

Implicaciones sobre la estación depuradora de la gestión de aguas pluviales en los sistemas de saneamiento unitario: estrategias de integración yafecciones sobre los procesos

JOAQUÍN SUÁREZ LÓPEZ (*), ALFREDO JÁCOME BURGOS (**), JOSÉ ANTA ÁLVAREZ (***),
JEAN-PIERRE BLANCO MENÉNDEZ (****), DAVID HERNÁEZ OUBIÑA (*****) y HÉCTOR DEL RÍO CAMBESES (*****)

RESUMEN Los nuevos diseños y estrategias de gestión de las aguas pluviales en los sistemas de saneamiento unitario, que tienen como objetivo final minimizar los impactos sobre las masas de agua, implican el tratamiento y depuración de importantes volúmenes de agua procedentes de las escorrentías urbanas.

Los flujos generados por las aguas pluviales una vez introducidos en la red de saneamiento unitaria se caracterizan por tener una componente dinámica-transitoria tanto en lo que se refiere a los caudales como a la contaminación. Con estrategias tradicionales de diseño los desbordamientos de los sistemas unitarios (DSU) en tiempo de lluvia envían a los medios acuáticos receptores importantes puntas de contaminación. Hoy en día estos DSU se han minimizado dotando de capacidad de almacenamiento al sistema (bien en la red, con depósitos-aliviadero de todo tipo, bien en la EDAR), pero los volúmenes retenidos, con toda la contaminación, deben ser tratados. Los flujos que llegan a la EDAR durante los periodos de lluvia quedan condicionados por toda la estrategia de gestión de pluviales y ésta puede verse superada si se gestiona con estrategias de tiempo seco. Con el fin de optimizar los rendimientos, y realmente evitar que la contaminación llegue al medio acuático, la EDAR debe participar de forma integrada en todo el sistema; es un elemento clave.

En este artículo se presenta, en primer lugar, la importancia de la contaminación de las DSU y cómo se han desarrollado nuevas estrategias de gestión de las aguas pluviales en los sistemas de saneamiento unitarios. Los depósitos-aliviadero, situados en la red de saneamiento, han sido una de las soluciones más frecuentes, pero también hay experiencias que han focalizado la gestión de los flujos de tiempo de lluvia en la EDAR; se revisan, de forma general, estas estrategias. Una vez se conoce la función de la EDAR en los nuevos sistemas de saneamiento se procede a hacer una revisión de la problemática que generan las sobrecargas hidráulicas y las fuertes variaciones de las características de la contaminación sobre las distintas etapas de la línea de agua. Se hace especial incidencia en los problemas que se generan sobre los secundarios basados en procesos con biomasa en suspensión. A la vez que se analizan los problemas se proponen algunas estrategias que pueden contribuir a su atenuación.

STORMWATER MANAGEMENT IMPLICATIONS ON WWTPS IN COMBINED SEWER SYSTEMS: INTEGRATION STRATEGIES AND PROCESS CONDITIONS

ABSTRACT *New designs and strategies to manage wet weather flows in combined sewer systems, which main objective is to minimize environmental impacts on water bodies, require the treatment of large volumes of stormwater.*

Wet weather flows introduced into combined sewer show dynamic-transient behavior both in terms of flow discharges and pollution. With traditional design strategies, large pollution peaks are spilled during rain events into water receiving bodies by combined sewer overflows (CSOs). Nowadays, CSOs have been reduced providing some storage capacity into the combined sewer systems (either in network, by means stormwater tanks, or in WWTP). The stored stormwater and its associated pollution should be treated. WWTP inflows during rainy events are conditioned by the local stormwater management strategy. The WWTP can be overcome if it is managed using traditional dry weather strategies. In order to optimize the treatment performance and to assure that urban pollution do not reach aquatic environment, the WWTP must participate in the system in an integrated manner. This is a key element.

(continua)...

(*) Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor Titular de Tecnologías del medio Ambiente. Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA); Centro de Innovación en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC); Universidade da Coruña. E-mail: jsuarez@udc.es

(**) Dr. Ingeniero Industrial. Profesor Titular de Tecnologías del medio Ambiente. Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA); Centro de Innovación en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC); Universidade da Coruña. E-mail: ajacome@udc.es

(***) Dr. Ingeniero de Caminos, canales y Puertos. Profesor Contratado Doctor. Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA); Centro de Innovación en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC); Universidade da Coruña. E-mail: jose.anta@udc.es

(****) Ingeniero Industrial. Jefe de Sección Industrial. Aguas de Galicia; Xunta de Galicia E-mail: jean.pierre.blanco.menendez@xunta.es

(*****) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe del Departamento de Obras del EPE. Aguas de Galicia; Xunta de Galicia. E-mail: david.hernaez.oubina@xunta.es

(***** Dr. Ingeniero Químico. Investigador Contratado. Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA); Centro de Innovación en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC); Universidade da Coruña. E-mail: hrio@udc.es

This paper shows firstly the importance of CSO pollution and the development of new strategies for stormwater management in combined sewer systems. Stormwater tanks, located in the sewerage system, have been one of the most common solutions adopted but there are some experiences of wet weather flow management at the WWTP. All these strategies are revised in the paper. Once the role of the WWTP in the new combined sewer systems is known, the article presents a review about the problems generated by the hydraulics overloads and the large variations of the pollution characteristics on different stages of the water line. Special emphasis is made on the problems generated in secondary processes based on activated sludge. These problems are analyzed in detail and some mitigation strategies are proposed.

Palabras clave: Sistemas de saneamiento unitario, Tiempo de lluvia, DSU, Depósitos de tormenta, Depuradora de aguas residuales urbanas, Sobrecarga hidráulica, Interacciones entre EDAR y red de saneamiento.

Keywords: Combined sewer systems, Wet-weather, CSO, Stormwater tanks, Municipal wastewater treatment plants, Hydraulic overload, Interactions between sewers and the WWTP.

1. ANTECEDENTES Y CONTEXTO

Una visión integral en el diseño y explotación de un sistema de saneamiento unitario que minimice los impactos sobre los ecosistemas acuáticos, y que permita alcanzar los cada vez más exigentes objetivos ambientales en el estado de las masas de agua receptoras, obliga a desarrollar nuevas estrategias tanto para tiempo seco como para tiempo de lluvia. Estas nuevas estrategias deben aprovechar al máximo todo el potencial de todos los elementos del sistema: cuenca drenante, red de saneamiento y sus infraestructuras complementarias (bombeos, depósitos reguladores, depósitos de detención-aliviadero, ...), estación depuradora de aguas residuales (EDAR) y medio receptor.

Como es sabido, en la actualidad, la herramienta básica y fundamental que establece el camino a seguir para recuperar nuestros sistemas acuáticos continentales es la Directiva Marco del Agua (DMA). Ambiciosa en sus metas y objetivos, fija como año de referencia para "cumplir" el 2015, ha supuesto un reajuste de las políticas del agua en toda Europa.

El desarrollo de la DMA implica una mayor protección de la calidad del agua ya que no sólo consolida las obligaciones ya existentes de control de la contaminación puntual y difusa sino que amplía dicha protección, estableciendo un objetivo ambiental relativo al "estado ecológico" de las aguas superficiales. De hecho establece la obligatoriedad de alcanzar el "buen estado ecológico" de los sistemas acuáticos.

Para conseguir el "buen estado ecológico" la DMA establece la necesidad de identificar y valorar las presiones e impactos que sufren nuestros medios acuáticos. Este análisis de presiones e impactos ha puesto de manifiesto en la última década las elevadas cargas contaminantes movilizadas y las elevadas concentraciones que se generan en los sistemas de saneamiento unitario en tiempo de lluvia, así como de los importantes impactos que se estaban generando sobre los medios acuáticos receptores en tiempo de lluvia (Puertas *et al.*, 2008).

Hoy en día, cuando se analiza la problemática de presiones, y posibles impactos, de un sistema de saneamiento o drenaje sobre un medio acuático se deben diferenciar, y valorar, tres tipos de fenómenos de contaminación asociados con las aguas pluviales:

- El primero es el generado por las aguas de escorrentía contaminada que llega a los sistemas acuáticos de forma directa a través de las redes de aguas pluviales de los sistemas separativos. Son aguas que, en zonas urbanas, han lavado las calles, los tejados, etc., y que pueden transportar contaminantes de todo tipo. Nutrientes, metales pesados e hidrocarburos son frecuentes en estas

aguas, pero su presencia depende enormemente del tipo de usos y actividades de la cuenca drenada.

- El segundo tipo de fenómeno de contaminación es el generado por los Desbordamientos de los Sistemas Unitarios, DSU (CSO, "Combined Sewer Overflow" en inglés), con aguas que son mezcla de aguas pluviales (más o menos contaminadas) y aguas residuales urbanas convencionales, las circulantes en tiempo seco.
- El tercer problema de contaminación asociado a las aguas pluviales es el generado en las depuradoras. La punta de caudal que asume la red y las fuertes oscilaciones de concentraciones acaban llegando a la depuradora y, si supera su capacidad de tratamiento, también se produce un vertido en tal punto. Además, si se procesa un caudal más elevado que el de diseño de la planta se producirán desajustes en el funcionamiento y bajarán los rendimientos. Algunas de las etapas de la EDAR regresarán a valores normales una vez haya pasado el estrés hidráulico pero los procesos biológicos pueden quedar fuertemente alterados, provocando una bajada de rendimientos que puede llegar a durar semanas, que acabará afectando finalmente a la calidad de las aguas en el medio receptor.

Las características de los flujos en tiempo de lluvia en un sistema unitario, que condicionan tanto las características de los posibles desbordamientos (DSU) como los flujos que son enviados a la EDAR, están fuertemente determinadas por las aguas residuales urbanas de tiempo seco, por los usos o actividades que se realizan en la superficie de las cuencas urbanas que son lavadas por las aguas de pluviales, y por el arrastre de materiales y sedimentos depositados en las conducciones y elementos auxiliares de la red de alcantarillado durante períodos secos.

