

Modelado de la contaminación movilizada por las redes de saneamiento unitarias en tiempo de lluvia y propuesta de un volumen de retención anti-DSU con SWMM

(Recibido: 29/04/2016; Aceptado: 22/06/2016)

Roca Martínez, J.¹; García Bermejo, J.T.¹; Castillo Elsitdié, L.G.¹; Serrano Sánchez, I.²

¹Grupo de investigación Hidr@m – Ingeniería Hidráulica, Marítima y Medioambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas
Paseo Alfonso XIII, Nº 52, 30203 Cartagena (España), Teléfono: 968327026

²HIDROGEA Gestión Integral de Aguas de Murcia; C/ Nuestra Sra. de los Buenos Libros, nº 3. 30008 Murcia
Email: jrm2@alu.upct.es

Resumen. La movilización de contaminantes en las cuencas urbanas, es un fenómeno que ocurre en tiempo húmedo, debido al arrastre de los sólidos depositados en tiempo seco por la escorrentía superficial urbana y que acaban vertiéndose al medio receptor (ríos y lagos). En este trabajo se modeliza este fenómeno con el software SWMM (Environment Protection Agency) y con un modelo de calidad calibrado para modelizar redes unitarias. Analizando los polutogramas e hidrogramas asociados a un hietograma y con las curvas de Masa-Volumen acumuladas $M(V)$, se estudia el fenómeno del First Flush y se obtiene un volumen de retención para un posible diseño de tanque Anti-DSU, en la cuenca urbana de Cartagena (España).

Palabras clave. cuenca urbana; modelización numérica; movilización de contaminantes; tanques anti-DSU; tiempo húmedo.

Abstract. Pollution mobilization in urban catchments, is a phenomenon that happens during wet-weather by surface runoff. These pollutants are in solid particles deposited in dry-weather on urban surfaces and when it rains, the urban runoff transports them to the environment (rivers and lakes). This phenomenon is simulated in this work by the software SWMM (Environment Protection Agency) and a quality model measured to model combined sewer systems. Thus we simulate the pollutant mobilization in urban catchments of Cartagena (Spain). With the results of this model, we can obtain a retention volume in order to avoid combined sewer overflows studying First Flush phenomenon analyzing Mass-Volume curves $M(V)$.

Keywords. Urban catchments, numeric modeling, pollutants mobilization, storm tank Anti-CSO, wet-weather

1. Introducción

La urbanización y edificación de las ciudades, trae consigo un aumento en la impermeabilización del suelo y un aumento de la escorrentía superficial en tiempo de lluvia, comparando una determinada cuenca urbana con otra rural de la misma superficie.

Las distintas superficies por las cuales escurre el agua de lluvia en una cuenca urbana (tejados, aceras, calzadas y redes de saneamiento) están diseñadas para desalojar el agua de escorrentía en el menor tiempo. Esto da lugar a un mayor volumen y velocidad de la escorrentía superficial, y el tiempo de concentración, infiltración al subsuelo, el almacenamiento en depresiones y la evaporación disminuyen [1].

1.1 Redes de saneamiento

El agua de escorrentía urbana es drenada por las redes de saneamiento en las cuencas urbanas, las cuales además, transportan agua residual procedente del consumo en tiempo seco hasta su tratamiento en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs).

Las redes de saneamiento urbanas se pueden clasificar en dos tipos: redes separativas y unitarias.

Las redes de tipo separativo constan de dos conducciones para transportar independientemente, el agua residual en tiempo seco y el agua pluvial en tiempo húmedo. Por otro lado, las redes de saneamiento unitarias constan de una única conducción.

En este trabajo nos centramos en el estudio del comportamiento de una red de saneamiento de tipo unitario en tiempo de lluvia mediante modelos matemáticos. Estas redes de saneamiento pueden desbordar al medio receptor en tiempo de lluvia. Estos reboses de la red se denominan Descargas de Sistemas Unitarios (DSU) [1] y están actualmente regladas por el Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre [2].

