



WATER QUALITY VOLUME" IN THE NORTHWEST OF SPAIN FOR SIZING OF HIGHWAY RUNOFF TREATMENT SYSTEMS

Joaquín Suárez-López¹; Vicente Jiménez-Fernández¹; Alfredo Jácome-Burgos¹; José Anta-Álvarez¹; José Manuel Álvarez-Campana¹, Carlos Zafra-Mejía²

¹ Grupo de Enxeñaría da Auga e do Medio Ambiente-GEAMA, Universidade da Coruña, A Coruña, España.

² Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental-GIIAUD, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia. Email: jsuarez@udc.es

ABSTRACT

A pilot Austin sand filter has been designed to reduce metals, hydrocarbons and suspended solids from stormwater runoff in a highway reach in Fene (Spain). The unit filtrates a percentage of the annual runoff volume reducing the mobilized loads of pollutants through filtration and sorption. Before the final design of the filter, a field campaign was developed to characterize runoff pollution of the pilot catchment. Runoff was heavily polluted with sediments, COD, total phosphorous, copper and zinc. Field data was also used to develop a calibrated hydraulic model of the catchment with the Storm Water Management Model (SWMM). This model was used to size the treatment unit with a hydrologic-hydraulic criterion: % of treated annual runoff and number of discharges per year. The specific volume of the treatment unit is the so call "Water Quality Volume"-WQv- that is traditionally used to design sustainable urban drainage techniques. This paper present the analysis of the Austin filter yields using the hydrographs and polutographs measured in the control section. Following the previous hydrological methodology the sedimentation-filtration unit was sized with a WQv of 15 mm. The results of the study from field data show that 98% of the total volume of runoff and 96% of the total mass of suspended solids mobilized at the events characterized would be pass by the treatment.

KeyWords: Runoff, polutograph, sizing, Austin filter yields.



1 Introducción

La Empresa Pública de Obras y Servicios Hidráulicos (EPOSH) de la Xunta de Galicia consideró de interés realizar algunas actuaciones piloto de control y tratamiento de escorrentías pluviales contaminadas. Se tomó la decisión de estudiar la problemática de uno de los viales de la zona, concretamente un tramo de la vía N-651 (Avenida de las Pías) en la zona “San Valentín” (Fene, Galicia) y, en función del grado de contaminación medido, diseñar y construir un sistema de control y tratamiento. Para seleccionar, y configurar, un sistema de tratamiento adecuado al problema ambiental se tomó la decisión de caracterizar previamente los flujos de agua y su contaminación; con tal fin se realizaron campañas de caracterización durante año y medio.

2 Metodos

La cuenca piloto cuyos flujos se caracterizaron en este estudio (a la que nos referiremos como *cuenca total*) está formada, en su mayor parte, por la calzada de la carretera nacional N-651. La vía está configurada en 4 carriles, y dispone de una red de drenaje para las aguas pluviales que vierte finalmente a la ría de Ferrol. Esta ría está declarada “zona sensible” (Directiva UE 91/271), con restricciones en el vertido de P y N, y con exigencias de calidad muy altas para cultivos marinos y baño. La IMD es del orden de 20000 vehículos al día y la capa de rodadura está realizada con aglomerado asfáltico convencional.

La red de alcantarillado para las aguas de escorrentía está formada por unos 2 km de colectores (en su mayoría de hormigón de 400 mm; el diámetro mayor presente es de 600 mm, en algún pequeño tramo final. La pendiente media de la red de drenaje es alta, del 3,5%, lo cual contribuye a que se registren caudales significativos en la sección de control, casi al mismo tiempo de ocurrencia de los eventos de lluvia; el tiempo de concentración es muy bajo, del orden de 5 minutos. Este hecho también se ve favorecido por elevado grado de impermeabilización de la cuenca y por el reducido tamaño, relativo, de la misma. La precipitación media en la cuenca es de 1250 mm/año.

