

Metodología experimental para el estudio del lavado y transporte de sedimentos en una cuenca urbana de laboratorio a escala real

Naves, J.^{a1}, Anta, J.^{a2}, Puertas, J.^{a3}, Suárez, J.^{a4} y Regueiro-Picallo M.^{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}juan.naves@udc.es, ^{a2}jose.anta@udc.es, ^{a3}jpuestas@udc.es, ^{a4}jsuarez@udc.es, ^{a5}manuel.regueiro1@udc.es.

Línea temática C | Agua y ciudad

RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología en la que se analiza el proceso de lavado y transporte de sedimentos en superficie y en la red de tuberías que se produce en una cuenca urbana de laboratorio a escala real. Durante los ensayos se mide en la entrada y en la salida de la red de tuberías los caudales y las concentraciones los sólidos en suspensión totales (SST) que se generan al simular una lluvia de 30, 50 o 80 mm/h de intensidad sobre la superficie del modelo, en la que previamente se distribuyen diferentes cargas y granulometrías de sedimentos. A continuación se realiza un balance de masas entre el sedimento distribuido inicialmente, el sedimento lavado y el sedimento que permanece depositado en tuberías, arquetas y superficie con el objetivo de estimar la fiabilidad de los resultados.

Palabras clave | lavado de sedimentos; transporte de sedimentos; drenaje urbano;

INTRODUCCIÓN

El actual ritmo de crecimiento de las ciudades resulta en un incremento significativo de superficies impermeables como por ejemplo áreas urbanizadas, carreteras o aparcamientos. Durante el tiempo seco, estas superficies acumulan contaminantes como sedimentos, nutrientes, materia orgánica, metales pesados e hidrocarburos debido a factores como el tráfico, industrias, agricultura u otras actividades. Estos contaminantes son lavados en los eventos de lluvia y transportados hasta el medio receptor por la red de drenaje (Gastaldini et al., 2013) ocasionando un impacto significativo (Anta et al., 2006) y constituyendo un importante problema. Por lo tanto, un buen entendimiento del proceso de lavado y transporte de la polución acumulada en estas áreas urbanizadas se hace imprescindible para poder mejorar el diseño y la gestión de técnicas de tratamiento que minimicen su impacto en el medio.

La mayoría de los modelos de drenaje urbano comerciales que incorporan transporte de sedimentos implementan formulaciones empíricas como la desarrollada por Sartor y Boyd (1972). Estas formulaciones utilizan parámetros principales como el periodo seco precedente o el volumen total de escorrentía para determinar la carga inicial de sedimentos en la superficie de la cuenca y la masa total lavada (Wang *et al.*, 2011). Sin embargo en estas formulaciones no se consideran procesos más complejos que intervienen en el proceso físico como la suspensión de los contaminantes debido al impacto de las gotas de lluvia y la tensión de corte, su transporte mediante la escorrentía generada o su posible deposición en el caso de un descenso en la velocidad del flujo. En los últimos años se han desarrollados modelos que incorporan formulaciones considerando estos procesos físicos como es el caso de Cea *et al.* (2015). Estas formulaciones más complejas requieren la definición de parámetros de entrada que son difíciles de cuantificar con precisión en una cuenca real como es el caso de la topografía de la cuenca; la concentración inicial, distribución y granulometría de los sedimentos acumulados en la superficie; la intensidad de lluvia o, más en concreto, la distribución de tamaño de las gotas de lluvia y su velocidad que determinará la energía cinética con las que las gotas de agua impactan en la superficie.

Se hace interesante por lo tanto la obtención de un conjunto de resultados en los que todas las variables se midan bajo condiciones controladas de laboratorio de modo que se puedan utilizar en la calibración y validación de formulaciones de lavado y transporte de sedimentos implementadas en modelos duales de drenaje urbano. En este trabajo se presenta una metodología experimental con la que se pretende llevar a cabo una campaña de ensayos en la que se mide el proceso de lavado y transporte de sedimentos en superficie y en tuberías en un modelo físico de una cuenca urbana a tamaño real.

