

Transporte de sedimento cohesivo en redes de saneamiento urbanas

Sánchez Hernández, P.^{a1}, Gómez Valentín, M.^{a2}, Russo, B.^b, Bladè i Castellet, E.^{a3}

^{a1}Universidad Politécnica de Catalunya, c/ Jordi Girona 1-3 08034 Barcelona, España, E-mail: ^{a1}pablo.sanchez-hernandez@upc.edu, ^{a2}manuel.gomez@upc.edu, ^{a3}ernest.blade@upc.edu y ^bGrupo de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GIHA), Escuela Politécnica (EUPLA) Universidad de Zaragoza. Calle Mayor s/n 50100 La Almunia de Doña Godina, Zaragoza, España, E-mail: brusso@unizar.es

Línea temática | C. Agua y ciudad

RESUMEN

Gestión de redes de saneamiento

No cabe duda de la necesidad de conocimiento del transporte de sedimentos en la red de alcantarillado. La acumulación de sedimento en el interior de colectores u otras infraestructuras de la red provoca la reducción de la capacidad para la que fueron diseñados y su mal funcionamiento (R. M. Ashley and Crabtree 1992). Estas disfunciones pueden producir, entre otros, vertidos con altas cargas de contaminantes desde la red de saneamiento al medio receptor con elevados costes medioambientales y económicos. La investigación ha demostrado la importante contribución de los sedimentos en suspensión provenientes de la erosión y resuspensión de sedimentos en depósitos en el interior del alcantarillado durante los períodos iniciales de tormentas. Este fenómeno conocido como *first flush* (en inglés) se observa sobre todo en regiones con clima semiárido, como en las cuencas Mediterráneas, caracterizadas por períodos secos seguidos por intensas tormentas. Este hecho se va a ver agravado por la incertidumbre asociada a los efectos del cambio climático, con períodos secos más persistentes y lluvias torrenciales de mayor intensidad. Por ello es necesario desarrollar herramientas que permitan la predicción del transporte asociado a la tipología de sedimentos existentes en la red: materiales finos con alto contenido de materia orgánica y propiedades cohesivas (Seco 2014) y que permitan predicciones fiables de las cargas de contaminantes que se pueden verter al medio durante episodios de tormenta intensos *CSO* (descargas de sistemas unitarios, en sus siglas en inglés).

En la actualidad se han desarrollado programas de cálculo para la modelización hidráulica de redes de alcantarillado cuyos resultados presentan buenas predicciones. No es así para la simulación de los procesos de calidad de agua y transporte de sedimento, cuyo estudio se ha centrado en la movilización de sedimentos granulares (uniforme y no cohesivo) en ríos y se ha adaptado a la simulación a través de colectores (Ashley et al. 2005). En estos casos no se tienen en cuenta los procesos de transformación bioquímica, la interacción entre partículas y la actividad microbiológica con influencia significativa frente a la resistencia a la erosión de los sedimentos en las tuberías (Banasiak et al. 2005).

En paralelo se ha estudiado la naturaleza y características de los sedimentos cohesivos, permitiendo la elaboración de modelos que mejoran la predicción de ratios de transporte de sedimento cohesivo (Skipworth et al. 1999). Dentro de la red de alcantarillado, las diferentes partículas finas llevan a cabo diferentes procesos que son: floculación, asentamiento y deposición, consolidación y erosión, de manera cíclica. Debido a la turbulencia, las partículas en suspensión colisionan entre ellas y se adhieren formando flóculos a causa de sus propiedades cohesivas. Estos flóculos presentan mayor diámetro y peso por lo que depositan con mayor rapidez en el fondo de las tuberías. A partir de aquí, y en función de las condiciones del flujo, empieza el proceso de consolidación de las partículas en el fondo. Cuánto mayor sea el tiempo de consolidación mayor será la resistencia a la erosión. Finalmente, cuando las condiciones de flujo así lo permitan, tendrá lugar la erosión del fondo y la resuspensión del sedimento dando lugar a un nuevo ciclo. Una extensa descripción de estos procesos se encuentra en el libro de (Partheniades 2009).