Con el fin de caracterizar los flujos en tiempo de lluvia se instaló una estación de control, que se emplazó en el último de los pozos de registro de la red de drenaje, justo antes del vertido a la ría. Se caracterizaron 10 eventos de lluvia, con una media de 8 muestras en cada suceso para definir el polutograma. Se midieron pH, conductividad, turbidez, DQO (total y disuelta), DQO soluble, Sólidos Totales (ST), Sólidos

en Suspensión Totales (SST, fijos y volátiles) Sólidos Disueltos Totales (fijos y volátiles), fracción total y disuelta de metales pesados (Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V y Zn), Nitrógeno Total, Fósforo Total, Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF), Aceites y Grasas, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) e Hidrocarburos Totales de petróleo.

Figura 1. En verde se sombrea el área de aportación que es estrictamente un vial de cuatro carriles con alta intensidad de tráfico. Se trata del 32% del área la *cuenca total*, que también incluye la zona sombreada en azul.



Crterios generales de diseño del volumen de la infraestructura de tratamiento llevarlo a antecedentes

El “volumen de calidad del agua” es un parámetro ampliamente utilizado en la gestión de las aguas pluviales y en el diseño de muchas técnicas de drenaje urbano sostenible. Para definir el “Water Quality volumen”, WQv, una de las reglas más utilizadas en los EE.UU. es la “regla del 90%”, que define el volumen de calidad como el de la escorrentía asociada a la lluvia de percentil 90% de la serie de precipitaciones del año medio (algunas referencias apuntan la del 80%). Esta precipitación es frecuentemente del orden de una pulgada (25,4 mm), lo que ha llevado también a hablar de la “regla de la pulgada”. Diversos estudios llevados a cabo en ciudades estadounidenses demuestran que tratando una pulgada de precipitaciones se captura del orden del 85% al 90% de la escorrentía anual. Estos valores implican una reducción de la contaminación vertida hacia el medio receptor, en términos de sólidos en suspensión totales, de entre 80% y 90%. El principal problema de este método radica en el coeficiente de escorrentía sólo depende del porcentaje de impermeabilidad de la cuenca sin tener en cuenta la precipitación. Aún así, esta es la

metodología más referenciada en todas las normativas estadounidenses revisadas.

Otra referencia de interés es el criterio seguido en el Reino Unido (CIRIA, 2007), que establece una altura de 12 a 15 mm de escorrentía de la cuenca urbana, el volumen generado por la lluvia media del año medio, o un volumen que consiga capturar el 90% de la escorrentía del año medio (este valor se podría reducir al 75% en las cuencas urbanas más pequeñas).

Dimensionamiento de un sistema de tratamiento para una subcuenca

Con el fin de tratar las escorrentías contaminadas de la cuenca cuyas escorrentías se habían caracterizado se tomó la decisión de construir un sistema de tratamiento de tipo “filtro Austin”, dotado de una cámara de sedimentación y una cámara de filtración en lecho de arena. El estudio de las posibilidades de implantar este tipo de tratamiento (se analizó el espacio disponible, la influencia de las mareas, las cotas disponibles que permitiesen al sistema funcionar por gravedad, etc.) tuvo como consecuencia que la posible cuenca a tratar se debía limitar a uno de los carriles del vial. Dado el carácter piloto de la instalación se tomó la decisión de continuar con el dimensionamiento, redacción de proyecto y construcción pero para esta subcuenca (*cuenca parcial*). El sistema de tratamiento, ya construido en la actualidad, recoge las escorrentías de un área de aportación de 0.93 ha y se ha situado en una de las “lágrimas” generadas por el enlace, tal como se presenta en la figura 2.

El “filtro Austin” consta de dos cámara; la primera funciona como un pretratamiento, o como un depósito de sedimentación, mientras que la segunda funciona como filtro. Hay dos estrategias para configurar la primera cámara: como “sedimentación total” o como “sedimentación parcial”; en este caso se siguió el primero de ellos, que permite eliminar partículas de un diámetro 20 μm en la cámara de sedimentación (peso de específica de 2.65 t/m^3) y un tiempo de vaciado de, al menos, 24 horas.

Figura 2. *Cuenca parcial* seleccionada para tratar las escorrentías.