2. Modelo hidráulico e hidrológico

El programa “Storm Water Management Model” (SWMM) de la Environment Protection Agency (USEPA) es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua movilizada, especialmente en redes de saneamiento. Para ello consta de tres módulos [3]; el módulo de escorrentía o hidrológico, el módulo de transporte o hidráulico y el módulo de calidad.

El módulo de calidad de SWMM está compuesto por ecuaciones que tratan de modelizar, mediante distintos ajustes, los fenómenos de acumulación de contaminantes, sobre las cuencas urbanas en tiempo seco y el posterior arrastre de estos contaminantes, depositados durante el tiempo de lluvia [3]. Esto es correcto para modelizar redes de saneamiento de tipo separativo.

2.1. Acumulación de contaminantes dentro de las redes unitarias

En el interior de las redes de saneamiento unitarias se produce acumulación de contaminantes aportados por el agua residual de tiempo seco. Estos contaminantes son resuspendidos y transportados en tiempo de lluvia, por el agua residual procedente de la escorrentía superficial urbana. Este fenómeno no lo tiene en cuenta el modelo SWMM y sabemos que la resuspensión de los contaminantes acumulados dentro de las conducciones es una importante fuente de contaminantes, tal y como se muestra en la siguiente figura 1 ($\approx 63\%$ del total de masa de contaminante movilizada) [4]:

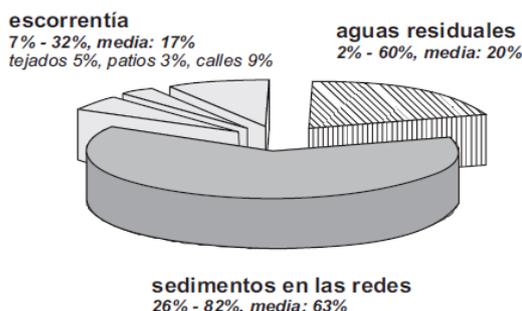


Fig. 1. Contribución de las distintas fuentes contaminantes a los sólidos en suspensión movilizados durante la lluvia [4].

2.2. Modelo de calidad de SWMM

En la literatura podemos encontrar diversos ajustes para las ecuaciones del módulo de calidad de SWMM realizados para modelizar redes unitarias. Estos ajustes se realizan con el fin de tener en cuenta la acumulación conjunta de contaminantes sobre las superficies de las cuencas urbanas y en el interior de las conducciones, y de su lavado, mediante campañas de recogida de muestras desde las conducciones de la red durante episodios de lluvia.

En este trabajo se ha usado un modelo de calidad ajustado con datos de campo de la red unitaria de la ciudad de Granollers (Cataluña). Este modelo de calidad ajusta las ecuaciones con sólidos en suspensión que simulan i) acumulación, (*build-up*) mediante una función potencial y ii) lavado (*wash-off*) con una función exponencial (tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de acumulación, de lavado, y de las propiedades de los contaminantes en el modelo en SWMM [5].

Concentración SS (mg/l)	
Concentración en el agua de lluvia	7
Concentración en el agua residual	182
Uso del suelo: Residencial - comercial	
Acumulación (<i>build-up</i>)	
Función	Potencial
Acumulación máxima (kg/ha)	60
Tasa de acumulación (kg/ha y día)	21
Potencia	0,25
Normalizador	Área
Lavado (<i>wash-off</i>)	
Función	Exponencial
Coefficiente de lavado	0,2
Exponente de lavado	1,4
Eficiencia de limpieza	20
Eficiencia BMP	0

En este trabajo se va a estudiar la movilización de los sólidos en suspensión en base a:

- Tener buenas correlaciones con la turbidez (60%), y con otros parámetros contaminantes como la DQO, DBO₅ e hidrocarburos disueltos por encima del 80% según el estudio PROMEDSU [1].
- Las partículas acumuladas erosionadas en las redes son de naturaleza orgánica y biodegradable [1].
- Los sólidos en suspensión y los metales (concretamente las fracciones particuladas) tienen concentraciones más elevadas en tiempo de lluvia que en tiempo seco, como son el manganeso, níquel, zinc, cobre, aluminio, hierro y plomo [6].