Los impactos de los DSU pueden ser muy negativos. Determinan una pérdida muy importante de la eficacia del sistema, cuyo fin es la protección del medio acuático receptor. La incorporación de sistemas de control y tratamiento de estos desbordamientos, tales como los conocidos depósitos de tormenta, determina una nueva relación entre las fuentes de contaminación y caudales, los sistemas de transporte, la EDAR y el medio receptor. El conjunto de estas infraestructuras y aliviaderos, situados aguas arriba de la EDAR, determinan las cargas hidráulicas y de contaminación que llega a la depuradora y el impacto sobre el medio receptor.

La importancia de los vertidos en tiempo de lluvia desde de los sistemas de saneamiento unitario han adquirido protagonismo recientemente con la publicación del Real Decreto

1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifican el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), aprobado por el Real Decreto 849/1986 y el Real Decreto 509/1996, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Gran parte de las modificaciones introducidas por el RD 1290/2012 se centran en caracterizar mejor y controlar los DSU. Este Real Decreto, que establece un primer marco de actuación que permite limitar la contaminación producida por los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia, no deja de tener en cuenta que, en la práctica, no es posible construir los sistemas colectores y las instalaciones de tratamiento de manera que se puedan someter a tratamiento la totalidad de las aguas residuales mixtas en circunstancias tales como lluvias torrenciales inusuales.

Si bien en los últimos años se han diseñado y construido nuevas infraestructuras para el control de los vertidos en tiempo de lluvia desde las redes de saneamiento, fundamentalmente depósitos de detención-aliviadero, la incidencia de la gestión de las aguas pluviales en la red de saneamiento sobre la estación depuradora se ha estudiado poco. Una tendencia clara en todos los sistemas de saneamiento unitario que han puesto en marcha estrategias de gestión de aguas pluviales es que a la EDAR se le va a exigir que asuma más flujo tanto en tiempo de lluvia como en los periodos de tiempo posterior; la EDAR no debe ser ajena a la estrategia general y debe participar, debe integrarse, de forma correcta. El objetivo de este artículo es realizar una primera aproximación técnico-descriptiva a este problema.

2. FLUJOS HACIA LA EDAR EN TIEMPO DE LLUVIA

2.1. LA CONTAMINACIÓN DE LOS DSU

En el diseño tradicional de los sistemas unitarios los elementos reguladores, o limitadores, del caudal que se permitía ir hacia la depuradora en tiempo de lluvia eran los aliviaderos. El criterio que se seguía para su diseño se basaba en la dilución; la hipótesis básica de este método era que las aguas de escorrentía superficial procedentes de la cuenca estaban limpias (aguas blancas) y que, en el momento en que se iniciaba el vertido tanto el caudal que se enviaba aguas abajo por el alcantarillado como el vertido al medio receptor presentaban la misma dilución, que era la de diseño. Una dilución de cua-

tro veces, por ejemplo, significaba que en el reboso, o desbordamiento, estaban presentes una parte de agua residual y tres partes de agua de lluvia. Dependiendo de la bibliografía que se consultase el valor de la dilución de diseño variaba notablemente; las cifras habituales oscilaban entre 3 y 6; Paz Maroto, en 1959, proponía un valor fijo de 5; Camp, en 1959, mencionaba valores que iban de 2 a 5 (Temprano, 1997).

Hoy en día es bien sabido que las aguas “blancas” no son tales ya que la contaminación movilizada en las mismas puede ser muy importante y que los vertidos en tiempo de lluvia desde los sistemas unitarios aportan a los sistemas acuáticos cargas muy importantes de contaminación.

En España se han realizado diversos estudios para caracterizar los vertidos que se producen desde los aliviaderos. El más importante fue el promovido por el entonces Ministerio de Medio Ambiente denominado “Programa Nacional de Medición de Descargas de Sistemas Unitarios”, PROMEDSU (MMA, 2002). En el PROMEDSU participó de forma muy activa el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) de la Universidad de Coruña. Este grupo continuó con este tipo de estudios (se puede destacar el SOSTAQUA, 2009) y actualmente dispone de la base de datos más amplia que existe en España de caracterización de flujos en sistemas unitarios en tiempo de lluvia (Base GEAMA); se han caracterizado y parametrizado más de 75 sucesos, o flujos, en tiempo de lluvia.

Algunos ejemplos de sucesos caracterizados se presentan en las Figuras 1 a 4 mientras que los datos globales obtenidos a lo largo de todos los estudios realizados se pueden resumir en la Tabla 1.

Los datos que forman la Base GEAMA proceden de cuencas con características muy diversas. Los datos presentados en la Tabla 1, obtenidos después de integrar los datos de esta base de datos y aplicarles un tratamiento estadístico de los mismos, ponen de manifiesto que las aguas que se verterían por un aliviadero tradicional de un sistema de saneamiento unitario en un suceso de lluvia tendrían, de manera general, las características de un agua residual urbana (ARU) de concentración media, y que los picos de concentración que se enviarían al medio natural de forma habitual serían del orden del doble de un agua residual. Los valores ponen de manifiesto, en una interpretación general (hay que recordar que se trata de fenómenos transitorios), que no hay “dilución” y que estos flujos intermitentes suponen una presión significativa para cualquier masa de agua.

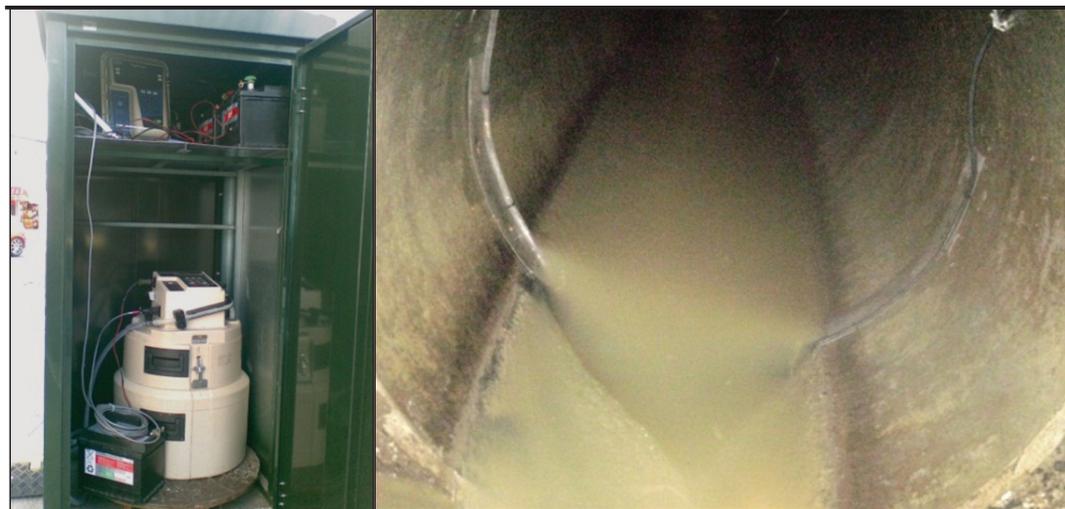


FIGURA 1. Sección de control (izq.) e instrumentación instalada en el colector (dcha.).

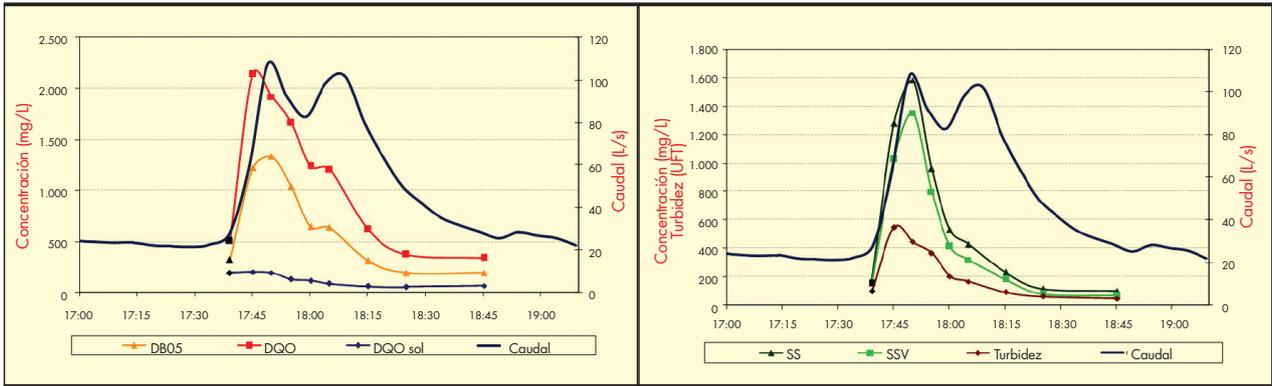


FIGURA 2. Suceso ENSANCHE-250409 (7 días de tiempo seco precedente) (SOSTAQUA, 2009).

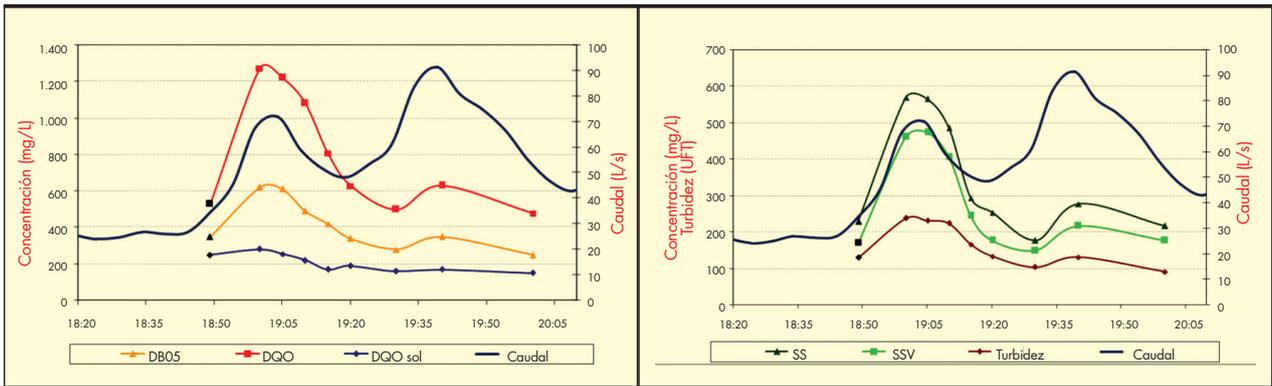


FIGURA 3. Suceso ENSANCHE-100509 (0,2 días de tiempo seco precedente) (SOSTAQUA, 2009).