El dimensionamiento hidrológico-hidráulico no es objeto de esta comunicación, y puede conocerse en detalle en las publicaciones Suárez (2013) y en Jiménez (2012), pero de forma resumida se puede citar que, a partir de un modelo elaborado (calibrado y validado) con el SWMM de la nueva *cuenca parcial* (que es parte de la *cuenca total* en la que se realizó la caracterización de la escorrentía), se procedió a realizar un análisis del número de vertidos de agua sin tratar que se producirían y del porcentaje de escorrentía que se trataría en función de diferentes volúmenes de la unidad de sedimentación-filtración y de los posibles tiempos de vaciado. En el modelo del SWMM se consideraron volúmenes totales específicos entre 50 y 250 m³/ha y tiempos de vaciado de 12, 24 y 48 h. Finalmente se seleccionaron como años representativos de las precipitaciones a utilizar en las modelizaciones los años 2008 y 2009, y se analizó la lluvia que tenía una probabilidad menor del 10 % de ser superada, para un intervalo inter-evento de 3 horas, obteniéndose sendas alturas de precipitación de 14.68 y 14.53 mm. Es decir, el “volumen de calidad de agua” vendría definido por una altura de precipitación de 15 mm (150 m³/ha neta). Al tener la cuenca 0.935 ha, y un coeficiente de escorrentía asignado de 0.9, el área neta es de 0.84 ha, con lo cual el volumen de la unidad debía ser de 123.5 m³. Se decidió construir una unidad de 126 m³. El número de descargas y de escorrentía tratada con un volumen específico neto de 150 m³/ha para los años estudiados habrían sido los que se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Número de vertidos y escorrentía tratada en los años estudiados.

Año	Nº de vertidos (3h inter-evento)	% escorrentía tratada
-----	----------------------------------	-----------------------

2004	5	94,21
2006	36	75,55
2008	6	95,61
2009	4	99,35

Análisis de la eficiencia de un sistema de tratamiento en la cuenca total de Fene

El sistema de regulación y tratamiento dimensionado y construido trata solo, como se ha comentado, las aguas de escorrentía de una parte de la *cuenca total* caracterizada en Fene. En este apartado se analiza cuál habría sido la eficiencia de un sistema de tratamiento para la *cuenca total* dotado con este volumen específico a partir de los hidrogramas y polutogramas caracterizados en la misma. Es posible analizar cuál sería la eficiencia aproximada de un sistema de tratamiento con diferentes volúmenes de calidad o, lo que es lo mismo, con diferentes alturas de lluvia capturadas. Para simplificar el análisis se realiza la hipótesis de que el volumen capturado queda confinado, no hay un flujo de salida, y el agua en exceso es by-paseada en la cabecera de la instalación hacia el medio receptor. Se considera un coeficiente de escorrentía de 0.9. Para realizar este análisis se utilizan gráficas que manejan tres variables:

1. El eje **x**: representa el tiempo de desarrollo del evento, o suceso de escorrentía medido en la sección de control, pero normalizado entre 0 y 1. Cuando se habla de evento, en este caso, se trata del periodo de tiempo durante el cual se realizó muestreo y medida de parámetros de contaminación.
2. El eje **y** principal: en él se describe el volumen acumulado de agua que atraviesa la sección de control, así como la masa acumulada de SS y ST; todos normalizados entre 0 y 1.
3. El eje **y** secundario: en él se representa la altura de lluvia acumulada durante el suceso (mm).

Figura 3. Volumen, SS, ST [normalizados] y precipitación [mm] acumulados en el suceso 1 y suceso 3.