2.3. Modelo de la red de Cartagena

En la cuenca urbana de Cartagena predominan los usos residencial – comercial. El modelo de la red de saneamiento tiene una longitud de 300 km, con unas 17.900 subcuencas urbanas y unos 8.100 pozos de registro. Las precipitaciones se han calculado mediante la monografía del Ministerio de Fomento “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” válido para periodos de retorno ≤ 50 años [7].

Aplicando el modelo de calidad estudiado en la ciudad de Granollers (tabla 1) en el modelo hidráulico e hidrológico de la red de saneamiento de Cartagena, obtenemos resultados de masa de contaminación movilizada en tiempo de lluvia en 30 puntos de muestreo representativos de la red. El criterio de elección de estos puntos de muestreo en el modelo ha sido; un punto de muestreo por cada 10 km homogéneamente repartidos por la red. En este trabajo analizamos la movilización de sólidos en suspensión en un punto de muestreo cualquiera para una cuenca urbana densamente urbanizada y para el conjunto de los 30 puntos de muestreo.

3. Análisis de resultados

3.1. Evolución temporal de un punto de muestreo de una cuenca urbana

En la fig. 2 se muestra el hietograma, hidrograma (línea continua) y el polutograma (línea discontinua). Con estas curvas se puede analizar la movilización de la contaminación, modelizada en un punto de muestreo, para un periodo de retorno de 1,5 años:

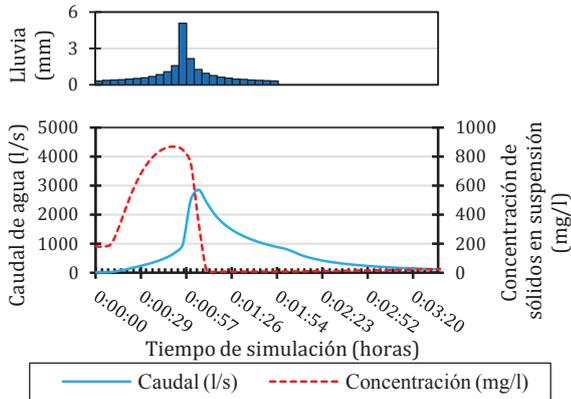


Fig. 2. Hietograma, hidrograma y polutograma de un periodo de retorno de 1,5 años.

Con las curvas masa de contaminantes frente a volúmenes acumulados calculadas a partir de los hidrogramas y polutogramas, estudiamos el fenómeno de primer lavado (First Flush) [8]. Así en la fig. 3, podemos observar un marcado efecto de primer lavado con el primer 30% del total de volumen estudiando el cambio de pendiente de la curva. Este punto divide la curva en dos tramos: i) un primer tramo con una elevada pendiente, que representa una mayor movilización de contaminantes por volumen de escorrentía, y ii) un segundo tramo con menor pendiente, y que representa una menor carga de contaminación por volumen de escorrentía.

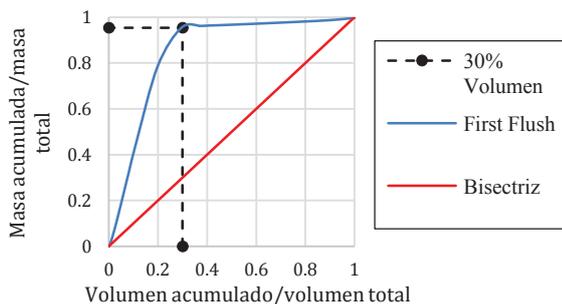


Fig. 3. Curva masa-volumen para el estudio del efecto First Flush en un punto de muestreo.

