

# Dimensionado de depósitos de retención de contaminación mediante caracterización de las Descargas de Sistemas Unitarios en la ciudad de Murcia

## *Design of retention tanks through the characterization of combined sensor overflows in the city of Murcia*

Pedro D. Martínez Solano<sup>1</sup>, Pablo Espín Lea<sup>2</sup>, Simón Nevado Santos<sup>3</sup>, Juan T. García Bermejo<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A., Plaza Circular 9, Murcia, España

<sup>4</sup> Grupo Hidro@m, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 52, Cartagena

<sup>4</sup> @ Autor correspondente: pdmartinez@emuasa.es

**RESUMEN:** El impacto que las Descargas de Sistemas Unitarios (DSUs) producen en los medios receptores en tiempo de lluvia es uno de los principales factores a tener en cuenta en la gestión de los sistemas de saneamiento. Debido a esto, es necesario avanzar hacia un mejor conocimiento del efecto de estos vertidos con el objetivo de implementar medidas para reducir dichas emisiones. El coste de la medición en continuo de turbidez y otros parámetros indicativos de la calidad del agua aliviada, como pueden ser la DBO5 o la DQO, así como la ausencia de series históricas de dichos parámetros, puede llegar a ser un factor limitante para afrontar el estudio y dimensionado de los elementos de laminación y decantación adecuados. En este trabajo se han aplicado índices de predicción para generar polutogramas de diseño en un año representativo de las características de precipitación de la ciudad de Murcia. Esto servirá como base de cálculo y dimensionado del depósito de retención necesario en unos de los puntos de vertido de la red de saneamiento de la ciudad de Murcia.

Palabras clave: Descarga de Sistemas Unitarios (DSUs), índices de predicción de contaminación, polutogramas.

**ABSTRACT:** The impact that Combined Sewer Overflows (CSOs) produce in the receiving waters during rainy weather events is one of the main factors to be taken into account in the management of sewer systems. Because of this, it is necessary to move towards a better understanding of the effect of these discharges in order to implement measures to reduce these emissions. The cost of continuous measurement of turbidity and other parameters indicative of the quality of the relieved water, such as BOD5 or COD, as well as the absence of historical series of these parameters, can become a limiting factor to face the study and dimensioning of the appropriate elements of lamination and decanting. In this work, prediction indices have been applied to generate design pollutographs in a year representative of the precipitation characteristics of the city of Murcia. This will serve as a basis for calculation and designing of the necessary retention tank at one of the discharge points of the sewage network in the city of Murcia.

Keywords: Combined Sewer Overflows (CSOs), pollution prediction indexes, pollutographs.

## 1. INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los sistemas de saneamiento existentes en España y Europa son del tipo unitario. En este tipo de redes circulan por una misma conducción, las aguas residuales generadas por la actividad humana comercial e industrial de las ciudades en tiempo seco, junto con las aguas generadas por la escorrentía en periodos de lluvia. Las redes unitarias, en el caso de episodios de lluvias torrenciales, no son capaces de transportar la totalidad de los caudales recogidos, provocando desbordamientos denominados Descargas del Sistema Unitario (DSUs).

Durante un episodio de lluvia, el efecto de lavado que las aguas de escorrentía tienen sobre la superficie de la cuenca supone un importante arrastre de contaminantes acumulados en los días previos al evento, lo que provoca un importante transporte de toda esta carga hacia la red de drenaje y saneamiento. Este fenómeno, junto con la resuspensión del material sedimentado en la red debido al incremento de velocidad en el interior de las conducciones, hace que el impacto medioambiental que las DSUs tienen sobre el medio receptor sea considerable.

La normativa española considera las DSUs en el Real Decreto 1290/2012 [1], centrado en normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Dicho Real Decreto reconoce que en la práctica no es posible construir sistemas colectores e instalaciones de tratamiento capaces de tratar la totalidad de las aguas residuales generadas durante periodos de lluvias torrenciales inusuales, por lo que se hace necesario avanzar hacia la construcción de infraestructuras (dispositivos anti-DSU) que mejoren la calidad de los vertidos que se produzcan al medio receptor en tiempo de lluvia. A pesar de que existen experiencias en diversos países en cuanto al dimensionamiento de este tipo de dispositivos (como la normativa alemana ATV A-128 [2] y la British Standard Sewage BS8005 [3] en Inglaterra, entre otras), es conveniente proceder hacia la normalización en el diseño teniendo en cuenta las características pluviométricas de la zona, la orografía de la cuenca, las características de la red de drenaje y las propiedades medioambientales del medio receptor.

Dentro de este contexto, el conocimiento de las curvas de variación de concentración para un determinado contaminante a lo largo de un episodio de lluvia (polutogramas) es fundamental para la aplicación de las medidas recogidas en esta legislación. La monitorización de los contaminantes apoyada únicamente en la toma de

muestras puntuales ha demostrado ser técnica y económicamente inviable en estudios de grandes zonas. Es por ello que resulta imprescindible recurrir a herramientas que permitan determinar indirectamente la calidad del agua de manera continua y en tiempo real.

Diversas investigaciones han puesto de manifiesto el potencial que muestra el empleo de la turbidez como indicador indirecto de la evolución que la contaminación presente en el agua (Anta *et al.* [4]; Hannouche *et al.* [5]; Del Río [6]; Métadier y Bertrand-Krajewski [7]; Bersinger *et al.* [8]). De esta manera, se puede proceder a monitorizar la evolución de las concentraciones de ciertos indicadores de contaminación (como son los sólidos en suspensión o la demanda bioquímica de oxígeno) por medio de funciones de correlación lineales.

Sin embargo, en la mayoría de los casos no existen series temporales de medición en continuo de turbidez que permitan evaluar la idoneidad de una u otra estrategia de retención de contaminación ante la serie histórica de precipitación y vertido. Además, el coste de inversión y mantenimiento de los sistemas de monitorización expuestos puede llegar a convertirse en un factor limitante en el análisis cuantitativo de la contaminación movilizada en un suceso de lluvia.