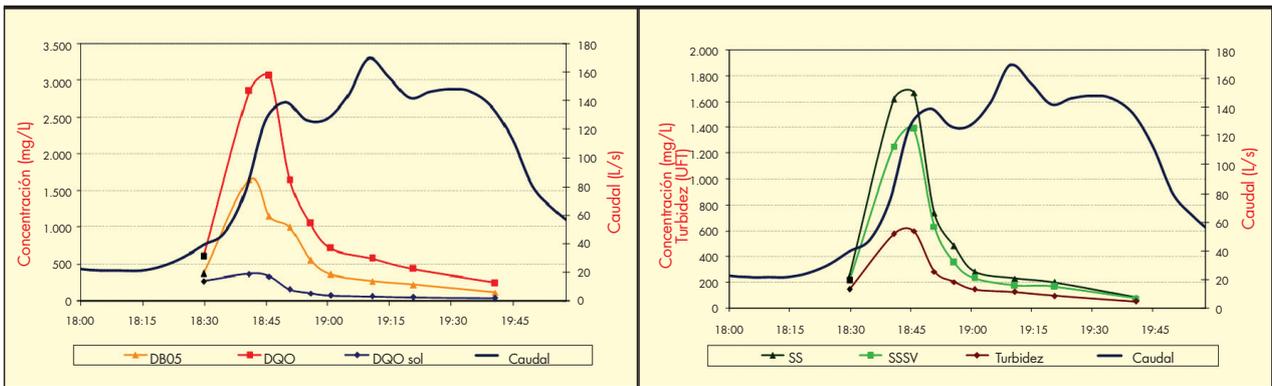


FIGURA 4. Suceso ENSANCHE-230509 (6,3 días de tiempo seco precedente) (SOSTAQUA, 2009).

	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SS (mg/L)
MEDIANAS DE LAS «CONCENTRACIONES MEDIAS DE SUCESO» - CMS	508	235	488
MEDIANAS DE LAS «CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE SUCESO» - Cmax	1177	531	1131

TABLA 1. Concentraciones medias de suceso (CMS) y concentraciones máximas de suceso (Cmax) que se obtienen a partir de los datos de la Base GEAMA.

2.2. LOS SISTEMAS DE CONTROL Y TRATAMIENTO DE LOS DSU

Como ya se ha comentado, los depósitos, o “tanques de tormenta”, son sistemas que se emplean tanto para regular los caudales circulantes por la red durante los episodios de lluvia, como para el control y tratamiento de desbordamientos en los sistemas de saneamiento unitario. Los depósitos forman parte, en definitiva, de las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible. En concreto se trata de “técnicas estructurales de control aguas abajo” en los sistemas unitarios.

Si bien los depósitos no son precisamente la solución óptima dentro de un futuro escenario sostenible de gestión de las aguas pluviales (que debe ser implementado fundamentalmente con técnicas de drenaje urbano en origen, en la superficie de la cuenca) son una solución paliativa y eficiente con la actual configuración de los sistemas unitarios de saneamiento.

Actualmente, los depósitos de aguas pluviales en sistemas unitarios se están diseñando con dos posibles objetivos: reducir la cantidad de contaminación enviada hacia el medio receptor o reducir el riesgo de inundación aguas abajo (CEDEX, 2007). Siguiendo esta filosofía, los depósitos en redes unitarias se han denominado, en ocasiones, de forma más específica como “depósitos anti-DSU”, o depósitos para el control de la contaminación, y “depósitos anti-inundación”, o depósitos laminadores.

Los depósitos laminadores se diseñan a partir de criterios «hidrológico-hidráulicos» y deben tener la capacidad de reducir los caudales máximos de circulación de la red de alcantarillado con el objetivo de evitar inundaciones; por el contrario, los depósitos para el control de la contaminación se diseñan a partir de criterios «ambientales», con un doble objetivo:

- Regular el régimen de caudales y contaminación que se deriva hacia la EDAR, con objeto de limitar los valores máximos permisibles para el correcto funcionamiento de la misma.
- Minimizar la contaminación vertida a las masas acuáticas receptoras, a través de, por ejemplo, la captura del primer lavado, de la reducción del número de descargas del sistema unitario y/o proporcionando algún tipo de tratamiento a los DSU con la mejor tecnología disponible, de manera que se cumpla la normativa ambiental vigente.

El antagonismo de estos dos objetivos obliga a buscar un compromiso entre la sobrecarga de caudal y contaminación admisible en la EDAR, y el flujo contaminante (analizado en términos de dosis, duración y frecuencia) que el medio receptor puede aceptar sin que se produzcan impactos significativos. Por tanto, los depósitos para el control de la contaminación tienen una doble función: regular los caudales que circulan por la red de alcantarillado en tiempo de lluvia y retener la materia contaminante.

Lo cierto es que esta clasificación, depósitos anti-DSU y laminadores, no refleja una realidad compleja: en el fondo, todos los depósitos cumplen ambas funciones en mayor o menor medida, si bien las dimensiones de los mismos, o su ubicación, hacen que los resultados obtenidos sean más bien de uno u otro tipo.

El caudal máximo de aguas residuales que finalmente se envía hacia la estación depuradora debe ser coherente tanto con la estrategia definida de depósitos y colectores interceptores como con los objetivos de vertido establecidos para todos los puntos de descarga del sistema. La configuración final del sistema debe garantizar que las presiones que recibe el medio receptor a través de todos los puntos de vertido sean asumibles y permitan mantener los objetivos establecidos en el estado de las masas de agua.

Con el fin de presentar de forma breve las estrategias de configuración de los volúmenes de almacenamiento y su relación con la EDAR se pueden describir lo que serían dos estrategias opuestas conceptualmente: la denominada “estrategia alemana” y la denominada “estrategia británica”.

La “estrategia alemana” hace referencia a la metodología propuesta en la norma ATV A-128, «Standards for the Dimensioning and Design of Stormwater Structures in Combined Sewers», de aplicación a estructuras con aliviadero de sistemas de alcantarillado unitario que dirigen sus aguas hacia una EDAR. La norma se fija como objetivos, por un lado, conseguir una protección efectiva del medio receptor y, por otro, proteger a la EDAR frente a puntas de caudal y cargas contaminantes. La filosofía que aplica se basa en dos ideas básicas:

- El caudal máximo que se envía desde la red de alcantarillado hacia la EDAR debe ser menor o igual al caudal máximo que la estación es capaz de tratar en todos sus procesos.

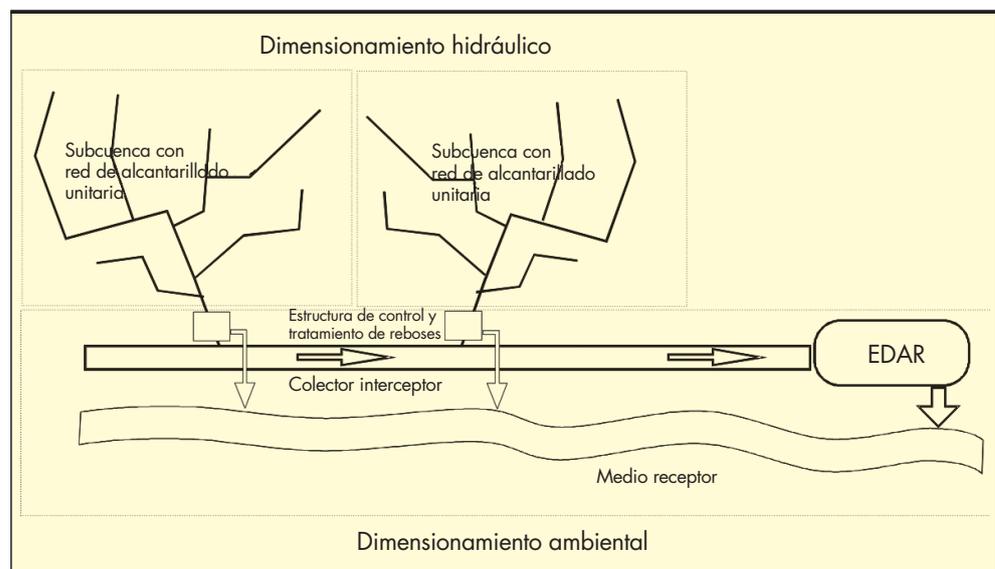


FIGURA 5. Depósitos de aguas pluviales para el control de la contaminación.

- La contaminación total movilizada hacia el medio receptor por los DSU y por la EDAR en tiempo de lluvia no debe ser superior a la que se hubiese vertido si el sistema fuese separativo.

Esto implica, en primer lugar, limitar el caudal dirigido hacia EDAR a un valor que oscila, en general, entre 2 y 3 veces el caudal medio de aguas residuales urbanas de tiempo seco con tratamientos biológicos convencionales (citar, no obstante, que la nueva ATV-DVWK-A 198E, de 2003, revisa estos valores y propone enviar mayores caudales hacia el biológico de las depuradoras).

Como consecuencia de los criterios adoptados la solución a construir incorpora interceptores generales con poca capacidad de transporte y muchos depósitos de aguas pluviales localizados en la red de saneamiento para disponer de capacidad de almacenamiento.

