos que utilizan uno o dos sistemas de ecuaciones. Los modelos de un sólo sistema de ecuaciones requieren una aproximación para considerar flujo en presión: el más conocido es el método de la ranura de Preissmann (Aragón, Concha, Bladé, & Gómez, 2009; Preissmann, 1961) y recientemente Vasconcelos et al. (2006) propuso el método denominado TPA (*Two-component Pressure Approach*), quien modificó las ecuaciones de Saint Venant para permitir flujo a presión asumiendo un comportamiento elástico de la tubería. Dentro de los modelos que utilizan dos sistemas de ecuaciones (uno para flujo en lámina libre y otro para flujo en presión), se encuentra los propuestos por Bourdarias and Gerbi (2007) y León et al. (2010), quienes para considerar flujo en presión asumen flujo compresible. En los modelos compuestos por dos sistemas de ecuaciones, las discontinuidades presentes en la interfase entre los dos tipos de flujo pueden ser tratadas con dos aproximaciones: los métodos de aislamiento del frente de onda (*shock fitting or interfase tracking methods*) o los métodos directos que capturan automáticamente las discontinuidades (*shock capturing methods*).

Estudios reportados en la literatura indican que durante la ocurrencia de flujo mixto en colectores pluviales la presencia de aire puede generar importantes transitorios de presión. El aire tiene repercusiones importantes sobre el comportamiento hidráulico del colector cuando se forman bolsas generadas por la dinámica del fenómeno mismo o por las discontinuidades existentes en la clave del colector, o cuando el aire presente en la zona de flujo en lámina libre es transportado distancias importantes debido a la coexistencia de una ventilación inadecuada y una velocidad de onda de presión considerable. La propagación y liberación del aire a través de los pozos de visita son una de las principales causas de daños a la infraestructura, entre ellos la expulsión de tapaderas de los pozos de visita (Zhou, Hicks, & Steffler, 2002).

En este trabajo para simular flujo mixto se presenta un modelo que se clasifica dentro de los modelos dinámicos completos que utiliza dos sistemas de ecuaciones considerando flujo incompresible (Aragón, 2009), por lo que para considerar el almacenamiento debido a la presión permite un comportamiento elástico de la tubería. Por otro lado para modelar y propagar numéricamente las bolsas de aire atrapado con o sin liberación del mismo a través de los pozos de visita se emplea la ley de gas ideal asumiendo un proceso isotérmico (Martin, 1976; Zhou et al., 2002). Para la solución numérica de las ecuaciones se utiliza la técnica de los volúmenes finitos mediante el esquema numérico WAF-TVD de alta resolución, a través del método de Godunov y el *Riemann Solver* de Roe (Bladé, 2005).

Para evaluar el comportamiento del modelo se utilizaron los experimentos reportados por (Gómez & Achiaga, 2001) quienes realizaron una amplia campaña de laboratorio para analizar el fenómeno de entrada en presión. Los ensayos inician con un flujo permanente para un caudal de referencia; en un instante de tiempo determinado se realiza un cierre brusco de la válvula del extremo aguas abajo, una apertura brusca de la válvula del extremo

aguas arriba o una combinación de ambas, provocando la formación de frentes de onda en presión. Durante el avance de los frentes de onda queda atrapado una gran cantidad de aire provocando la inestabilidad del flujo y por tanto transitorios de presión.

En la Figura 1 se presenta una comparación numérico-experimental para la entrada en presión desde aguas abajo. De la figura se puede destacar que existe gran similitud entre los resultados medidos y calculados, lo que implica que el modelo numérico de flujo mixto reproduce correctamente la velocidad de los frentes de onda en presión y el valor medio de la carga de presión, a pesar de no haber incluido la formulación de la fase de aire. Por otra parte, en los datos medidos se observan transitorios de presión provocados por la presencia de aire, los cuales no fueron simulados correctamente, por lo que se hace indispensable un modelo numérico que incluya una formulación para considerar la fase de aire, como el descrito anteriormente.