Por ello, el estudio estadístico de las relaciones entre la concentración de contaminación en el agua residual y la escorrentía constituyen un marco de referencia para investigar los impactos asociados a las DSUs. Siguiendo esta línea, varias investigaciones (Gupta y Saul [9], LeBoutillier *et al.* [10], Gromaire *et al.* [11], Del Río [6]) han realizado un análisis de la regresión estadística entre parámetros relacionados con los sólidos en suspensión y las variables hidrológicas e hidráulicas de los eventos lluviosos.

Se ha empleado dicho modelo estadístico para analizar los episodios de lluvia acaecidos en el denominado año medio de la cuenca, obtenido a partir de la serie histórica de precipitaciones (2001-2018) y siguiendo para su definición los criterios establecidos en las Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas de Galicia [12].

1. Definición de la serie hidrológica a analizar (año medio).
2. Obtención del hidrograma en el punto de control para el año medio mediante el modelo matemático de la red.
3. Obtención del polutograma (turbidez, NTU) en el punto de control para el año medio empleando la formulación desarrollada en el estudio de García *et al.* (2017).

4. Obtención del polutograma (DBO5) en el punto de control para el año medio utilizado la correlación turbidez-DBO5.
5. Planteamiento del objetivo de emisión en el punto de control (kg. DBO5 retenidos). Cálculo del volumen de retención necesario siendo el criterio el de retener en torno al 85% de la contaminación en cuanto a kg. de DBO5. El efecto de minoración de contaminantes debida a la capacidad de decantación del depósito de retención no se ha considerado en el presente trabajo

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 Descripción de la cuenca de estudio

Continuando con la investigación realizada por García *et al.* [13], el presente trabajo se centra en la cuenca urbana San Félix de la ciudad de Murcia. Esta cuenca es mayormente residencial y realiza el drenaje mediante sistemas de alcantarillado unitario, presentado un porcentaje de impermeabilidad del 47%. Las principales características de la cuenca de estudio se presentan en la Tabla 1.

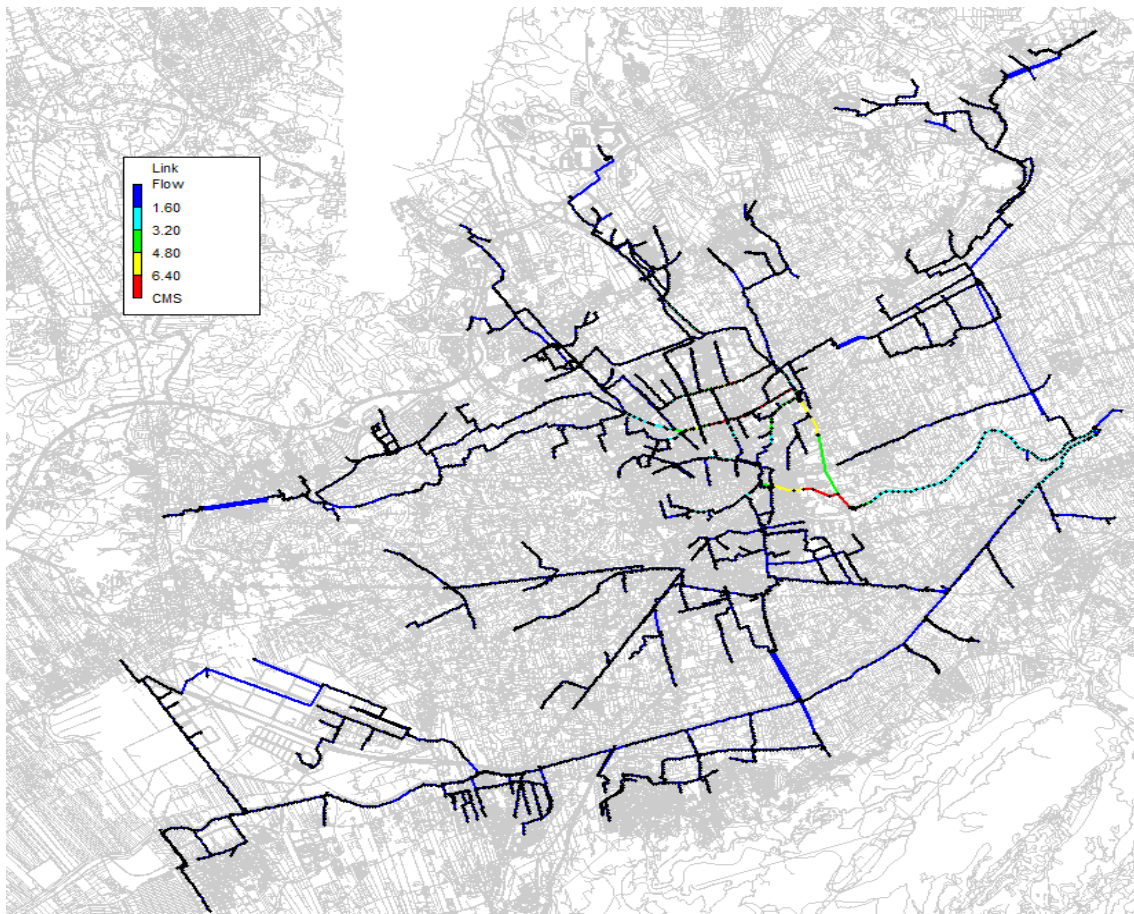
**Tabla 1.** Características de la cuenca de estudio.

| Cuenca   | San Félix |
|--|-----------|
| Área de la Cuenca (km <sup>2</sup> ), A                    | 14.89     |
| Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> )               | 14250     |
| Ratio de impermeabilidad (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) | 0.47      |
| Pendiente media (m/m), S                                   | 0.0043    |
| Longitud del cauce principal (km), L                       | 10.75     |
| Longitud de la red de saneamiento (km)                     | 513.15    |
| Tiempo de concentración (min), Tc                          | 87.14     |

### 2.2 Modelo hidráulico de la red

El software Storm Water Management Model (SWMM) de la Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos (US-EPA) es un modelo numérico de simulación hidráulica que permite describir el comportamiento de sistemas de saneamiento, tanto en términos de cantidad de agua como de calidad de la misma.