La “estrategia británica” se recoge en la norma BS-8005, «Guide to new sewerage construction» (BS, 1987). Si bien ya está siendo superada por una nueva metodología, es interesante su análisis porque se decide por enviar más agua a la EDAR en tiempo de lluvia que la alemana.

Esta norma señala que la misión de los aliviaderos es limitar la cantidad de agua que se conduce a la EDAR permitiendo las descargas de agua residual diluida al medio receptor, sin causar una contaminación excesiva a los cursos acuáticos. La instrucción indica que el medio receptor debe proveer una dilución suficiente a los DSU de modo que se cumplan los estándares de calidad del mismo. El matiz de interés es que esta instrucción promociona la gestión de las aguas pluviales en la EDAR, permitiendo enviar un caudal máximo hacia la misma en el entorno de 6 a 7 veces el caudal medio de tiempo seco (utiliza la denominada *fórmula A* o *fórmula de Liverpool* que permite conducir hacia EDAR unos 20 L/s por cada 1000 habitantes, lo que supone una dilución en los DSU del orden de 1:6 a 1:7). Con esta medida, en realidad, lo que se está fijando es la dilución admisible de los reboses. Además, fija igualmente un límite máximo de desbordamientos (DSU) al año para acotar la masa total de contaminación enviada al medio receptor.

Estas imposiciones obligan a disponer de un volumen de almacenamiento mínimo en el sistema de saneamiento y conductos muy grandes en los colectores interceptores. El volumen total de almacenamiento del sistema contabiliza como suma del disponible en las conducciones de la red y de un volumen adicional que debe disponerse en forma de depósitos de detención en la EDAR. En definitiva, se apunta hacia una solución de almacenamiento y tratamiento de final de red, en vez de un reparto a lo largo de la misma como hace la normativa alemana. En todo caso, la norma británica también permite que el comportamiento hidráulico y de retención de los aliviaderos tradicionales de red sea mejorado dotándolos de una cierta capacidad de almacenamiento convirtiéndolos en depósitos-aliviadero; de hecho contempla dos tipos de depósitos-aliviadero: los de primer lavado y los de sedimentación.

En la actualidad en el Reino Unido el análisis de los impactos sobre las masas receptoras se realiza aplicando la metodología “Urban Pollution Management 2 y 3” (FWR, 1998 y 2012). En esta metodología se fijan unos estándares intermitentes de calidad del agua en el medio receptor para el oxígeno disuelto y el nitrógeno amoniacal que deben cumplirse en las masas receptoras según establece la “National Rivers Authority” (NRA, 1995), el equivalente a la agencia de protección ambiental de Inglaterra y Gales.

Entre las dos estrategias presentadas en los párrafos anteriores se encuentran numerosas soluciones intermedias que, en

definitiva, tratan de limitar el vertido de aguas sin tratar. Un ejemplo de este tipo de soluciones intermedias fue la desarrollada por la antigua Confederación Hidrográfica del Norte (CHN, 1995), plasmada en sus «Especificaciones técnicas básicas para el proyecto de conducciones generales de saneamiento».

La estrategia de reparto del almacenamiento se puede decir que es de tipo mixto, imponiendo el caudal derivado hacia EDAR con conceptos de dilución (apoyando la ya presentada fórmula de Liverpool) y calculando el volumen del tanque a partir de una lluvia crítica (apoyándose en el criterio de la ATV). Como resultado se llega a enviar hacia la EDAR hasta 20 L/s por cada 1000 habitantes (6-7 veces el caudal medio de tiempo seco), lo que obliga a generar almacenamiento en la EDAR. Este almacenamiento se resuelve con el sobredimensionamiento del pretratamiento y con la construcción de decantadores primarios específicos para tiempo de lluvia. Como orden de magnitud proponía utilizar volúmenes de almacenamiento de 4 m³/ha neta en zonas de población densa, y de 9 m³/ha neta en zonas de población dispersa. En la actualidad estos valores de almacenamiento específico se consideran bajos si se pretenden minimizar los impactos en el medio receptor.

Una revisión de más metodologías o estrategias de diseño, y de explotación de sistemas de saneamiento unitario, permite hacer el siguiente resumen de criterios utilizados y objetivos buscados:

- Dilución. Se define un caudal, en general múltiplo del caudal medio en tiempo seco, a partir del cual se admite la DSU.
- Porcentaje de captura seguido de tratamiento: control de masa de un contaminante. Se fija un porcentaje de un contaminante concreto que debería capturarse y tratarse. El balance podría hacerse en base a un suceso o a un año «medio».
- Porcentaje de captura seguido de tratamiento: control del volumen de agua de escorrentía. Se fija un porcentaje de volumen de escorrentía que se capturará (actualmente en el Norte-Noroeste de España algunos sistemas de saneamiento unitario logran gestionar del orden del 80-90% de la escorrentía generada) y que, por lo tanto, se tratará más o menos. Habitualmente se suele asociar al porcentaje de captura de agua un porcentaje de captura de contaminación.
- Frecuencia de vertidos. Consiste en definir una estrategia de regulación de caudales en la red y en la EDAR y fijar un número de DSU al año. Es habitual encontrar estrategias que limitan el número de DSU desde depósitos-aliviadero a 15-25 al año (por ejemplo ITOHG, 2008).
- Captura de una lluvia de diseño o lluvia crítica. Se define una lluvia de diseño y ésta se debe capturar completamente en las estructuras de almacenamiento.
- Nivel de tratamiento. Se especifica el rendimiento de eliminación de un contaminante en los DSU, en general establecido como el equivalente a un tratamiento primario.
- Captura del primer lavado. Se busca capturar y/o tratar la parte del hidrograma que contiene la mayor fracción de contaminación, para posteriormente enviarla hacia la EDAR.

Estos criterios buscan proteger el medio natural limitando la masa de contaminación movilizada o las concentraciones, máximas o medias, durante las descargas de los sistemas uni-

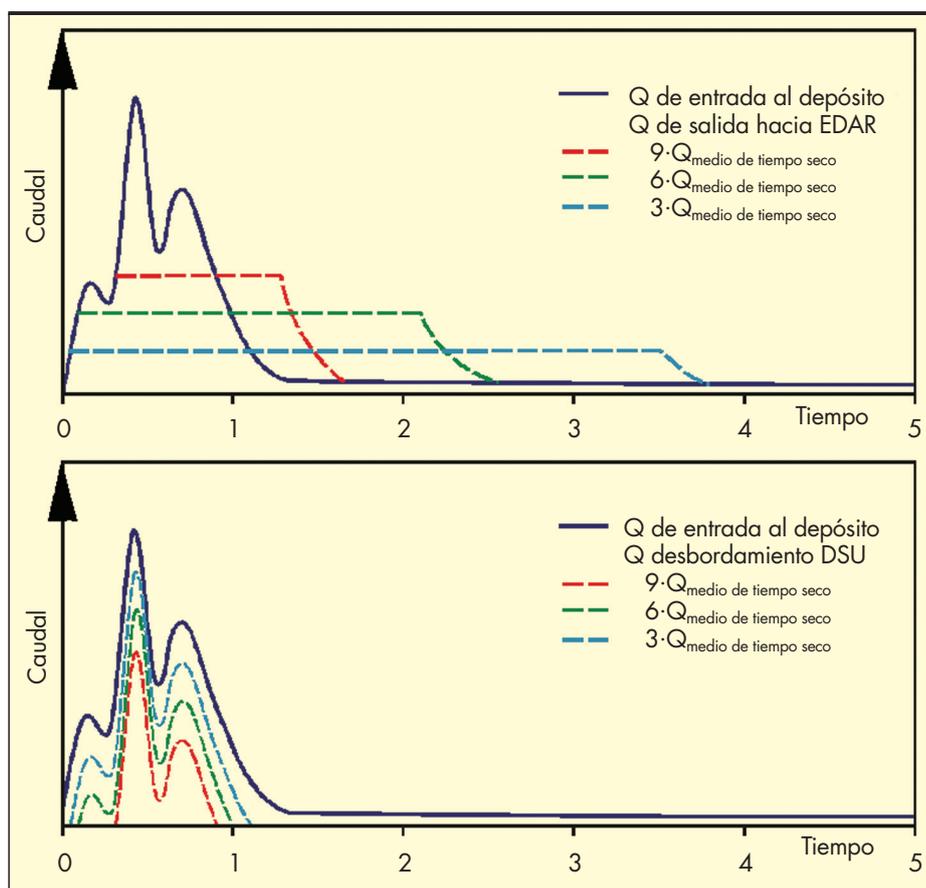


FIGURA 6. Hidrogramas de referencia en el análisis del comportamiento de un depósito de detección-aliviadero en función del caudal máximo enviado hacia la EDAR.

tarios, habitualmente durante un año. Es evidente que conseguir un desbordamiento o vertido cero en tiempo de lluvia desde un saneamiento unitario no va a ser una opción socioeconómicamente asumible.

2.3. DISEÑO DE LA EDAR

Toda la estrategia de gestión de aguas pluviales que se realice en la red de saneamiento va a incidir sobre la EDAR. La depuradora es la principal interfaz entre la red de saneamiento (y su cuenca) y la masa de agua receptora. El funcionamiento y explotación de la planta durante el período de tiempo seco se ve alterado por los nuevos caudales generados por las lluvias y las variaciones en las características, en las cargas y en las concentraciones de los contaminantes.

Minimizar las presiones sobre los medios acuáticos implica la integración eficiente de la EDAR con el resto del sistema de saneamiento existente aguas arriba. Para conseguir la eficiencia deseada es necesario considerar nuevas alternativas de configuración de las líneas de proceso de la EDAR, así como modificar las prácticas de explotación y mantenimiento. Las soluciones pueden pasar, por ejemplo, por cambios en las técnicas de explotación, por adicionar elementos complementarios a las líneas de tiempo seco (por ejemplo depósitos de regulación) o por modificar los diseños de algunas etapas para que la planta trate en su línea principal las sobrecargas (sobredimensionamiento de etapas) dentro de lo posible.