MATERIAL Y MÉTODOS

El modelo físico en el que se pretende desarrollar la campaña experimental tiene una extensión aproximada de 36 m² y está construido en el laboratorio de hidráulica del Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC). Este modelo consiste en un tramo de calle con pavimento de hormigón a escala real que se conecta a una red de colectores a través de tres arquetas, que están situadas en la cuneta de la calle y el final de una canaleta de recogida de agua colocado en la sección aguas abajo de la calle. Las pendientes de la calle hacia la cuneta (2%) y hacia esta canaleta (0.5%) hacen que toda la escorrentía generada en la superficie drene a través de estas tres arquetas hacia la red de tuberías. Esta red de drenaje está formada por conducciones de dos diámetros diferentes: 85 mm (tuberías 1 y 2) y 190 mm, siendo la pendiente del 1% en toda la red excepto en la tubería 2 en la que se da una pendiente del 3%. En la Figura 1 se incluye un esquema completo del tramo de calle y de la red de tuberías y una imagen general de la instalación.

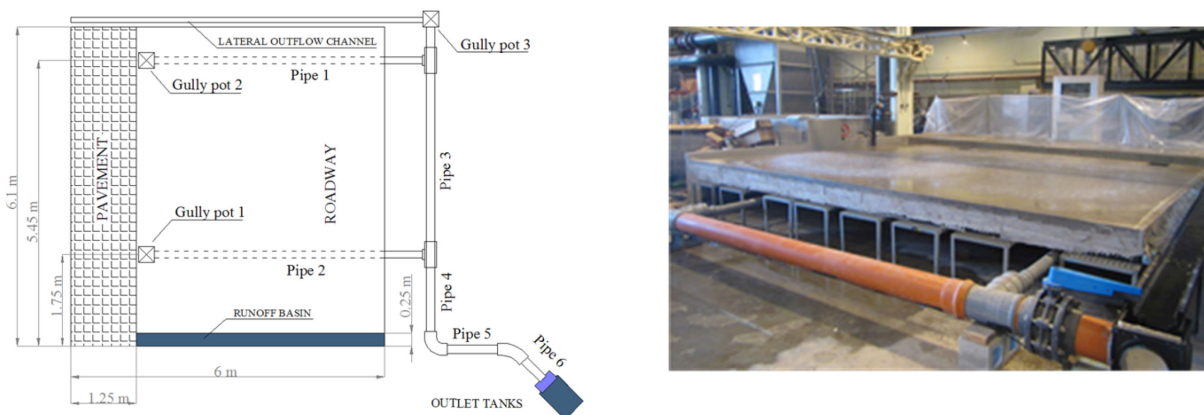


Figura 1 | Geometría (a) e imagen general de la configuración experimental (b). Naves et al. (2016).

A una distancia de 2.6 m sobre el modelo se ha instalado un simulador de lluvia mediante goteros que es capaz de generar lluvias de 30, 50 y 80 mm/h. El simulador está formado por dos cuadrículas de goteros bajo las que se sitúa, a una distancia de 60 cm, una malla metálica horizontal de 3 mm de luz con el objetivo de romper y distribuir las gotas generadas y conseguir una distribución de tamaños de gotas y una uniformidad adecuadas. La lluvia simulada presenta un coeficiente de uniformidad de Christiansen (1942) del 87, 94 y 97% para cada una de las intensidades generada, un tamaño de gota medio aproximadamente de 0.95 mm y una velocidad de impacto para el tamaño de gota medio superior al 80% de la velocidad terminal. En Naves et al. (2017) se recoge una descripción detallada del simulador de lluvia y de la calibración seguida para determinar las características de la malla y la distancia de ésta a los goteros.

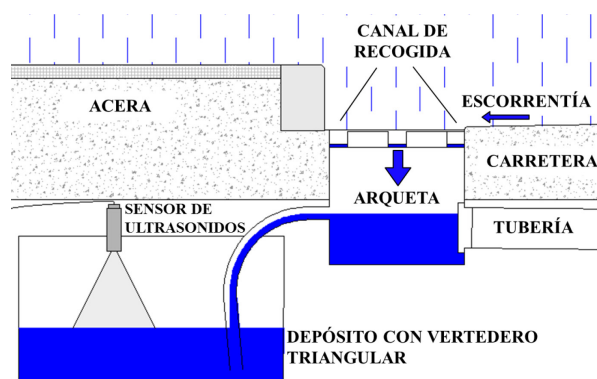


Figura 2 | Esquema del sistema de medida de caudales y de toma de muestras en la entrada de la red de drenaje (a). Imágenes de la toma de muestras manuales en las arquetas (b).