Para este estudio se ha empleado un modelo calibrado y simplificado de la red de saneamiento de Murcia bajo este software. En la Figura 1 y en la Tabla 2 se muestran una imagen de dicho modelo y sus principales características, respectivamente



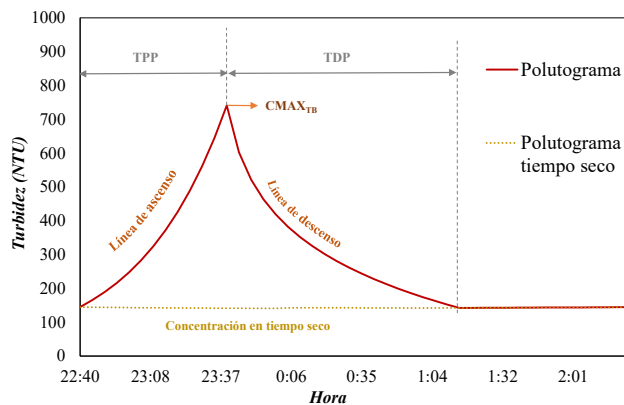
**Figura 1.** Vista del modelo hidráulico empleado bajo el software SWMM.

**Tabla 2.** Descripción del modelo hidráulico de la ciudad de Murcia.

| Información | Elemento         | Número |
|-------------|------------------|--------|
| Hidrológica | Pluviómetros     | 39     |
|             | Cuencas          | 4553   |
| Hidráulica  | Nudos            | 6073   |
|             | Nudos de vertido | 58     |
|             | Almacenamientos  | 70     |
|             | Conductos        | 6304   |
|             | Bombes           | 100    |

### 2.3 Modelo hidráulico de la red

En este apartado se presentan los índices multivariable que configuran el modelo estadístico desarrollado por García *et al.* [13]. Mediante este conjunto de índices se puede obtener, en función de variables hidrológico-hidráulicas, los parámetros fundamentales que permiten la construcción de los denominados polutogramas de diseño (Figura 2). Dichos parámetros son el tiempo al pico del polutograma (TPP) y la concentración máxima de turbidez en el agua residual (C<sub>MAXTB</sub>).



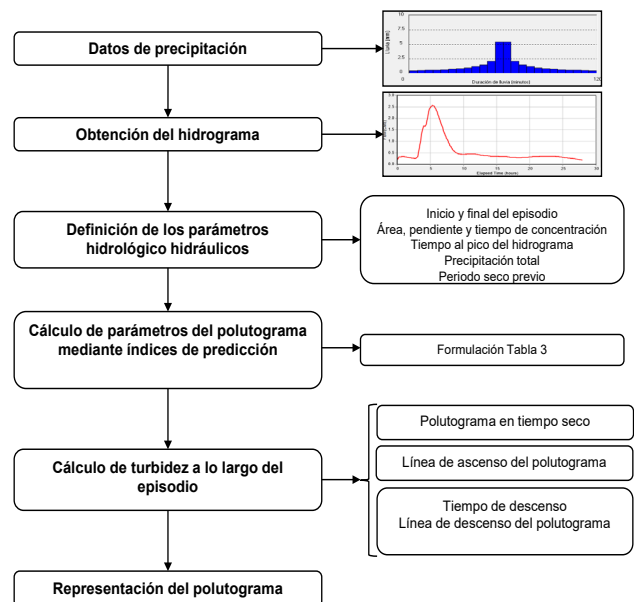
**Figura 2.** Principales parámetros de un polutograma de diseño, García et al. [13].

En la Tabla 3 se resume la formulación y las variables empleadas en cada una de las fórmulas que componen este modelo estadístico.

**Tabla 3.** Formulación para la construcción de polutogramas de diseño, García et al. [13].

|  |  |
|--|--|
| <b>Índice de Tiempo al Pico del Polutograma (ITPP)</b> | $I_{TPP} = \left(\frac{TPH}{T_c}\right)^{0.13} \left(\frac{P_{TOTAL}}{P_{TOTAL-ANUAL}}\right)^{0.02}$ (Ec.1) <p>Donde TPH es el tiempo al pico hidráulico, T<sub>c</sub> el tiempo de concentración de la cuenca, P<sub>TOTAL</sub> la precipitación del suceso y P<sub>TOTAL-ANUAL</sub> es la precipitación anual media en la zona de estudio (350 mm para esta región).</p> |
| <b>Relación ITPP-TPP</b>                               | $TPP = 427.71 I_{TPP} - 281.34$ (Ec.2)   |
| <b>Tiempo de descenso del polutograma (TDP)</b>        | $TDP = 4.24 TPP - 40$ (Ec. 3)  |
| <b>Índice de concentración máxima (ICMAXTB)</b>        | $I_{CMAXTB} = \left(\frac{P_{TOTAL}}{P_{TOTAL-ANUAL}}\right)^{0.3} (TSPR)^{0.3} F_{FORMA}$ (Ec.4) <p>Donde S es la pendiente media de la cuenca, TSPR es la relación de días secos consecutivos anteriores al evento lluvioso en el último mes y F<sub>FORMA</sub> es el factor de forma de la cuenca.</p>   |
| <b>Relación ICMAXTB-CMAXTB</b>                         | $CMAXTB = 5343.2 I_{CMAXTB} + 356.85$ (Ec.5)   |
| <b>Factor de forma</b>                                 | $F_{FORMA} = \frac{10A}{L^2}$ (Ec.6) <p>donde A es el área de la cuenca en km<sup>2</sup> y L es la longitud del cauce principal de km.</p>  |

El procedimiento para el cálculo del polutograma de diseño asociado a un determinado episodio de lluvia viene reflejado en la Figura 3.