Los criterios para el diseño de estaciones depuradoras, en cierta medida, han tenido un desarrollo bastante similar en todos los países. Los criterios de diseño se basan en la «mejor tecnología disponible» y en los tradicionales 30/30 ó 25/35

mg/L de DBO_5 y de SS en el efluente de un sistema con fangos activos, o valores muy próximos. Las normas de diseño son conceptualmente similares de un país a otro; en algunos la administración, o los organismos competentes, han elaborado códigos o normas, mientras que en otros el diseño se basa en la experiencia profesional. Para condiciones de tiempo seco el diseño y explotación de las EDAR se conocen bastante bien; también las características del efluente que se obtendrá.

También, tradicionalmente, el diseño siempre ha sido realizado para condiciones de estado estacionario y, normalmente, teniendo en cuenta la carga diaria de funcionamiento. Se consideraba que las variaciones diarias no afectaban a los rendimientos, o lo hacían de forma poco significativa.

La Unión Europea, mediante la Directiva 91/271, reguló el tratamiento de las aguas residuales urbanas, fijando los valores a obtener de calidad de los efluentes o de rendimientos a alcanzar por las EDAR de forma estadística, obligando a considerar en el diseño y funcionamiento de las EDAR, en cierta forma, los momentos de lluvia y posteriores, aunque no los sucesos extraordinarios de lluvia, que se dejan sin definir. La Directiva obliga al cumplimiento de valores de contaminación en el efluente en un intervalo que varía entre el 75% y el 93% del número de muestras, que depende del tamaño de la aglomeración. Además, en DBO_5 , DQO los valores que incumplan no deben desviarse en más del 100% del valor límite de emisión, y en el caso de los sólidos en suspensión se acepta una desviación de hasta el 150%.

En los EE.UU. un estudio realizado por la *Water Environment Federation* (US-WEF, 1992) sobre 1000 plantas depuradoras de todos los tamaños llegó a la conclusión que la causa más

frecuente de problemas severos de explotación y mantenimiento de las mismas era la incorporación de aguas pluviales y de infiltración en la red, seguido de las situaciones de altas (sobrecargas) y bajas cargas hidráulicas. De la misma manera, en otro estudio realizado por la Agencia de Protección Ambiental norteamericana (US-EPA) sobre 150 plantas depuradoras pequeñas, la incorporación de aguas pluviales e infiltraciones volvió a aparecer como causa más frecuente de fallo de funcionamiento, excepción hecha de factores inherentes a la pequeña escala de gestión de dichos sistemas de saneamiento.

El exceso de caudal que es capaz de soportar una depuradora es pequeño comparado con el caudal total que se genera en la red de saneamiento unitario en tiempo de lluvia. Intensidades de lluvia 1-2 L/(s·ha) y de duración mayor al tiempo de concentración de la cuenca causan sobrecarga hidráulica en la mayoría de las plantas diseñadas de forma convencional.

En los nuevos diseños de los sistemas unitarios que incorporan la gestión de pluviales los volúmenes de almacenamiento en red (depósitos de detención-aliviadero en la mayoría de las ocasiones), o en la propia EDAR, condicionan también las estrategias de explotación. En el caso de gran capacidad de almacenamiento en red y con gran tiempo de concentración la planta queda sometida a altas cargas hidráulicas durante algunas horas, incluso días, después de que la lluvia ha pasado, mientras continúa el vaciado del agua detenida. Pero, por otra parte, si se redujese el almacenamiento en la red aumentaría el volumen de las descargas a través de aliviaderos, intensificando las presiones sobre el medio receptor.

El caudal verdaderamente limitante en la EDAR es el que se deja pasar al tratamiento secundario, que queda condicionado fundamentalmente por el reactor biológico. El pretratamiento y el primario, si existe, se pueden dimensionar para el caudal máximo que se desee, y su funcionamiento permite que ciertas unidades estén paradas en tiempo seco y que se pongan en marcha, con funcionamiento adecuado, inmediatamente a la llegada de flujos de aguas pluviales. No obstante, estos tratamientos no garantizan efluentes con la calidad de salida de un biológico.

Las reacciones biológicas son sensibles a las fluctuaciones de concentración, de temperatura y de pH, y después de un suceso transitorio de sobrecarga pueden necesitar un

cierto tiempo de recuperación para llegar a alcanzar las condiciones de funcionamiento deseables.

Una primera aproximación al análisis de alternativas de control de flujos en tiempo de lluvia sería la siguiente:

- A) Sobrecarga y/o by-pass de los procesos de la EDAR: Partiendo de una depuradora diseñada tradicionalmente se puede estudiar la máxima capacidad de depuración de cada etapa y, en función de ésta admitir en cada proceso el máximo caudal permisible. Los flujos que exceden la capacidad de un proceso pueden ser derivados mediante by-pass parcial del proceso a un proceso posterior o al medio receptor (Figura 7).
- B) Diseño de sistemas, o etapas, específicos para la gestión de los flujos que superen la capacidad de determinadas etapas de la EDAR. Las soluciones pueden contemplar depósitos en línea, depósitos fuera de línea, tratamiento de los flujos mediante procesos específicos, como por ejemplo decantadores, tratamiento físico-químicos, sistemas basados en vórtices, etc.
- C) Diseño específico de cada etapa contemplando las características del mismo, la variabilidad y características de caudales y cargas afluentes como consecuencia del tiempo de lluvia, los tratamientos y procesos previos a los que se ha sometido al agua residual/pluvial, y las exigencias del vertido en cada momento, que pueden ser variables como consecuencia de la aplicación de criterios dinámicos de calidad de las aguas receptoras (por ejemplo temporada de baño o no). El problema en este caso puede ser el desequilibrio existente entre los grandes caudales de tiempo de lluvia y los bajos caudales de tiempo seco del año de diseño.

En los croquis de las Tablas 2 y 3 se presentan diferentes configuraciones de línea de agua de EDAR que integran la gestión de flujos extraordinarios en tiempo de lluvia.

En las configuraciones de EDAR presentadas los mejores rendimientos se obtienen de los efluentes que han sido sometidos a un tratamiento secundario (o al posible terciario), pero un buen diseño de la línea de agua para tiempo de lluvia permite alcanzar rendimientos similares a los de tiempo seco.

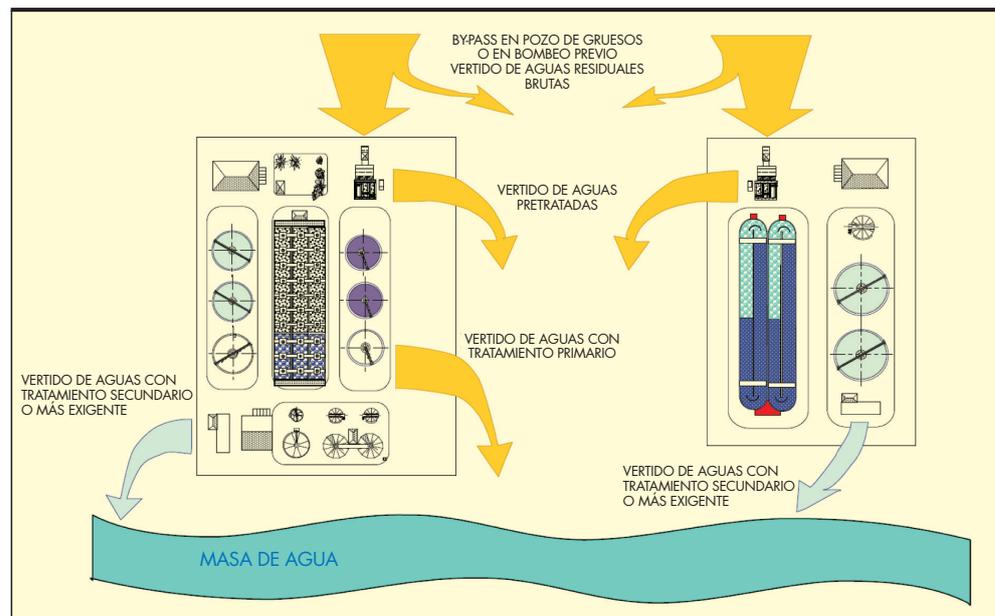
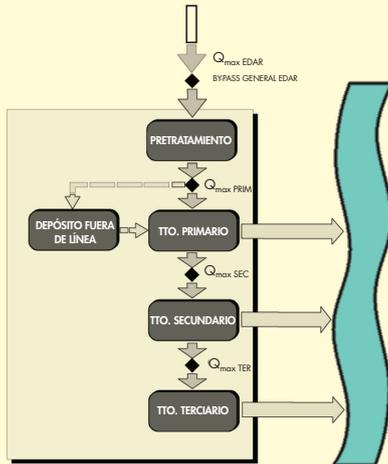


FIGURA 7. Efluentes final y parciales que se pueden producir en una depuradora en tiempo de lluvia con configuración convencional.

Configuración 1

Croquis

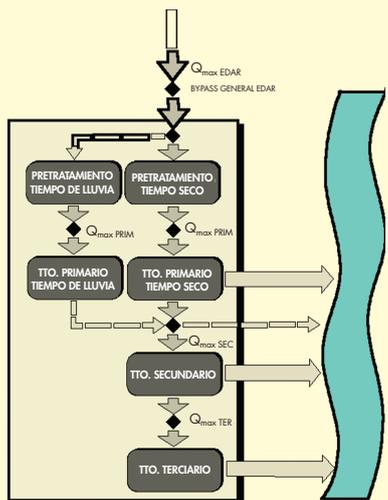


Descripción:

- Línea principal convencional, con pretratamiento, primario, secundario y posible terciario.
- Se sobredimensiona el pretratamiento para flujos en tiempo de lluvia. Primario y secundario dimensionados con caudales máximos de tiempo seco.
- Se incorpora un depósito fuera de línea que permite regular agua pretratada.
- El agua debe mantenerse agitada y aireada en el depósito.
- Se incorporará progresivamente (por bombeo o por gravedad, si es posible) a decantación primaria cuando exista capacidad.
- Si se llena el depósito se vierte flujo en exceso desde decantación primaria.