Hay disparidad de opiniones, en lo que se refiere a cuando se produce el primer lavado, ya que ello depende de las características de la cuenca urbana analizada [8]. Con los resultados de este estudio, se produce con el primer 30% del total del volumen de escorrentía ($\approx 520 \text{ m}^3$, a los 65 minutos después de haber comenzado el episodio). Este es el punto donde la curva cambia de pendiente de una manera repentina. La primera escorrentía arrastraría el 95%

del total de la contaminación total movilizada ($\approx 1.650 \text{ kg SS}$) (figura 3). El desfase del polutograma con el hietograma también representa este hecho (figura 2).

En la fig. 4 se muestra el resultado del análisis conjunto de las curvas M(V) para distintos periodos de retorno, y se representa en la gráfica el volumen de agua de escorrentía y la masa de sólidos en suspensión movilizada para distintos periodos de retorno. Donde las dos líneas continuas indican el volumen de escorrentía, 100% (superior) y 30% (inferior), mientras que las dos líneas punteadas que corresponden a la masa de sólidos en suspensión que se moviliza con el 100% (superior) y 30% (inferior) del volumen del agua.

Así observamos que el arrastre de masa de sólidos en suspensión que se produce con el primer 30% del volumen total de escorrentía correspondiente a un periodo de retorno de 1,5 años ($\approx 1.700 \text{ kg}$), no varía a mayores periodos de retorno. Es decir, la cuenca urbana se encuentra casi limpia cuando el agua de escorrentía ha arrastrado en torno a 1.800 Kg SS (fig. 4).

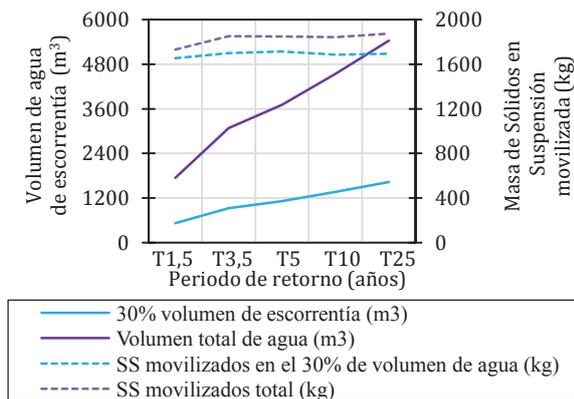


Fig. 4. Gráfica volumen de agua de escorrentía y masa de sólidos en suspensión movilizados para distintos periodos de retorno en un punto de muestreo.

Si dispusiéramos de un tanque anti-DSU en esta cuenca urbana para retener el primer 30% del volumen total de escorrentía asociado a un periodo de retorno de 1,5 años, a considerar periodos de retorno superiores no se producirían pérdidas en el rendimiento de retención de contaminantes.

3.2. Simulación del comportamiento del conjunto de puntos de muestreo de una cuenca urbana

En la fig. 5, las dos líneas continuas indican el volumen de escorrentía, 100% (superior) y 30% (inferior), mientras que las dos líneas punteadas que corresponden a la masa de sólidos en suspensión que se moviliza con el 100% (superior) y 30% (inferior) del volumen del agua. Con esta fig. 5 estudiamos el efecto de First Flush para el conjunto de los valores instantáneos de los 30 puntos de muestreo. Si graficamos el volumen de agua de escorrentía y la

masa de sólidos en suspensión movilizados para distintos periodos de retorno, observamos que a un periodo de retorno de 3,5 años, la masa de sólidos en suspensión movilizados está en torno a 22.000 kg SS contenidos en un volumen de escorrentía de 14.000m³. Así un periodo de retorno de 3,5 años es capaz de lavar casi la totalidad de la contaminación acumulada en la cuenca.