**Figura 3.** Metodología para la elaboración de polutogramas de diseño, García et al. [13].

## 2.3 Datos pluviométricos disponibles

Para el dimensionado del depósito de retención necesario en la cuenca San Félix, se va a aplicar como criterio de selección de la serie de lluvias a modelizar el empleado en las Instrucciones técnicas para obras hidráulicas en Galicia. Volumen 2. SAN-1/5-Cálculo de Depósitos en Sistemas Unitarios [12]:

- La precipitación total del año escogido estará comprendida entre el 90% y el 110% de precipitación media anual de una serie de como mínimo 10 años consecutivos.
- El número de días de lluvia del año escogido estará comprendido entre el 90% y el 110% de la media de días de lluvia de una serie de como mínimo 10 años.

Se disponen de los datos de precipitación diaria en la estación que la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) tiene en Guadalupe (Murcia), en el periodo 2000 a 2017, obteniéndose, según los criterios anteriores, 2 potenciales años medios, 2008 y 2012 (Tabla 4).

**Tabla 4.** Valores promedio para la serie histórica de datos pluviométricos 2.000-2.017

| Año                     | Días de lluvia | Vol. lluvia (mm) |
|-------------------------|----------------|------------------|
| 2008                    | 22             | 261              |
| 2012                    | 22             | 272              |
| Promedio 2000-2017      | 24             | 282              |
| 90% Promedio 2000-2017  | 22             | 254              |
| 110% Promedio 2000-2017 | 27             | 310              |

Para los cálculos realizados en el presente trabajo se ha seleccionado como año medio el año 2008.

## 2.4 Correlación Turbidez-DBO5

Se puede definir el concepto turbidez (o turbiedad) como una medida de la claridad relativa de un líquido. Es una característica óptica que expresa la cantidad de luz que es dispersada por el material presente en el líquido cuando esta se hace pasar a través del mismo. Por lo tanto, cuanto mayor sea la intensidad de luz dispersada, mayor será la turbidez. Son numerosos los estudios que ponen de manifiesto la posibilidad de emplear mediciones en continuo de este parámetro para monitorizar la evolución de los flujos de contaminantes a través de funciones de correlación directas. Por tanto, valores en continuo de turbidez pueden ser empleados para diversos propósitos, como la estimación de las cargas de contaminantes por requisitos legislativos, la operación, planificación y rehabilitación de los sistemas de alcantarillado o la modelización en tiempo real del sistema.

En el presente trabajo se han empleado las formulaciones extraídas del estudio de Del Río [6] realizado en una cuenca urbana con alcantarillado unitario de la ciudad de Santiago de Compostela. En dicho estudio se presentan diversas expresiones que relacionan los parámetros de contaminación tanto en tiempo seco como en los episodios de lluvia.

Dado el objetivo del presente estudio, se ha seleccionado la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) como el parámetro representativo del fenómeno de lavado, ya que presenta una correlación elevada con la turbidez según los datos de la cuenca Ensanche de Santiago de Compostela (Del Río, 2011).

La ecuación empleada (Ec.7) es la siguiente:

$$DBO_5(\text{mg/L}) = 1,8217 \cdot \text{TURBIDEZ}(\text{NTU}) + 122,49 \quad (\text{Ec.7})$$

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Caracterización de los episodios de lluvia del año 2008

A partir de los datos de intensidad de lluvia 10-minutal de la estación de AEMET en Guadalupe para el año medio 2008, se han caracterizado los sucesos de lluvia de dicho año (Tabla 5).

Para la identificación y selección de los episodios de lluvia se ha considerado como criterio de individualización la hipótesis de que el tiempo sin precipitación entre los sucesos sea mayor a dos veces el tiempo de concentración de la cuenca, en este caso 180 minutos.

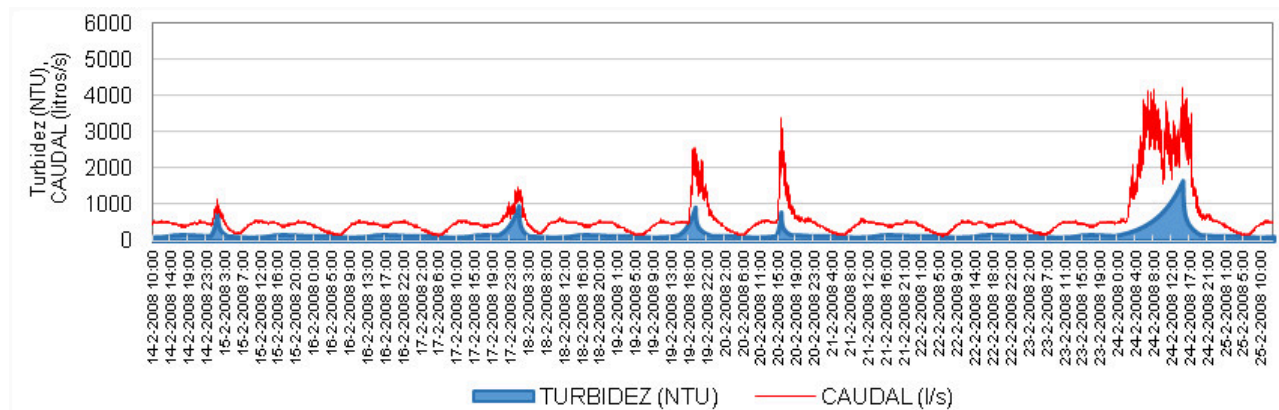
De esta forma, se han obtenido 57 episodios de lluvia a lo largo del año, que se han simulado en el modelo SWMM, obteniéndose los siguientes parámetros para el punto de control San Félix (se muestra el resultado para los primeros 5 episodios identificados):

A partir de los resultados obtenidos por suceso, se ha podido generar el polutograma para turbidez completo para el año 2008 del punto de control objeto del presente estudio. En la Figura 4 se muestra el hidrograma y polutograma obtenido con esta metodología para el periodo 14/02/2008 a 20/02/2008.