Configuración 2

Croquis

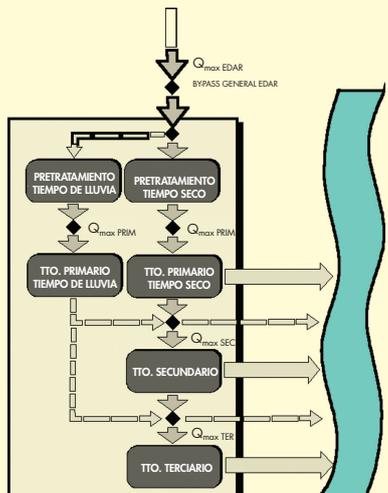


Descripción:

- Línea principal convencional, con pretratamiento, primario, secundario y posible terciario.
- Se sobredimensiona el pretratamiento y el primario para flujos en tiempo de lluvia. Secundario dimensionado con caudales máximos de tiempo seco.
- El sobredimensionamiento de pretratamiento y primario se realiza con unidades gemelas a las de tiempo seco.
- Las unidades extra permanecen vacías en tiempo seco. Comienzan su funcionamiento cuando llegan a la EDAR flujos en tiempo de lluvia. Empiezan a trabajar progresivamente.
- Si se supera la capacidad de regulación de los depósitos primarios se vierte agua con tratamiento primario.
- Una vez los flujos de tiempo de lluvia han cesado se vacían las unidades extra hacia el secundario. Es importante cuidar la retirada de fangos de los fondos de los primarios.

Configuración 3

Croquis



Descripción:

- Línea principal convencional, con pretratamiento, primario, secundario y posible terciario.
- Se sobredimensiona el pretratamiento y el primario para flujos en tiempo de lluvia. Secundario dimensionado con caudales máximos de tiempo seco.
- El sobredimensionamiento de pretratamiento y primario se realiza con unidades gemelas a las de tiempo seco.
- Configuración similar a la anterior pero con el fin de obtener mejores rendimiento en los posibles vertidos de flujos que hayan sido sometidos solo a decantación primaria, se refuerza la línea de lluvia con unas cámaras de coagulación-floculación.
- El tratamiento físico-químico permitiría someter a desinfección UV el flujo decantado.

TABLA 2. Configuraciones de línea de agua que incorporan sistemas fuera de línea o líneas en paralelo para tiempo de lluvia.

Configuración 4	
<p>Croquis</p> <p>El diagrama muestra un flujo descendente de agua que entra por un conducto superior etiquetado como $Q_{max\ EDAR}$ y $BYPASS\ GENERAL\ EDAR$. El flujo pasa por un 'DEPÓSITO EN LÍNEA' con un caudal $Q_{max\ PRET}$ que se dirige a un 'PRETRATAMIENTO'. Desde el pretratamiento, el flujo continúa con un caudal $Q_{max\ SEC}$ a un 'TTO. SECUNDARIO', y luego con un caudal $Q_{max\ TER}$ a un 'TTO. TERCIARIO'. Las unidades de tratamiento están conectadas a una línea de salida que desemboca en un río.</p>	<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Línea principal con pretratamiento, secundario y posible terciario. • Los flujos de agua bruta son conducidos a un depósito regulador, con salida controlada. Se podría considerar un "falso primario". • Interesa un vaciado por gravedad. Si la cota de llegada del colector ya exige un bombeo el depósito podría vaciarse por bombeo. • El depósito se configura como "depósito-aliviadero" de red. Podrían utilizarse sistemas de limitación de caudal o sistemas de limpieza similares a los de red. • Pretratamiento, secundario y posible terciario se dimensionan para caudales máximos de tiempo seco. Estos caudales deben tener en cuenta cierta capacidad extra para facilitar el vaciado del depósito durante caudales horarios punta. • Se debe controlar la oxigenación del depósito si el vaciado previsto dura muchas horas.
Configuración 5	
<p>Croquis</p> <p>El diagrama muestra un flujo descendente de agua que entra por un conducto superior etiquetado como $Q_{max\ EDAR}$ y $BYPASS\ GENERAL\ EDAR$. El flujo pasa primero por un 'PRETRATAMIENTO', luego por un 'DEPÓSITO EN LÍNEA' con un caudal $Q_{max\ SEC}$ que se dirige a un 'TTO. SECUNDARIO', y finalmente con un caudal $Q_{max\ TER}$ a un 'TTO. TERCIARIO'. Las unidades de tratamiento están conectadas a una línea de salida que desemboca en un río.</p>	<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Línea principal con pretratamiento, secundario y posible terciario. • Esta configuración es similar a la anterior pero el depósito regulador se sitúa después del pretratamiento, que se sobredimensiona para caudales máximos en tiempo de lluvia. • El depósito se configura como "depósito-aliviadero" de red. Podrían utilizarse sistemas de limitación de caudal o sistemas de limpieza similares a los de red. • Su funcionamiento debe estar coordinado con la regulación y bombes de la red. • En la configuración del depósito se debe tener en cuenta si el flujo llega a la planta por bombeo o por gravedad. • El vaciado del depósito puede ser por gravedad o por bombeo. Puede integrarse con el bombeo de cabecera de planta. • El secundario y posible terciario se dimensionan para caudales máximos de tiempo seco. Estos caudales deben tener en cuenta cierta capacidad extra para facilitar el vaciado del depósito incluso durante caudales horario punta. • Se debe controlar la oxigenación del depósito si el vaciado previsto dura muchas horas.

TABLA 3. Configuraciones de línea de agua que incorporan sistemas fuera de línea o líneas en paralelo para tiempo de lluvia.

Cuando en la misma EDAR aparecen efluentes con diferentes grados de tratamiento puede ser de interés valorar la concentración final después de mezclar unos con otros. Esta opción puede ser válida para cumplir, por ejemplo, en DBO, pero es totalmente inútil cuando el parámetro limitante es la bacteriología y, por ejemplo, uno de los flujos no ha sido desinfectado.

3. PROBLEMAS Y ESTRATEGIAS GENERALES DE EXPLOTACIÓN EN LA EDAR EN TIEMPO DE LLUVIA

3.1. EL CONTROL DE CAUDALES

Muchas de las estrategias y configuraciones presentadas en el apartado anterior implican la puesta en marcha de unidades o procesos que estaban parados durante los periodos de tiempo seco. En general, no resulta sencilla la puesta en marcha de estas instalaciones o equipos: puede que las compuertas de derivación de flujos, que apenas son utilizadas, no estén operativas; puede que el equipamiento que precise

de alguna reparación no esté disponible,... Realizando un correcto mantenimiento de los equipos en todo momento se podrán llevar a cabo mejoras en los rendimientos en tiempo de lluvia al poder emplear al máximo las unidades de proceso disponibles.

Un by-pass controlado va a ser necesario de forma previa a cada etapa de proceso para poder controlar el rendimiento. Un canal de desbaste puede verse afectado por sobrecarga hidráulica, sin embargo, una compuerta de by-pass para derivar el exceso de flujo puede prevenir el daño que se causaría y permitir que las rejillas admitan un mayor caudal, pero controlado. Los decantadores y reactores de fangos activos pueden experimentar pérdida de sólidos debido a la superación de un cierto caudal límite, en ese caso también podría considerarse disponer de un sistema de by-pass. El seguimiento de los procesos en tiempo de lluvia, ayuda a determinar los caudales límites de los procesos, que sirven de consigna para poner en marcha los by-pass de forma controlada.

En algunos casos, pequeñas modificaciones en la EDAR mejorarán la capacidad de gestión de los caudales en tiempo de lluvia. Las compuertas que requieran de mucho esfuerzo y tiempo para ser manipuladas pueden motorizarse. En aquellos tanques difíciles de limpiar tras su uso durante un suceso de lluvia se puede mejorar la pendiente, así como proveerlos de puntos para conectar mangueras o de un sistema permanente de limpieza o lavado.

El reparto irregular del caudal es un problema común en las EDAR. Cuando una unidad recibe mayor caudal que otras similares el rendimiento global del proceso se verá afectado. En unas plantas el reparto del caudal es bastante equitativo a caudales normales o bajos. En tales casos, ligeras diferencias entre dos unidades idénticas puede que no se detecten porque el rendimiento global es satisfactorio. Sin embargo, a caudales altos, como en tiempo de lluvia, la diferencia de caudales entre unidades paralelas puede ser significativa. De modo que, si un decantador recibe un caudal mayor que sus pares, puede producir altas cargas de SS en el efluente antes que los demás.

La mejor solución para una buena distribución del caudal es la realización de un buen diseño de los elementos de reparto. Se puede conseguir equi-reparto de caudales empleando vertederos idénticos dispuestos simétricamente en torno a un conducto central de alimentación en una estructura de distribución. En las arquetas de reparto el nivel de agua debe ser equivalente en todos los vertederos. Se deben nivelar y ajustar los vertederos para mejorar la distribución. Los decantadores primarios y secundarios emplean habitualmente vertederos en V para la salida del efluente, que también deben estar perfectamente nivelados.

Los decantadores secundarios son un elemento clave en el rendimiento de una EDAR en tiempo de lluvia. Son en la mayoría de los casos la última línea de defensa, por así decirlo, antes de que el agua abandone la planta. En su caso, capturan y devuelven el lodo que sostiene el proceso de fangos activos. Si los caudales provocan un arrastre incontrolado de sólidos de los decantadores secundarios se pueden producir incumplimientos de vertido y el rendimiento del proceso de biomasa en suspensión puede verse afectado incluso de forma posterior al suceso de lluvia.