Para la determinación de los sólidos en suspensión totales (SST) a la entrada del sistema de drenaje, se instala un canalón en todo el perímetro de las arquetas de manera que recoja la escorrentía que se introduce en ellas facilitando la toma de muestras manuales. En este punto también se mide el caudal asociado a partir de dos depósitos con sendos vertederos triangulares situados bajo las arquetas y que pueden recoger el agua que se introduce a la red de drenaje. En la Figura 2 se muestra un esquema de este sistema para la medición de caudales y una imagen de la toma de muestras manuales en las arquetas. Por otro lado, a la salida de la red de tuberías, se sitúan dos depósitos para medir la turbidez y el caudal desaguado (Figura 3a). El primero de ellos tiene un volumen reducido para generar un calado suficiente que permita realizar medidas de turbidez con una frecuencia de 5 s mediante una sonda Solitax. Una vez medida la turbidez, el agua pasa al segundo depósito de mayor volumen en donde se mide el caudal mediante un vertedero triangular. Como se puede observar en la Figura 3b, a la salida del primero de los depósitos también se recogen muestras manuales con el objetivo de correlacionar la señal de turbidez con la concentración de SST.

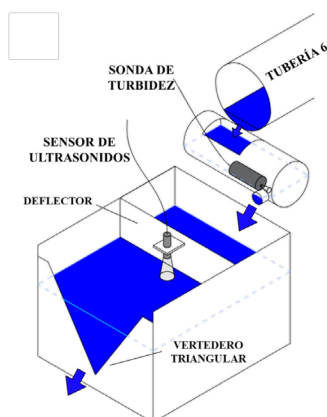


Figura 3 | Esquema del sistema de medida de caudales y de turbidez en la salida de la red de drenaje (a), e imagen de la toma de muestras manuales a la salida del depósito donde se mide la turbidez (b).

Para simular la concentración de sólido en superficie se ha utilizado sedimento real no cohesivo recogido de una vía de alta intensidad de tráfico. Los ensayos consisten en disponer sobre la superficie diferentes cargas, distribuciones y granulometrías de sedimento y simular un evento de lluvia cuyas características (uniformidad espacial, intensidad y distribución de tamaños y velocidades de las gotas) han sido determinadas previamente. Durante el ensayo se toman muestras de 250 ml tanto en las arquetas como en el punto de desagüe. En este último punto también se registra de manera continua el caudal y la turbidez. El caudal en las arquetas se mide en un ensayo previo con las mismas condiciones de lluvia, ya que no es posible reincorporar a la red el caudal que se mide en los depósitos situados bajo las arquetas. Mediante sensores UDV instalados de forma externa a las tuberías se registran también los perfiles de velocidad desarrollados en las tuberías 1, 2, 3 y 5. Una vez

terminado el ensayo no todo el sedimento que se distribuye inicialmente es lavado y drenado por la lluvia generada, quedando depositado en la superficie de la calle, en las arquetas y en la red de tuberías. Este sedimento se recoge con el objetivo de cerrar el balance de masas y comprobar así la fiabilidad de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos al aplicar esta metodología son los caudales y las concentraciones de sólidos en suspensión tanto a la entrada como a la salida de la red de drenaje, además de los perfiles de velocidad que se desarrollan en la red. Además, en el punto de vertido de la red de tuberías es posible obtener la concentración de SST en continuo a partir de la señal de turbidez calibrada mediante el análisis de las muestras manuales recogidas (Figura 4^a). Integrando esta señal en continuo o las concentraciones resultantes de las muestras con el hidrograma, es posible calcular el sedimento total lavado por la lluvia. Este dato, junto a las masas depositadas en la superficie del modelo, las arquetas y las tuberías al final del experimento, permiten calcular el error al realizar un balance de masas respecto al sedimento inicial depositado (Figura 4b).