Se puede apreciar la influencia que presenta el nº de días secos consecutivos previos al evento, que provoca concentraciones máximas elevadas incluso en sucesos de lluvia de menor caudal punta y volumen movilizado. En el evento del 24/2/2008, se observa que el pico de la turbidez no se encuentra en la primera parte del hidrograma como suele ser habitual. En este caso esto se debe a que el

**Tabla 5.** Ejemplo de caracterización de los sucesos de lluvia del año 2008

| Suceso | PTOTAL (mm) | Tiempo total (min) | Días previos secos | TPH (min) | ITPP | ICMAXTB | TPP (min) | CMAXTB (NTU) |
|--------|-------------|--------------------|--------------------|-----------|------|---------|-----------|--------------|
| 1      | 4,3         | 400                | 20,00              | 204       | 1,18 | 0,31    | 224,21    | 1.987,59     |
| 2      | 0,4         | 180                | 0,72               | 80        | 0,85 | 0,06    | 82,72     | 651,29       |
| 4      | 0,3         | 240                | 10,40              | 107       | 0,92 | 0,11    | 113,63    | 959,73       |
| 6      | 0,6         | 240                | 2,25               | 99        | 0,91 | 0,09    | 109,91    | 825,81       |
| 7      | 1,2         | 440                | 2,68               | 296       | 1,29 | 0,11    | 269,69    | 965,34       |



**Figura 4.** Generación de hidrograma y polutograma (turbidez).

parámetro TSPR, días secos consecutivos anteriores al evento lluvioso en el último mes, adopta valores de 3 días lo que hace que no se haya acumulado todavía una gran cantidad de contaminación en el colector y que por ello no se produzca la histéresis clásica en este tipo de eventos.

Una vez generada la serie temporal de la turbidez en el punto de control, tal y como se ha detallado en el punto anterior, se puede obtener en todo momento la cantidad de DBO5 movilizada (en mg/l), por lo que se puede proceder al cálculo de volumen de retención necesario para un objetivo de emisión propuesto.

Así, en el presente trabajo se ha propuesto como objetivo de emisión la retención del 85% de la cantidad de DBO5 movilizada en el punto de control durante los sucesos de lluvia del año medio, y su posterior transporte a la Estación Depuradora de Agua Residual, EDAR.

Se ha considerado como capacidad máxima del colector 1,5 veces el caudal medio residual, obteniendo para este punto un valor de caudal máximo de 0.60 m<sup>3</sup>/s. En los casos en los que este valor sea superado, se producirá un vertido al medio receptor. Con esta limitación se ha calculado tanto el volumen de agua como la cantidad de DBO5 vertida (en kg.), a partir de la concentración de DBO5 obtenida.

Para el mismo periodo del año mostrado en la figura anterior, se obtiene la siguiente evolución en

la cantidad de DBO5 movilizada, en kg (Figura 5).

Al tener la serie temporal de DBO5 movilizada para todo el año, se puede calcular el volumen de retención necesario para alcanzar el objetivo de emisión propuesto. Para ello, en cada uno de los sucesos estudiados se ha obtenido el caudal de escorrentía que pasa por el punto de control San Félix y no puede ser conducido a la EDAR al superar el caudal máximo de 0.60 m<sup>3</sup>/s.

A partir de dicho caudal, se puede calcular la cantidad de DBO5 que no puede ser conducida hacia la EDAR, pudiendo evaluar las potenciales medidas de minimización de la misma.

Con los datos anteriores, el porcentaje de contaminación movilizada, medida en kg. de DBO5, conducida a la EDAR en los diversos episodios de lluvia acaecidos en el año medio (2008) alcanza el 25%, muy lejos del 85% propuesto en el presente estudio como cifra tentativa.

En la Figura 6, se muestra el cálculo del caudal vertido para el suceso del día 24/02/2008, así como la cantidad de DBO5, que no es conducida a la EDAR durante dicho suceso de lluvia. Como se ha comentado, debido al bajo valor del parámetro TSPR en este evento se observa cómo el polutograma alcanza su pico en la parte final del hidrograma. Esto cambia en caso en que valores de TSPR elevados aparezcan dando lugar a picos del polutograma adelantados a los picos de los hidrogramas generados.

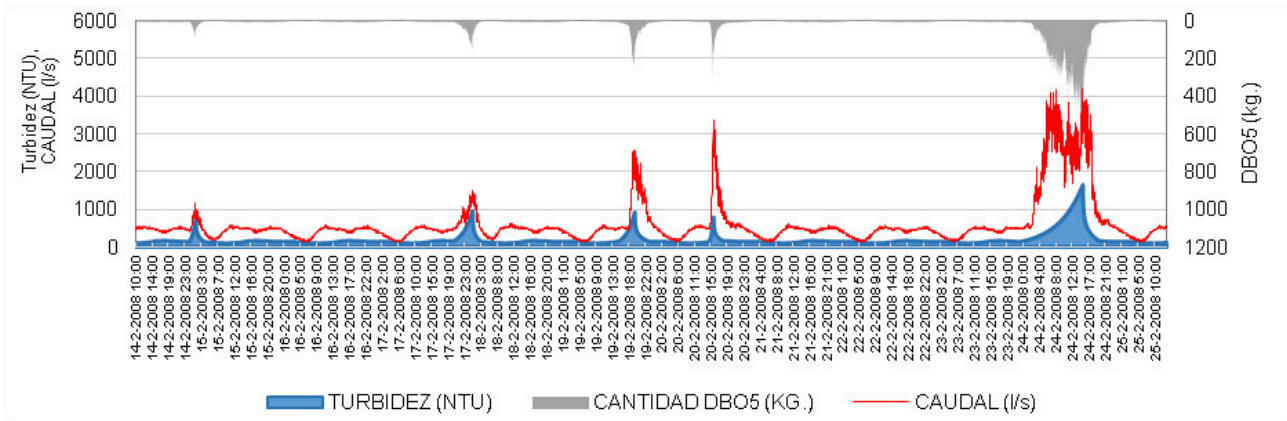


Figura 5. Generación de hidrograma, polutograma - turbidez y polutograma – DBO5.