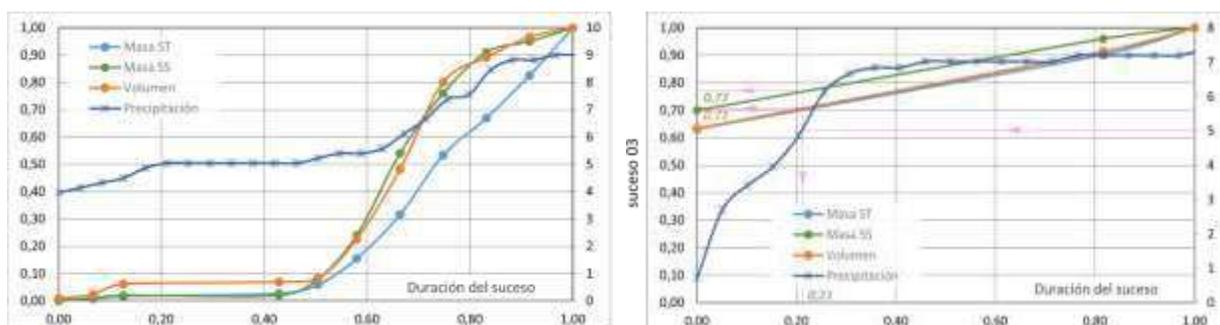
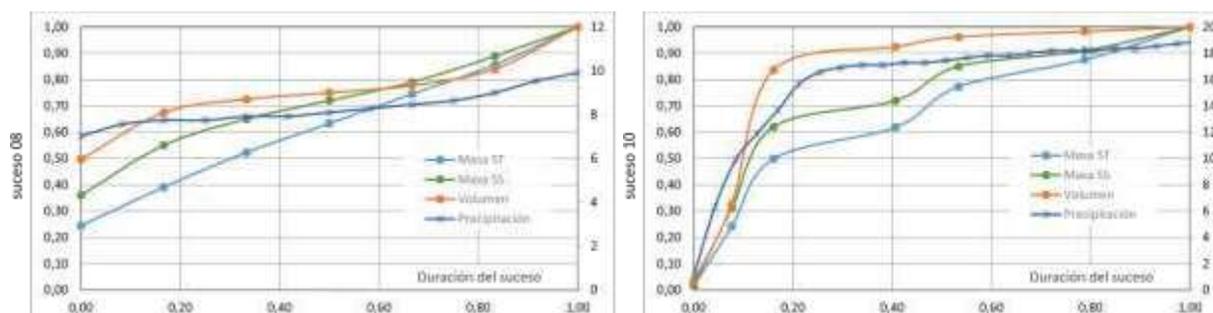


Figura 4. Volumen, SS, ST [normalizados] y precipitación [mm] acumulados en el suceso 8 y suceso 10.



Los siguientes gráficos muestran los rendimientos que se alcanzarían en cada uno de los sucesos estudiados (S01 a S10) en función de la precipitación (5, 10, 15 o 20 mm) para la que se dimensiona la capacidad de captura de una infraestructura de regulación y tratamiento en la *cuenca total* de Fene (también se ha reflejado el rendimiento medio de todos).

Figura 5. Porcentajes de los volúmenes de escorrentía capturados para cada suceso (S01 a S10) en función de los mm de precipitación o “WQv”.

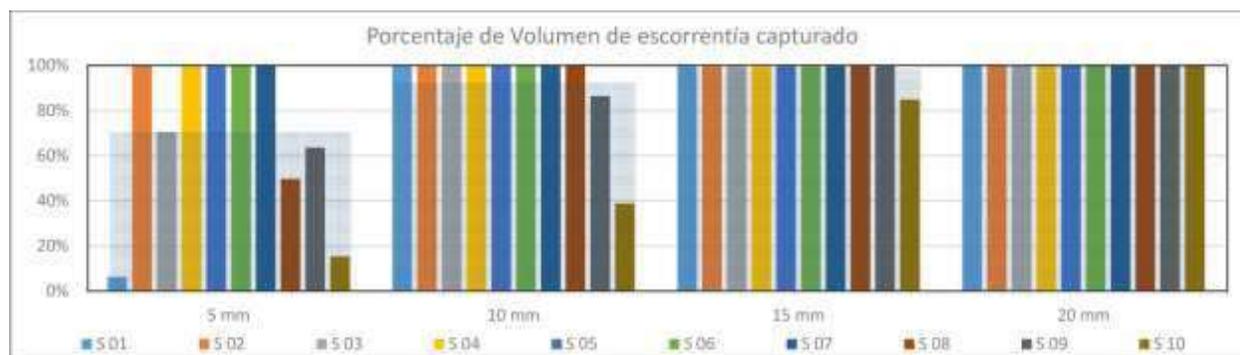
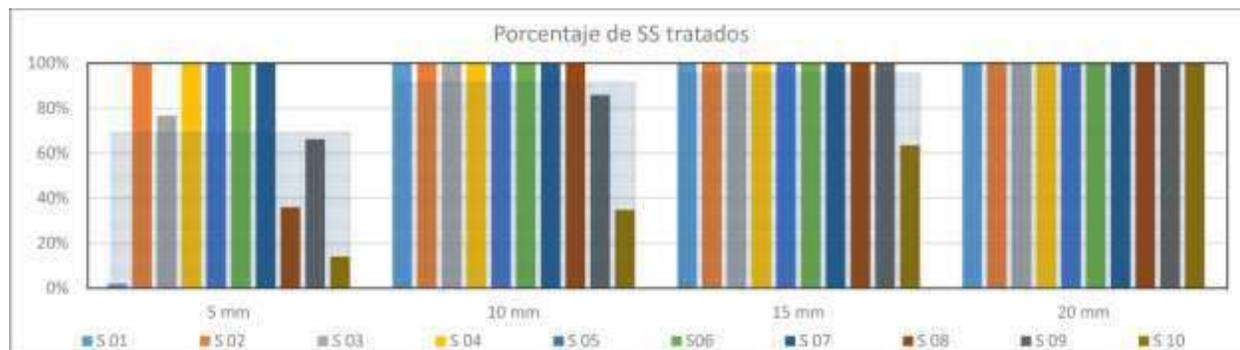