El objetivo de este trabajo es elaborar una nueva herramienta, en base al modelo de (Skipworth et al. 1999), e implementarla al programa de simulación hidráulica Iber, en su versión de modelo acoplado 1D/2D (que incorpora un módulo que resuelve las ecuaciones de Saint Venant en una dimensión para el cálculo del flujo en lámina libre, y el método de la ranura de Preissman para el flujo a presión en conductos (Hernández 2013) para el cálculo integrado de los procesos

hidráulicos en el drenaje urbano). Esta herramienta va a permitir la simulación apropiada del transporte de sedimento en suspensión en redes de alcantarillado, a partir de velocidades y calados obtenidos en el módulo hidrodinámico 1D de Iber. El programa incorpora la siguiente ecuación (1), promediada en profundidad, para transporte de sedimentos en régimen no estacionario (Iber 2003):

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial hU_x C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\Gamma + \frac{v_t}{S_{c,t}} \right) h \frac{\partial C}{\partial x_j} \right] + \frac{\partial D_{sx}}{\partial x} + (E - D) \quad (1)$$

Dónde C es la concentración de sólidos en suspensión promediada en profundidad, U_x es la velocidad promediada en profundidad, v_t es la viscosidad turbulenta, Γ es el coeficiente de difusión molecular de sólidos en suspensión, $S_{c,t}$ es el número de Schmidt (que relaciona el coeficiente de difusión turbulenta de momento con el coeficiente de difusión turbulenta de sólidos en suspensión), D_s modela la dispersión de sedimento en suspensión debido a la no homogeneidad del perfil de velocidades y concentración de sedimento en la dirección vertical, y $(E-D)$ es el término de sedimentación (D)/resuspensión (E) que se va a modificar. La metodología propuesta por (Skipworth et al. 1999) se basa en el concepto de diferentes capas en el lecho de sedimento con diferentes resistencias frente a la erosión, y se expresa como la relación de exceso de esfuerzo cortante para predecir el ratio de erosión en depósitos de sedimentos. Esta expresión es conocida como ecuación (2) Ariathurai-Partheniades (Ariathurai and Arunlanandan 1978):

$$E = M \cdot \left(\frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c} \right) \quad (2)$$

Dónde E es la ratio de erosión por $\text{kg/m}^2\text{s}$ para el esfuerzo de corte de fondo aplicado τ_b (N/m^2); τ_c (N/m^2) es la tensión de corte crítica y M es el parámetro de transporte usado como factor de calibración (que debe ser determinado empíricamente para obtener predicciones realistas de erosión y transporte) y es igual a la ratio de erosión cuando $\tau_b = 2 \cdot \tau_c$. La tensión de corte crítica τ_c aumenta a medida que aumenta la profundidad del depósito de sedimento (Parchure and Mehta 1985). Además, la cantidad de materia orgánica, el oxígeno disponible y la duración del tiempo de consolidación tienen influencia en la resistencia a la erosión (Schellart et al. 2005).

La implementación de esta herramienta en el programa de simulación hidráulica Iber va a permitir obtener información apropiada para el análisis de la distribución temporal y espacial de los sedimentos en la red de alcantarillado, estudiar el fenómeno del *first flush* permitiendo predicciones más fiables de *CSO* y el control de la contaminación del medio receptor desde los sistemas unitarios. Como consecuencia permitirá una mejor planificación y una gestión más eficiente de los sistemas de alcantarillado urbanos.

REFERENCIAS

- Aragón Hernández, José Luis. 2013. "Modelación Numérica Integrada de Los Procesos Hidráulicos En El Drenaje Urbano." *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/95059> (March 27, 2019).
- Ariathurai, Ranjan, and Kandiah Arunlanandan. 1978. "Erosion Rates of Cohesive Soils." *Journal of the Hydraulics Division* 104(2): 279–83. <https://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockkey=0005112>.
- Ashley, R., J. L. Bertrand-Krajewski, and T. Hvitved-Jacobsen. 2005. "Sewer Solids - 20 Years of Investigation." *Water Science and Technology* 52(3): 73–84.
- Ashley, R. M., and R. W. Crabtree. 1992. "Sediment Origins, Deposition and Build-up in Combined Sewer Systems." *Water Science and Technology* 25(8): 1–12.
- Banasiak, Robert, Ronny Verhoeven, Renaat De Sutter, and Simon Tait. 2005. "The Erosion Behaviour of Biologically Active Sewer Sediment Deposits: Observations from a Laboratory Study." *Water Research* 39(20): 5221–31.
- Flumen, Geama, Cedex, and Cimne. 2003. "Manual de Referencia Hidráulico." : 1–17.
- Parchure, Trimbak M., and Ashish J. Mehta. 1985. "Erosion of Soft Cohesive Sediment Deposits." *Journal of Hydraulic Engineering* 111(10): 1308–26. <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9429%281985%29111%3A10%281308%29> (March 27, 2019).