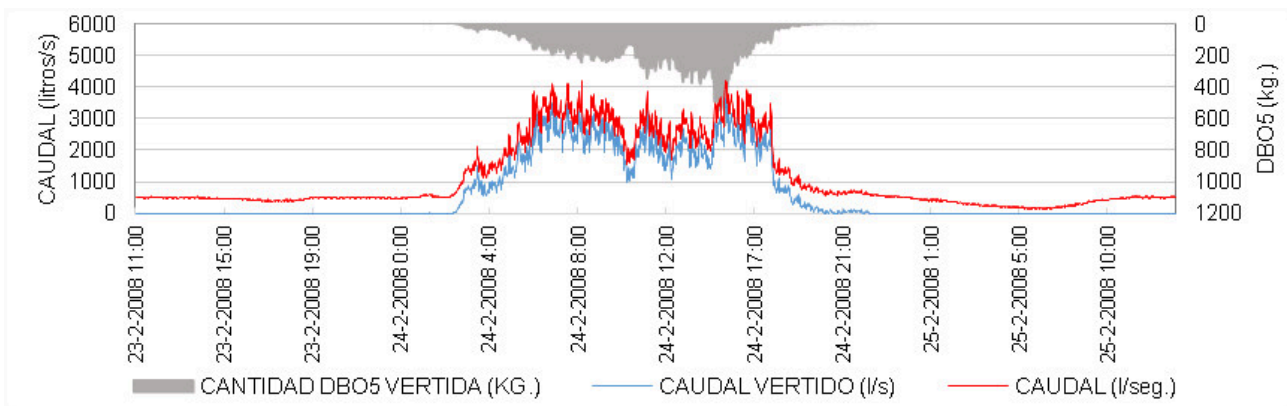


Figura 6. Ejemplo de cálculo de masa de contaminación vertida.

Con los datos anteriores, se ha obtenido un volumen de retención necesario para alcanzar el 85% de la cantidad de DBO5 movilizada de 67.000 m<sup>3</sup>. Para ello, en cada suceso de lluvia se ha calculado el volumen de agua de escorrentía que es conducido a dicho depósito de retención y el volumen de agua que es finalmente vertido al alcanzar la capacidad máxima de dicho depósito. Por ejemplo, para el suceso de lluvia del 24/02/2008, el perfil de caudales y de DBO5 retenidos y finalmente vertidos quedaría de la siguiente forma (Figura 7).

En la mayoría de los sucesos de lluvia analizados, el volumen de retención propuesto será capaz de absorber todo el exceso de agua de escorrentía, no produciéndose vertido alguno al medio receptor. En la Figura 8 se muestra el comportamiento sobre caudal y DBO5 en los sucesos del periodo 14/02/2008 a 20/02/2008, donde se aprecia el impacto de la retención sobre la emisión de contaminantes. Así, los sucesos de lluvia de los días 17/02/2008, 19/02/2008, 20/02/2008 no provocan vertido al medio receptor.

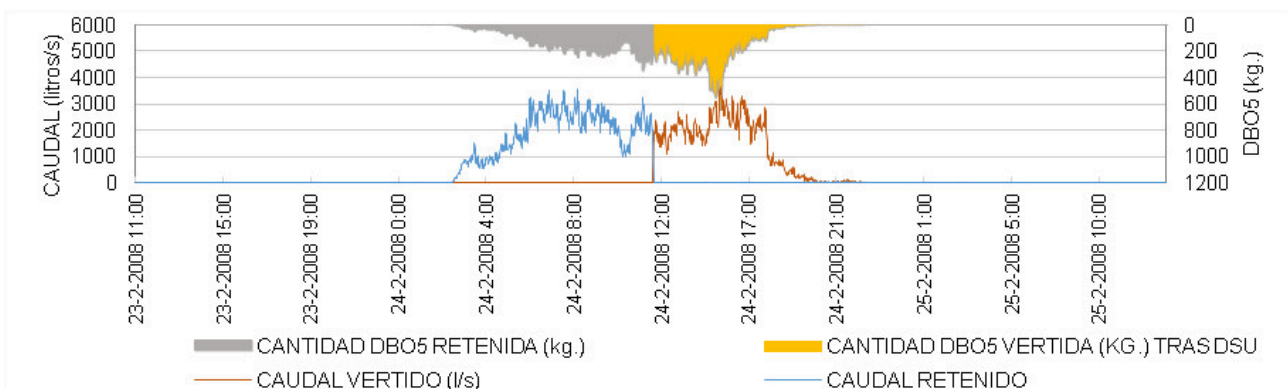
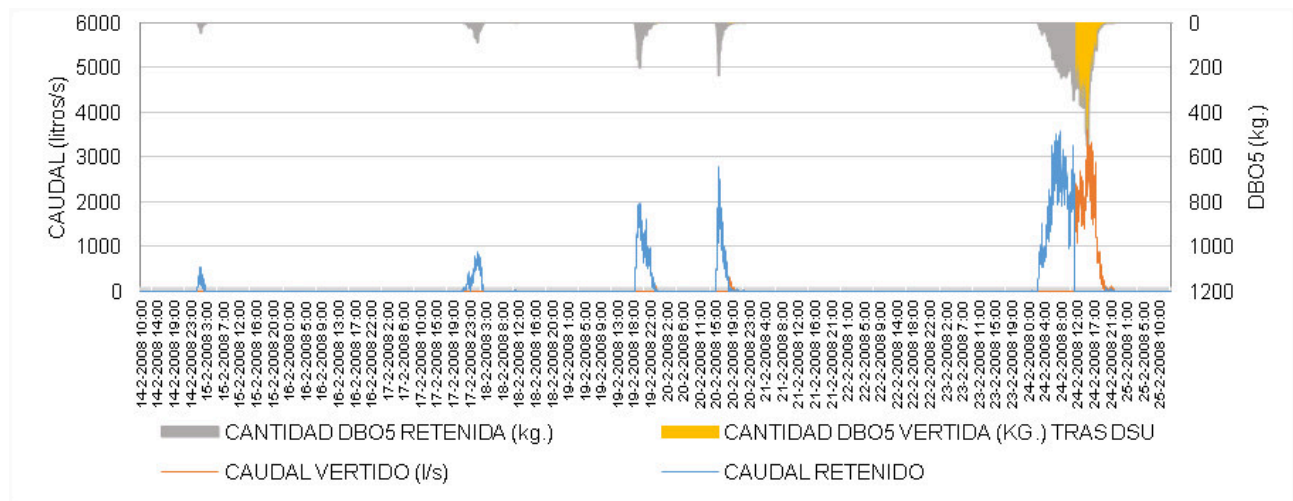