Figura 6. Porcentajes de masa de SS tratada en función de los mm de lluvia capturada en cada suceso y valor medio.



4 Conclusiones

En la siguiente tabla, resumen de los últimos gráficos, se muestra la eficiencia que tendría una infraestructura en la **cuenca total** de Fene en función de los mm de lluvia que fuera capaz de capturar o del “WQv” seleccionado.

Tabla 1. Rendimientos de volúmenes capturados (Vol) y Sólidos en Suspensión (SS) y Sólidos Totales (ST) tratados en la sección de Fene en función de la precipitación capturada.

H [mm]	WQv [m ³ /ha neta]	Vol	SS	ST
5	50	71%	70%	66%
10	10	93%	92%	90%
15	15	98%	96%	95%
20	20	100%	100%	100%

Como puede apreciarse, a partir de una capacidad de recogida de lluvia de 10 mm el rendimiento medio de la infraestructura de control y tratamiento sería superior al 90% en la precipitación capturada, lo mismo que el de su capacidad de tratamiento de SS y ST. Se puede apreciar que WQv bajos se es más eficiente capturando SS que ST, debido a que los SS presentan un pequeño flujo adelantado, con un poco significativo primer lavado.

Se puede concluir que el dimensionamiento hidrológico-hidráulico genera valores de volumen de calidad que producen rendimientos de captura de flujos contaminados muy elevados, superiores al 96%, cuando el



volumen total de agua capturado en el sistema fue del 98%.

Agradecimientos. Se agradece la colaboración a Aguas de Galicia (Xunta de Galicia), a la UTE COPASA-TABOADA, y al Concello de Fene, por la colaboración prestada.

Referencias

CALTRANS - State of California Department of Transportation. (2003) Storm Water Quality Handbooks: Construction Site Best Management Practices (BMPs) Manual. Sacramento.

CIRIA (2007). The SUDS Manual. London, 2007. Report C697.

Claytor, R.A., Scheuler, T.R. (1996). Design of Stormwater Filtering Systems. Centre for Watershed Protection, Ellicott City MD, pp. 1-218.

Jiménez, V., del Río, H., Ures, P., Torres, D., Vieito, S., Payo, P.M., Temprano, C., de la Vega, F, Suárez, J. (2012). Contaminación en las escorrentías de autopistas y vías con alta intensidad de tráfico. Estudio de una cuenca piloto en Fene (Galicia) y diseño de una técnica de drenaje sostenible de escorrentía de autopistas (TDSEA) (in spanish). Proceedings of the XXXIII AIDIS Conference, Salvador de Bahía, 2012, 15 pp.

Puertas J., Suárez J., Anta J. (eds.). (2008) Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano (In Spanish). CEDEX, Madrid. 600 pgs.

Suárez, J., Jiménez, V., del Río, H., Anta, J., Jácome, A., Torres, D., ... & Vieito, S. (2013, June). Design of a sand filter for highway runoff in the north of Spain. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer* (Vol. 166, No. 2, pp. 121-129). Thomas Telford Ltd.

US-EPA. (2004). Stormwater BMP design manual. Volume 1: General Considerations. US Environmental Protection Agency, Cincinnati. Report EPA/600/R-04/121A.