- Partheniades, Emmanuel. 2009. *Cohesive Sediments in Open Channels: Properties, Transport, and Applications*. Butterworth-Heinemann/Elsevier.
- Schellart, A. Velkamp, R., Klootwijk, M. Clemens, F., Simon, J. Tait, Ashley, R.M. and Howes, C. 2005. "Detailed Observation and Measurement of Sewer Sediment Erosion under Aerobic and Anaerobic Conditions." *Water Science and Technology* 52(3): 137–46.
- Seco, Raquel Irene. 2014. "In-Sewer Organic Sediment Transport : Study of the Release of Sediments during Wet-Weather from Combined Sewer Systems in the Mediterranean Region in Spain." *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/95534> (March 27, 2019).
- Skipworth, Peter J., Simon J. Tait, and Adrian J. Saul. 1999. "Erosion of Sediment Beds in Sewers: Model Development." *Journal of Environmental Engineering* 125(6): 566–73. <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9372%281999%29125%3A6%28566%29> (March 27, 2019).

Ensayos de transporte de residuos gruesos en tubería circular y ovoide

Sañudo, E.^{a1}, Regueiro-Picallo, M.^{a2}, Anta, J.^{a3}, Puertas, J.^{a4} y Suárez, J.^{a5}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n, E-mail: ^{a1}e.sanudo@udc.es, ^{a2}manuel.regueiro1@udc.es, ^{a3}jose.anta@udc.es, ^{a4}jeronimo.puertas@udc.es, ^{a5}joaquin.suarez@udc.es

Línea temática | C. Agua y ciudad

RESUMEN

El transporte, acumulación, descomposición y resuspensión de residuos sólidos gruesos, en adelante sólidos gruesos o *gross solids* (GSs), es uno de los principales fenómenos que se dan en las redes de saneamiento. Los GSs son residuos sólidos con una densidad específica entre 0.9 y 1.2 y dimensiones mayores de 6 mm en cualquiera de las direcciones principales (Penn et al. 2018). La presencia de GSs en los sistemas de saneamiento pueden afectar a la correcta explotación del sistema causando, por ejemplo, acumulación y bloqueos de la red.

Este problema se acentúa en las conducciones con diámetros pequeños puesto que el movimiento de los GSs puede ser intermitente, moviéndose en función de los pulsos de agua residual que recibe y quedándose depositados hasta la llegada del siguiente pulso (Walski et al. 2011). Este tipo de sólido se presenta principalmente en la parte alta de la red, mientras que en la parte baja de la misma suelen descomponerse y predominar otro tipo de residuos como los plásticos y desechos sanitarios (Spence et al. 2016). Además, pueden causar bloqueos en las rejillas y tamices de entrada de las estaciones de bombeo y estaciones depuradoras de agua residual.

Con la finalidad de analizar el comportamiento y transporte de los residuos sólidos gruesos a través de la red de saneamiento se han llevado a cabo una serie de ensayos con sólidos gruesos artificiales en una plataforma de ensayos experimental alimentada con agua residual real. Los ensayos se han realizado en tuberías de sección ovoide y circular con la finalidad de realizar un análisis comparativo entre ambas. La plataforma experimental utilizada se localiza en la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Bens en A Coruña (Figura 1). La descripción completa, capacidad y configuraciones posibles de la plataforma de ensayos se recoge de forma detallada en Regueiro-Picallo et al. (2017). En esta campaña de ensayos se han instalado en la plataforma dos tuberías con una longitud de 7.25 m, una de PVC de sección circular y diámetro exterior de 400 mm, y su equivalente con sección ovoide, de diámetro superior e inferior de 315 mm y 157.5 mm, respectivamente.



Figura 1 | Plataforma experimental situada en la EDAR de Bens (a) con la configuración de ensayo de tubería ovoide y circular (b).

En los ensayos se han utilizado sólidos gruesos artificiales normalizados siguiendo las directrices indicadas por el *National Bureau of Standard* y aplicadas en el trabajo de Penn et al. (2018). Los sólidos gruesos artificiales tienen una geometría cilíndrica de diámetro 3.4 cm, altura de 8 cm y densidad relativa de 1.06 y se han construido empleando una