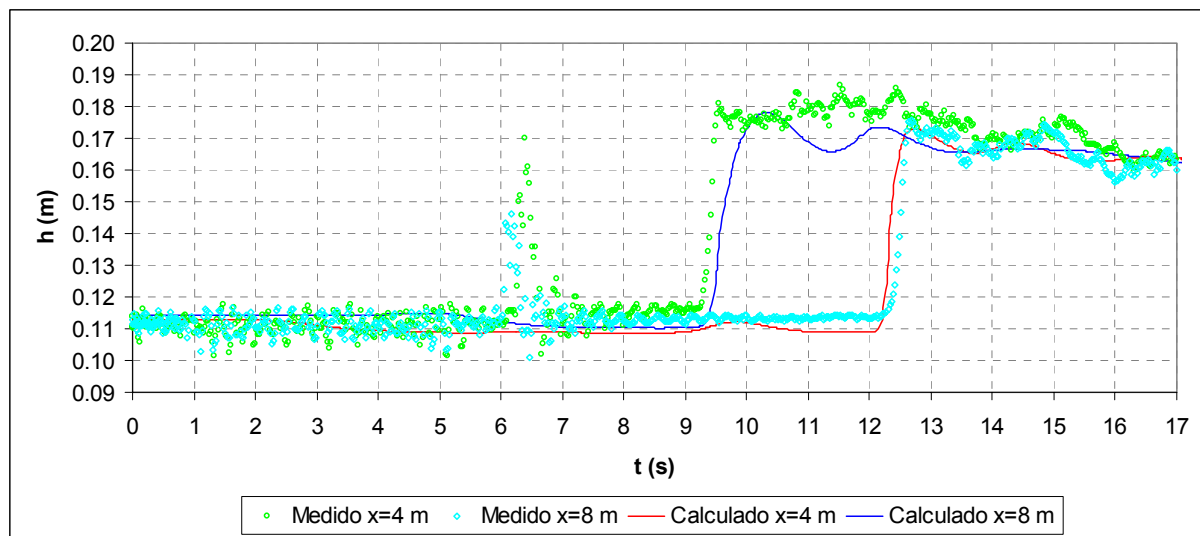


Figura 1 Comparación numérico experimental de la entrada en presión desde aguas abajo sin incluir la fase de aire

## Referencias bibliográficas

1. Aragón, J. L. (2009). "Modelación numérica de Flujo mixto y drenaje dual en áreas urbanas." *Proyecto de tesis doctoral*, ETSECCPB, UPC, Barcelona, España, 76 pp.
2. Aragón, J. L., Concha, R., Bladé, E., and Gómez, M. (2009). "Comparación de dos esquemas numéricos en la modelación de flujo mixto en colectores pluviales." *I Jornadas de Ingeniería del Agua*, Madrid, España, 1-9.
3. Bladé, E. (2005). "Modelación del flujo en lámina libre sobre cauces naturales. Análisis integrado con esquemas en volúmenes finitos en una y dos dimensiones." *Tesis doctoral*, ETSECCPB, UPC, 315 pp.
4. Bourdarias, C., and Gerbi, S. (2007). "A finite volume scheme for a model coupling free surface and pressurised flows in pipes." *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 209(1), 109-131.
5. Gómez, M., and Achiaga, V. (2001). "Mixed Flow Modelling Produced by Pressure Fronts from Upstream and Downstream Extremes." *6th international conference on Urban Drainage Modeling*, Rston, Va, 461-470.
6. León, A., Ghidaoui, M., Schmidt, A., and Garcia, M. (2010). "A robust two-equation model for transient-mixed flows." *Journal of Hydraulic Research*, 48(1), 44-56.
7. Martin, C. S. (1976). "Entrapped air in pipelines." *2nd International Conference on Pressure Surges*, British Hydrodynamics Research Association, 15-28.
8. Preissmann, A. (1961). "Propagation des intumescences dans les canaux et rivières." *First congress of French Association for Computation*, Grenoble, France.
9. Vasconcelos, J. G., Wright, S. J., and Roe, P. L. (2006). "Improved Simulation of Flow Regime Transition in Sewers: Two-Component Pressure Approach." *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(6), 553-562.
10. Zhou, F., Hicks, F. E., and Steffler, P. M. (2002). "Transient Flow in a Rapidly Filling Horizontal Pipe Containing Trapped Air." *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(6), 625-634.