Figura 7. Ejemplo de cálculo de masa de contaminación vertida – Impacto del depósito de retención (1)



**Figura 8.** Ejemplo de cálculo de masa de contaminación vertida – Impacto del depósito de retención (2)

El balance final obtenido con el depósito de retención de 67.000 m<sup>3</sup> en el punto de control proporciona el objetivo de emisión propuesto, esto es, el 85% de la cantidad de contaminación generada por el agua de escorrentía es conducida a la EDAR.

Como comparación, se ha calculado el volumen de retención necesario según las *Instrucciones técnicas para obras hidráulicas en Galicia. Volumen 2. SAN-1/5-Cálculo de Depósitos en Sistemas Unitarios* [12]; en dichas instrucciones, se establecen los siguientes objetivos de protección de calidad del medio receptor: el número máximo de vertidos no superará el valor de entre 15 y 20 sucesos en el *año medio* y que el porcentaje de agua vertida no superará el 10-15% del volumen total de lluvia neta. En cuanto al primer objetivo, a continuación se presentan los volúmenes de los 20 sucesos con mayor generación de escorrentía (Figura 9).

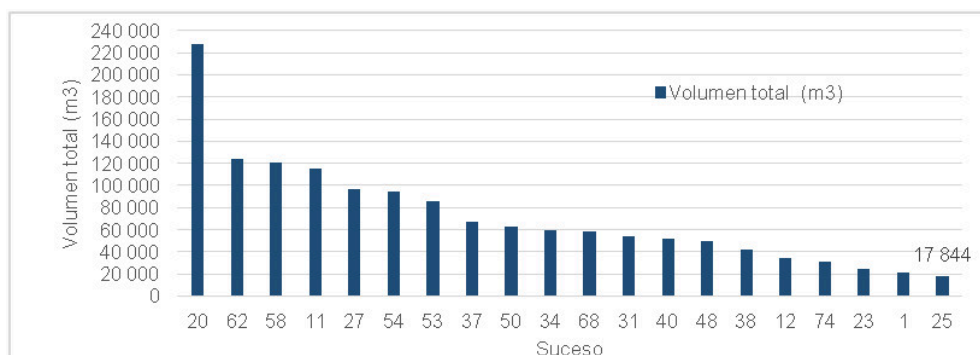
Por tanto, el volumen mínimo deberá ser de 18.000 m<sup>3</sup>.

Por lo que se refiere al segundo objetivo, de manera parecida a lo que se ha calculado para el cálculo del porcentaje de DBO5 retenido, para alcanzar un 85%

de volumen de agua de escorrentía en el año medio (2008), es necesario un volumen de retención en el punto de control de 70.000 m<sup>3</sup>.

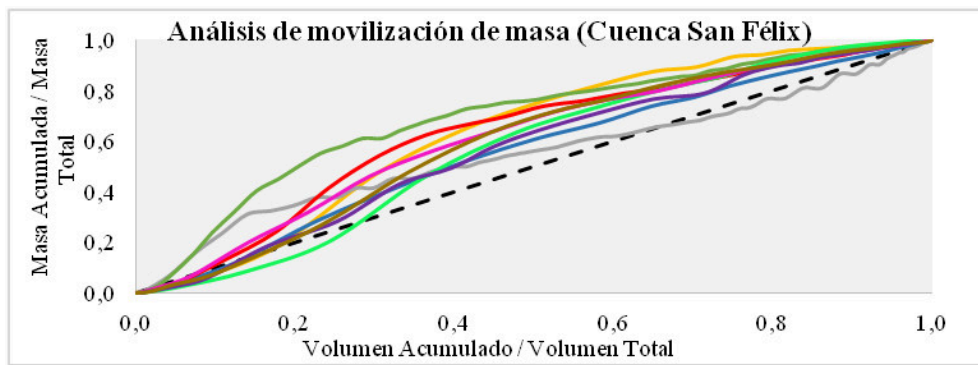
Por tanto, para el caso particular de la cuenca San Felix, se han obtenido valores similares de volumen de retención frente a objetivos de protección diferentes, dadas las características intrínsecas de la propia cuenca, que proporciona una movilización de contaminantes escalonada, no apareciendo de esta manera el fenómeno de primer lavado o first flush con la suficiente entidad que provoque una mayor movilización de contaminantes en los primeros instantes del suceso de lluvia. El perfil de movilización es bastante constante durante los diferentes sucesos de lluvia, lo que impide la reducción del volumen necesario de retención frente a un objetivo de retención por masas de contaminación movilizadas (Figura 10).