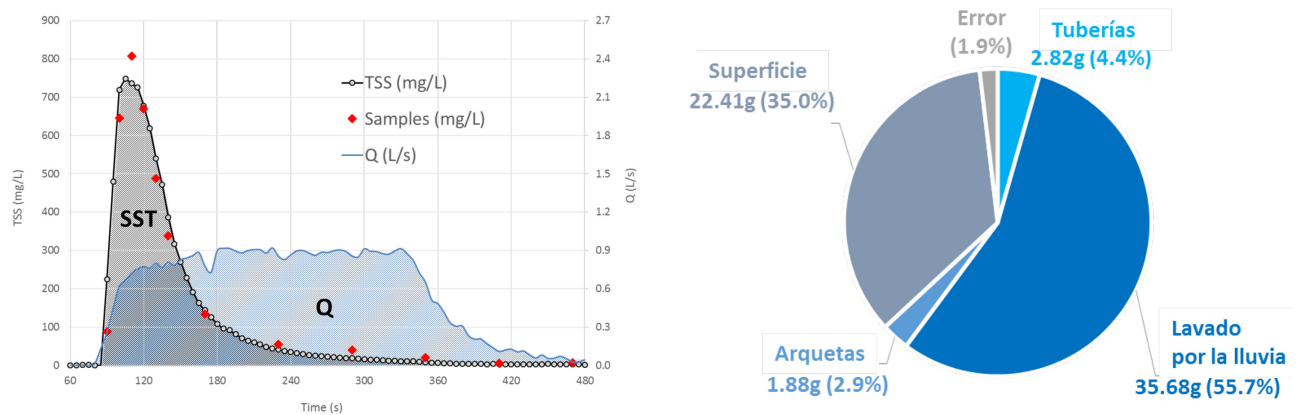


Figura 4 | Hidrograma y concentración de sólidos en suspensión totales medidos mediante la sonda de turbidez y las muestras manuales a la salida de la red de drenaje (a). Balance de masas resultante al final del ensayo considerando la masa de sólidos medida a la salida de la red de drenaje y la masa recogida de la superficie del modelo, de las arquetas y de las tuberías.

En los ensayos iniciales con los que se ha testado esta metodología, utilizando diferentes cargas y distribuciones iniciales de sedimento, se ha obtenido un error medio en el cierre de caudales del 4.3%. Dado la complejidad del fenómeno físico analizado, se considera que los resultados son muy satisfactorios y que la metodología presentada en esta comunicación puede ser utilizada correctamente en una próxima campaña experimental.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una metodología con la que se pretende realizar una campaña experimental en la que se analice el lavado y transporte de sedimentos en un modelo físico de una cuenca urbana. Esta metodología permite tener un alto control sobre las variables más importantes que gobiernan el proceso físico estudiado y aporta datos de caudal y de concentración de sólidos en suspensión tanto en la entrada como en la salida de la red de drenaje. Además, el balance de masas planteado ofrece una medida de la fiabilidad de los resultados obtenidos indicando si se está midiendo correctamente el transporte de sedimentos en el modelo.

Además del interés de los resultados obtenidos mediante esta metodología por si solos, se considera que pueden ser muy útiles para la calibración y validación tanto de formulaciones 2D de lavado y transporte de sedimentos en superficie, como de formulaciones 1D de transporte de sedimentos en tuberías.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiada parcialmente a través del proyecto “SEDUNIT: Análisis de los procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos cohesivos en sistemas de saneamiento unitario” – Referencia CGL2015-69094-R (MINECO/FEDER, UE). El primer autor ha sido financiado por la beca de doctorado FPU14/01778.

REFERENCIAS

- Anta, J., Peña, E., Suárez, J., Cagiao, J. 2006. A BMP selection process based on the granulometry of runoff solids in a separate urban catchment. *Water SA*, 32 (3), 419-428.
- Cea, L., Legout, C., Grangeon, T., Nord, G. 2015. Impact of model simplifications on soil erosion predictions: application of the GLUE methodology to a distributed event-based model at the hillslope scale. *Hydrological Processes*.
- Christiansen, J. E. 1942. Irrigation by sprinkling (No. 04; USDA, FOLLETO 1532.).
- Gastaldini, M. D. C., Silva, A. R. V., Cauduro, C., Roberta, A., Silva, V. 2013. Pollutant Distribution on Urban Surfaces: Case Study in Southern Brazil. *Journal of Environmental Engineering-Asce*, 139(2), 269–276. doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000617.
- Naves J., Jikia Z., Anta J., Puertas J., Suárez J., Regueiro-Picallo M. 2016 Experimental study of pollutant washoff on a full-scale street section physical model. *8th International Conference on Sewer Processes and Networks*, August 31 –September 2, Rotterdam (The Netherlands).
- Naves, J., Puertas, J., Anta, J., Suárez, J. Regueiro-Picallo M. 2017. Montaje y calibración de un simulador de lluvia para estudios de drenaje urbano. *V Jornadas de Ingeniería del Agua*, 25-26 de Septiembre, A Coruña (España)
- Sartor, J. D., Boyd, G. B. 1972. Water pollution aspects of street surface contaminants. *United States Environmental Protection Agency*, Washington, DC, EPA-R2-72-081
- Wang, L., Wei, J., Huang, Y., Wang, G., Maqsood, I. 2011. Urban nonpoint source pollution buildup and washoff models for simulating storm runoff quality in the Los Angeles County. *Environmental Pollution*, 159(7), 1932–1940. doi:10.1016/j.envpol.2011.03.019