Numerosos estudios han demostrado que los flujos preferenciales pueden afectar al óptimo comportamiento del decantador. Estas corrientes pueden arrastrar sólidos hacia el efluente. En decantadores circulares de alimentación central los flujos preferenciales tienden a discurrir sobre la superficie del manto de fangos hacia el muro exterior del tanque y hacia el vertedero efluente. En tanques rectangulares se han observado corrientes que circulan a varias alturas en el interior del tanque, produciendo la misma tendencia de arrastre de un exceso de sólidos en las zonas de mayor velocidad. Los deflectores para corrientes preferenciales periféricas, llamados deflectores Crosby, se han convertido en elementos convencionales de los decantadores circulares. El objetivo de estos deflectores es dirigir las corrientes que arrastran sólidos de vuelta hacia el interior del tanque, lejos del vertedero efluente. Los deflectores pueden ser también beneficiosos en los decantadores rectangulares. La inclusión de deflectores en pleno corazón del tanque ayuda a dispersar o romper los flujos preferenciales en diferentes direcciones. La inclusión de varios deflectores se ha mostrado más efectiva que la de un único deflector.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUJOS TRANSITORIOS EN TIEMPO DE LLUVIA

En el diseño de los procesos biológicos para hacer frente a la situación transitoria creada por los sucesos de lluvia hay que considerar las características específicas de cada uno de ellos.

En principio, se debe tener en cuenta que los tiempos de reacción de los procesos frente a variaciones de caudal y cargas de contaminación están relacionados con los tiempos de retención hidráulica y con los tiempos de retención celular. Si el tiempo que dura una perturbación es inferior al tiempo de respuesta del proceso el efluente del mismo puede no llegar a afectarse de forma sustancial.

El equilibrio (estado estacionario) en sentido amplio, representa la tolerancia intrínseca de los procesos de tratamiento a las cargas de contaminación aplicadas. En un sistema de mezcla completa de biomasa en suspensión (p.e. fangos activos), si se producen cambios en las condiciones de entrada o en la estrategia de explotación, el equilibrio se va recuperando poco a poco. Así, para recuperar el 65% de las condiciones en estado de equilibrio (o estacionario), una vez ha pasado el estímulo, hace falta que transcurra 1 vez el tiempo de retención; el 90% de recuperación se logra después de 2,2 tiempos de retención; el 99% del equilibrio se recupera luego de 4,4 tiempos de retención (WEF-ASCE, 1998) (Figura 7).

En una depuradora integrada en un sistema unitario, además de la variación hidráulica inherente a sucesos de lluvia, hay que tener muy en cuenta que durante los mismos, y durante el posible vaciado de los depósitos existentes aguas arriba, los contaminantes llegarán a la EDAR con composición diferente a la de tiempo seco y que esto también va a tener un efecto significativo sobre los rendimientos de un biológico.

En el caso de la materia orgánica esto se refleja en que las fracciones fácil y difícilmente biodegradable varían, por lo que el equilibrio del proceso se puede ver seriamente alterado. Es normal observar que relaciones DQO/DBO₅ tienden a aumentar en tiempo de lluvia, por lo que el afluente a tratar será menos biodegradable. En términos de DQO se puede decir que aumenta la contaminación inerte en suspensión durante un suceso de lluvia, que si el tratamiento primario está sobrecargado hidráulicamente, pasará con más facilidad hasta el biológico y hará que los procesos de biodegradación se ralenticen.

Las proporciones de los compuestos del nitrógeno también varían. Es común que las aguas residuales en tiempo de lluvia transporten una punta significativa de amonio. También se han observado cambios en las proporciones de nitrógeno orgánico soluble y en forma particulada. Además, podrían aparecer nitritos y nitratos, probablemente debido a una mayor aireación en la red por las concentraciones de oxígeno disuelto que puede aportar el agua lluvia.

Normalmente las plantas operan por debajo de su capacidad de oxidación de materia orgánica y/o amonio, por lo que tienen suficiente capacidad de aireación para amortiguar la probable sobrecarga de contaminación ocasionada por los sucesos de lluvia, pero, de todas formas, deben hacerse comprobaciones al respecto.

Además, las aguas llegan a la EDAR con niveles de oxígeno disuelto más elevados al incorporar el aportado por las aguas de lluvia, aunque el consumo durante el transporte puede haber sido intenso y la reaeración en los conductos normalmente es muy baja. La llegada de aguas más oxigenadas y con cargas orgánicas más bajas, en determinados momentos, puede hacer inviable la generación de zonas anóxicas y anular la desnitrificación en ciertos tipos de procesos biológicos.

Un problema contrario lo representan las aguas totalmente sépticas que llegan a la EDAR procedentes del vaciado de depósitos en los que el agua ha estado retenida. Esta agua ha podido estar almacenada durante días, ya ha agotado todo el oxígeno y se han puesto en marcha cinéticas anaerobias.

3.3. LOS TRATAMIENTOS SECUNDARIOS Y LOS FLUJOS TRANSITORIOS

Así como un mayor TRH en las etapas de la línea de agua favorece la recuperación del estado estacionario de una EDAR y de sus procesos, en el caso del proceso biológico el tiempo de retención celular, TRC, es una variable relacionada con la tolerancia o la capacidad de recuperación de estos procesos ante vertidos o descargas inesperadas y de cierta entidad.

Los procesos con mayor TRC ofrecen una mayor elasticidad y capacidad de amortiguamiento. En un sistema con bajo TRC un sustrato orgánico de difícil biodegradación, o incluso un sustrato muy biodegradable pero extraño al proceso, pasará a través del reactor. La capacidad teórica de un tratamiento biológico para responder a un nuevo sustrato dependerá solamente de la intensidad de la exposición inmediata del organismo (carga de choque) y de su historia de exposición a ese sustrato. Sobrecargas repentinas de un único sustrato pueden pasar por el reactor sin que se entere el proceso, a pesar de ser un cultivo aclimatado si éste fue aclimatado a bajas concentraciones de sustrato.

Así, por ejemplo, en el caso de un proceso de fangos activos convencional (media carga) se puede hablar de tiempos de 12 a 24 horas para recuperar el 90% del equilibrio frente a variaciones de caudal y de 15 a 30 días para alcanzar el 90% del equilibrio de la biomasa frente a variaciones de carga contaminante.

Por otra parte, el tratamiento biológico podría verse sometido a sobrecarga hidráulica. Esta sobrecarga se produciría bien porque se diseñó para un caudal máximo superior al caudal punta de tiempo seco (se trataría de una sobrecarga "controlada"), o porque en una determinada EDAR fallasen los sistemas de regulación de caudal. En todo caso es necesario diferenciar los posibles efectos de una sobrecarga hidráulica teniendo en cuenta el tipo de proceso biológico.

Al aumentar el caudal en un proceso de biomasa en suspensión disminuye el tiempo de retención hidráulica del reactor y se puede provocar que la biomasa sea arrastrada fuera del reactor (lavado del reactor) hacia el decantador secundario. Si este lavado llegara a ocurrir, una vez se haya vuelto a situación de tiempo seco, e incluso durante el propio suceso de lluvia, podría aumentar la relación alimento a microorganismos, o carga másica. Un aumento significativo de la carga másica implica una pérdida de rendimiento del reactor. Por otra parte, el mantenimiento de una concentración de SSLM más elevada de lo necesario para el correcto funcionamiento del proceso incrementará el potencial de pérdida de biomasa durante la sobrecarga hidráulica (US-EPA, 2004), lo cual tampoco es interesante respecto a los rendimientos. La sobrecarga hidráulica en el reactor se traslada al decantador secundario y se puede producir un escape de sólidos en el efluente, con lo que la DQO o DBO asociada de estos sólidos deteriorará el rendimiento produciendo un efluente de peor calidad.

En general, los procesos de fangos activos que mejor respuesta tienen frente a las situaciones de lluvia son los de baja carga másica, pues se diseñan con elevada capacidad de oxigenación y elevados tiempos de retención hidráulica y celular. Así se mitiga la posible pérdida o lavado de biomasa. La variante de alimentación escalonada se suele usar para afrontar incrementos de la carga orgánica, pero principalmente proporcionar más capacidad para manipular excesos de caudal.

El óptimo diseño y explotación de los decantadores secundarios es clave para el rendimiento de los procesos de biomasa en suspensión. Un aumento, por ejemplo, de la velocidad ascensional al doble puede multiplicar por cuatro la concentración de sólidos suspendidos en el efluente del decantador (Lijklema y Tyson, 1993).

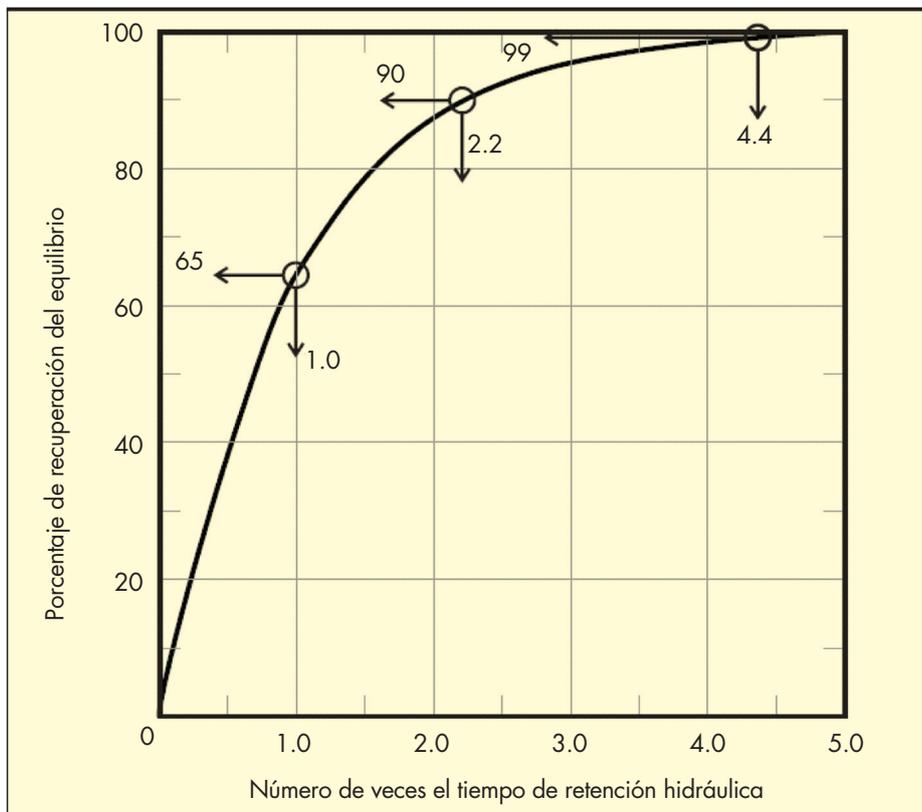


FIGURA 8. Respuesta de los sistemas de mezcla completa ante cambios en las concentraciones del afluente (WEF-ASCE, 1998).