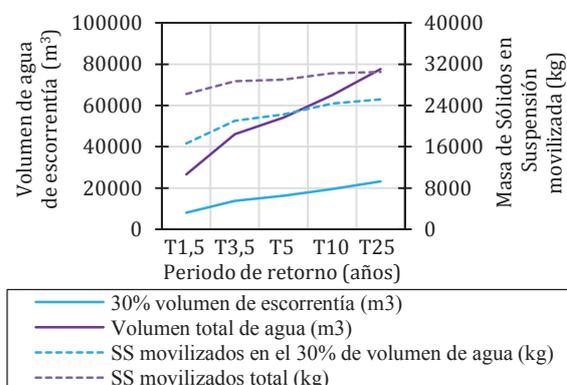


Fig. 5. Volumen de escorrentía y masa de sólidos en suspensión movilizados para distintos periodos de retorno en el conjunto de puntos de muestreo.

A partir de estos resultados, con 14.000 m³ de tanques anti-DSU distribuidos por toda la retendríamos el 75% del total de la masa contaminante movilizada (22.000 Kg SS).

4. Conclusiones

Con el modelo de la cuenca urbana de Cartagena, se observa un efecto marcado de primer lavado asociado al primer 30% del volumen de escorrentía. En valores medios, para el conjunto de los puntos de muestreo seleccionados, observamos que se moviliza alrededor del 75% del total de la carga contaminante, con un volumen de escorrentía que está en torno a 14.000 m³ con un periodo de retorno de 3,5 años. Los sólidos en suspensión aportados por este volumen están en torno a 22.000 kg SS, que comparados con los sólidos en suspensión totales aportados por el episodio, no es mucha la diferencia con 29.000 kg SS. Por lo que con un volumen de escorrentía de 14.000 m³, distribuido por toda la red de saneamiento urbana, podríamos retener el 75% de la contaminación según datos del modelo.

En un punto concreto de la red de saneamiento y para el análisis a partir de una precipitación con un periodo de retorno de 1,5 años, vemos que con el 30% del volumen de escorrentía, 520 m³ (respecto a los 1.800 m³ totales de escorrentía que pasan por dicho punto), se moviliza una carga superior al 90% del total de los sólidos en suspensión movilizados. Dicha carga se aproxima a los 1.650 kg SS, que no está lejano a los 1.700 kg SS movilizados en el episodio. Con un tanque anti-DSU con un volumen de 520 m³ en esta cuenca urbana, retendríamos un 90% del total de los sólidos en suspensión.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Cátedra de HIDROGEA – UPCT por propiciar que desde la universidad se puedan llevar a cabo este tipo de estudios.

Referencias

- [1] Puertas J., Suárez J., Anta J., (2008). *Gestión de aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano*. Publicaciones CEDEX. Madrid.
- [2] BOE Real Decreto 1290/2012. (2012). “Por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas”. pp. 1-28.
- [3] EPA SWMM. (2005). “Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 Ve. Manual de usuario”. Traducción al español por el grupo multidisciplinar de modelización de fluidos.
- [4] Gromaire, M.C., Garnaud, S., Saad, M., Chebbo, G. (2001). “Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers”. *Water Research*. Vol 35. pp. 521-533.
- [5] Seco, I., Gómez, M. (2013). “Calidad de aguas en tiempo de lluvia. Estudio de una cuenca urbana en la región mediterránea y calibración de un modelo hidrológico y de calidad en SWMM 5.0”. Barcelona. Marcombo. Vol. II.
- [6] Beneyto, M. (2004). “Evaluación de los rendimientos de depósitos de detención – aliviadero en redes de saneamiento unitarias en cuencas de la España húmeda”. Tesis Doctoral. Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la Universidad de A Coruña. A Coruña.
- [7] Ministerio de Fomento. (1999). *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*. Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. Serie Monografías.
- [8] Bertrand- Krajewski, J-L., Chebbo, G., Saget, A. (1997). “Distribution of pollutant mass vs volume stormwater discharges and the first flush phenomenon”. *Water Resources*. Vol. 32. pp. 2341-2356.