Es de destacar que para calcular la fracción de cantidad de DBO5 retenida o aliviada no se ha tenido en cuenta el potencial impacto de decantación de la presencia del depósito de retención sobre la concentración de DBO5, por lo que el volumen realmente necesario podría ser menor.



**Figura 9.** Características de los 20 sucesos de lluvia con mayor precipitación del año 2008.





**Figura 10.** Distribución de las curvas Masa-Volumen para 9 episodios reales analizados en la cuenca San Félix.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha utilizado el modelo estadístico presentado por García *et al.* (2017) [14], para el cálculo del volumen de retención necesario para minimizar el vertido de contaminantes al medio receptor en episodios de lluvia.

Siguiendo con la metodología anterior, se ha escogido la turbidez como el principal indicador de la contaminación en el agua residual basándose en estudios previos de la relación que existe entre este parámetro y el resto de contaminantes presentes en el agua.

Por medio de datos de turbidez, precipitación y caudal, se ha procedido al desarrollo de dos índices de predicción de contaminación capaces de obtener dos parámetros fundamentales del polutograma: el tiempo al pico y el valor de turbidez máxima. En base a estos dos índices se presenta una metodología de construcción de polutogramas.

A partir de dichos índices, y según la correlación mostrada entre la turbidez y la DBO<sub>5</sub>, se ha simulado el comportamiento de la cuenca San Félix en el denominado año medio, obteniéndose la serie temporal de cantidad de DBO<sub>5</sub> (en kg.) para cada suceso de lluvia de dicho año medio. De esta forma, se ha propuesto un objetivo de protección basado en el control de la cantidad de contaminación, no solamente en cantidad de agua de escorrentía vertida al medio receptor.

El resultado obtenido se ha comparado con la metodología propuesta en las Instrucciones técnicas para obras hidráulicas en Galicia. Volumen 2. SAN-1/5-Cálculo de Depósitos en Sistemas Unitarios para el dimensionado de depósitos de retención, obteniéndose en este caso un valor similar debido a la ausencia del fenómeno de primer lavado en la cuenca objeto del presente estudio. Es decir, en caso de retener el 85% del volumen total escurrido el volumen del depósito obtenido será de 70.000 m<sup>3</sup>. Mientras que para cumplir el objetivo de emisión

del 15% de la carga de DBO<sub>5</sub> total el depósito de retención debe tener 67.000 m<sup>3</sup> que asegura que el 85% de la cantidad de contaminación generada por el agua de escorrentía es conducida a la EDAR.

No obstante, no se ha incorporado al cálculo del porcentaje de la cantidad de DBO<sub>5</sub> el posible impacto de la decantación dentro del depósito de retención, por lo que una línea de estudio futura sería establecer dicho impacto dentro de la metodología propuesta, según la tipología y elementos auxiliares dentro del depósito de retención.

Aunque el trabajo es específico para la cuenca San Félix de Murcia, esta metodología puede ser usada como punto de partida para otras cuencas. Extender la aplicación de esta metodología a otros puntos de estudio podría llevar a la estandarización de los coeficientes y a la definición de un polutograma de diseño que pueda servir de referencia para otros estudios.

## REFERENCIAS

- [1] BOE. (2012). Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico. BOE 227 (20 septiembre 2012): 66167-66194.
- [2] ATV-Standard A-128. (2002). Standards for the dimensioning and desing of stormwater structures in combined sewer. German.
- [3] British Estándar Sewage BS 8005. (1987). Part I. Guide to new Sewage Construction. England BS 8005.
- [4] Anta, J., Cagiao, J., Suárez, J., Peña, E. (2009). Análisis de la movilización de sólidos en suspensión en una cuenca urbana separativa mediante la aplicación del muestreo en continuo de la turbidez. Ingeniería del Agua, 16 (3), 189–200.

- [5] Hannouche, A., Chebbo, G., Ruban, G., Tassin, B., Lemaire, B. (2011). Relation between turbidity and total suspended solids concentration within a combined sewer system. *Water Science and Technology*, 64(12), 2445-2452.
- [6] Del Río, H. (2011). Estudio de los Flujos de Contaminación Movilizados en Tiempo de Lluvia y Estrategias de Gestión en un Sistema de Saneamiento y Drenaje unitario de una Cuenca Urbana Densa de la España Húmeda. Tesis Doctoral, Universidade da Coruña, A Coruña, España.
- [7] Métadier, M., Bertrand-Krajewski, J.L. (2012). The use of long-term on-line turbidity measurements for the calculation of urban stormwater pollutant concentrations, loads, pollutographs and intra-event fluxes. *Water Research*, 46, 6836–6856.
- [8] Bersinger, T., Pigot, T.; Bareille, G., Le Hecho, I. (2013). Continuous monitoring of turbidity and conductivity: A reliable, easy and economic tool for sanitation management. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 171, 151-162.
- [9] Gupta, K., Saul, A.J. (1996). Specific relations for the first flush load in combined sewer flows. *Water Research*, 30, 1244–1252.
- [10] Leboutillier, D.W., Kells, J.A., Putz, G.J. (2000). Prediction of pollutant load in stormwater runoff from an urban residential area. *Canadian Water Resources Journal*, 25(4), 343-359.
- [11] 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*, 35(2), 521-533.
- [12] Xunta de Galicia. Instrucciones Técnicas de Obras Hidráulicas de Galicia. 2009.
- [13] García, J.T., Espín, P., Viguera-Rodríguez, A., Castillo, L.G., Carrillo, J.M., Martínez, P.D., Nevado, S. (2017). Características de las Descargas de Sistemas Unitarios (DSUs) en la ciudad de Murcia. V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña.
- [14] García, J.T., Espín, P., Viguera-Rodríguez, A., Castillo, L.G., Carrillo, J.M., Martínez, P.D., Nevado, S (2017). Urban Runoff Characteristics in Combined Sewer Overflows (CSOs): Analysis of Storm Events in Southeastern Spain. *Water*, 9, 303, doi: 10.3390/w9050303.