Es muy significativa la influencia de una sobrecarga hidráulica sobre la decantación secundaria. Con la llegada de la punta de caudal el nivel del manto de fangos puede comenzar a elevarse y se empieza a perder sólidos en el efluente, sobre todo en decantadores poco profundos. El ascenso del manto de fangos se produce tanto por la perturbación hidráulica, que puede expandir el lecho, bajando su concentración, como por la mayor carga de sólidos que debe manejar. Particularmente en procesos de baja carga másica, que tienen un flóculo más ligero, se empieza a perder biomasa al no ser retenida en el decantador secundario, disminuyendo al mismo tiempo la calidad del efluente.

Además, la "pérdida" de flóculos en el efluente del decantador repercute sobre el funcionamiento del reactor ya que modificará la edad del fango. Si la edad del fango disminuye (salen más kg de sólidos con el efluente del decantador) el rendimiento del proceso biológico disminuye.

Al mismo tiempo que consigue la clarificación del agua, el decantador secundario debe lograr un cierto espesamiento del fango, necesario para la operación de recirculación de fangos al reactor. El mayor contenido de partículas inorgánicas en las aguas de lluvia puede favorecer el espesamiento del fango en el decantador secundario. Si se consiguiera un cierto almacenamiento de fangos (manto de fangos en el decantador secundario) se podría aumentar la recirculación real al reactor para mantener una concentración de SSLM adecuada, incluso con caudales afluentes al proceso elevados. Hay que destacar que la tasa de recirculación de fangos secundarios es objeto de permanentes ajustes durante la explotación de un proceso de biomasa en suspensión, ya que debe estar en concordancia con las características del agua residual, la sedimentabilidad del fango, y la cinética de la biomasa. Por lo tanto, tener claro cuándo hay que aumentar o reducir el caudal de recirculación de fangos puede ayudar a maximizar la capacidad del tratamiento secundario durante los periodos de sobrecarga hidráulica en tiempo de lluvia.

El diseño de los decantadores y la estrategia de explotación de la recirculación es muy importante para evitar el lavado y arrastre del fango. Las puntas de caudal se pueden alargar, como ya se ha comentado, por el vaciado de los depósitos de tormenta aguas arriba, agravando los problemas ahora citados. La mejora obtenida por el almacenamiento aguas arriba se puede ver anulada o disminuida al perder eficiencia la EDAR.

Como prevención se tiende al diseño de decantadores secundarios más profundos (5 a 6 metros de calado efectivo) para evitar que el manto de fangos se vea perturbado. En Alemania los decantadores secundarios se diseñan para caudal máximo de tratamiento en tiempo de lluvia teniendo en cuenta el IVF (índice volumétrico de fangos) y el tiempo de compresión del fango. Con velocidades ascensionales menores de 0.5 m/h las concentraciones de SS en el efluente no deberían superar los 20 mg/L.

En los procesos de eliminación biológica de nitrógeno (nitrificación y desnitrificación) y fósforo basados en biomasa en suspensión son aplicables las consideraciones hechas anteriormente para el tratamiento secundario por fangos activos.

En los procesos de nitrificación el parámetro fundamental es la edad del fango aerobio. Para la desnitrificación se utilizan tasas de reacción para calcular el volumen del reactor. En el tanque de desnitrificación (pre o post nitrificación) la DBO disponible se debe compensar con los nitratos eliminados. Un diseño aconsejable es la colocación de turbinas de aireación en todos los tanques, tanto aerobios como anóxicos, porque hay una mayor flexibilidad de explotación frente a las variaciones de temperatura, optimizando el gasto de

energía, el mantenimiento de la biomasa nitrificante y los rendimientos del proceso.

Durante las puntas de caudal los procesos de nitrificación y desnitrificación se pueden ver muy alterados; en dichos momentos las cargas de nitrógeno amoniacal en redes unitarias se incrementan notablemente. Este fenómeno se puede acentuar si no hay suficiente capacidad de aireación en los reactores y si disminuye la biomasa disponible por arrastre. El vertido de nitrógeno amoniacal en el efluente del proceso depende, sobre todo, del tiempo de retención de sólidos del mismo (Kappeler y Gujer, 1993). El impacto sobre el proceso es mayor cuanto mayor es el caudal admitido en tiempo de lluvia; parece que los episodios lluviosos más frecuentes no afectan de forma duradera a la capacidad de nitrificación. De una a dos horas después del suceso de lluvia se vuelve a obtener los valores normales de concentración en el efluente para tiempo seco.

Una vez superadas las puntas de nitrógeno amoniacal de los primeros flujos es normal que las concentraciones de nitrógeno amoniacal descendan, por lo que en el efluente las concentraciones también disminuyen llegando a compensar la pérdida de eficacia en la nitrificación-desnitrificación. Cuando la capacidad de almacenamiento en red es importante las puntas de nitrógeno amoniacal quedan diluidas en los depósitos y a la EDAR llegan concentraciones muy bajas de nitrógeno amoniacal durante todo el vaciado. Cuando el vaciado dura días el nitrógeno orgánico particulado puede amonificarse.

Los procesos de eliminación de nutrientes se ven alterados también por la variación de otros parámetros tales como la temperatura, la alcalinidad, el pH o la conductividad. El agua de lluvia es frecuentemente más fría que el agua residual doméstica y la nitrificación es muy sensible a la temperatura. La temperatura del agua puede descender 1 ó 2 grados fácilmente. La evolución de la conductividad es típica de los sucesos de tormenta. Bertrand-Krajewski, et al. (1994), apuntan en sus estudios la aparición de rápidos descensos de los valores conductividad de tiempo seco, pasando de valores entre 0.5 y 1 mS/cm a valores por debajo de 0.3 mS/cm en sucesos de lluvia; de hecho utilizaron esta variación como sistema de detección de la llegada de puntas hidráulicas por lluvia. En muy raras circunstancias el pH/alcalinidad pueden generar niveles de daño graves. La nitrificación se inhibe para pH de 6.5 y se paraliza completamente para un pH de 5.7. Posibles vertidos industriales asociados a sucesos de lluvia podrían alterar el proceso biológico. Las alcalinidades altas podrían reducirse por precipitación del hierro y por la muy baja alcalinidad del agua de lluvia.

En el caso de la desnitrificación, la disminución del carbono orgánico fácilmente asimilable junto con la menor nitrificación obtenida en el proceso anterior y la disminución del tiempo de retención hidráulica en el reactor de desnitrificación (lo cual puede estar potenciado por el aumento de la recirculación para mantener una concentración adecuada de biomasa en los reactores) provocan una alteración del funcionamiento del proceso (produciendo un aumento de las concentraciones de nitratos en el efluente del proceso).

Los procesos de eliminación biológica del fósforo quedan afectados durante los sucesos de lluvia porque la mayor concentración de oxígeno disuelto entrante al reactor anaerobio, la mayor concentración de nitratos (al empeorar la desnitrificación) en el flujo de fangos recirculados al reactor anaerobio y la disminución del tiempo de retención hidráulica en dicho reactor, provocan una peor disolución del fósforo lo que produce una menor reabsorción en el reactor aerobio, disminuyendo así el rendimiento de eliminación de fósforo.

Los procesos biopelícula (biomasa fijada a un soporte o relleno del reactor), son menos sensibles a las sobrecargas | hidráulicas en tiempo de lluvia que los procesos de biomasa en suspensión, ya que no presentan los graves pro-

Proceso/ Operación	Problema	Estrategia
Rejas y tamices	<p>Atascamiento por exceso de residuos. La producción de residuos se multiplica por 5 y hasta por 10. Puede provocar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Activación de DSU aguas arriba por elevación de la lámina de agua. • Arrastre de residuos a su través por exceso de velocidad. • Activación de by-pass. • Rebose de contenedores de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poner todas las unidades en servicio: el rango de velocidades en canales de desbaste va de 0,3 a 0,9 m/s. Alguno(s) puede(n) quedar fuera de servicio en tiempo seco. • Limpieza periódica: mantener la máxima capacidad hidráulica de canales, sin arenas ni sedimentos. • Preparar contenedores: que estén vacíos, o incrementar el número si fuera necesario.
Desarenado	<p>La producción de arenas multiplica por 2 y hasta por 20:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sobrecarga e interrupción de los desarenadores. • Arrastre masivo de arena hacia etapas de proceso posteriores. • Obstrucción de canales y conductos. • Rebose de contenedores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción en origen: limpieza regular de la red de colectores y pozos. • Todas las líneas en servicio: puede haber más líneas de las necesarias (por velocidad ascensional). Se reduce la carga sobre los equipos de extracción de arena. • Control de la velocidad de paso: <ul style="list-style-type: none"> ◦ En aireados: reduciendo o parando la aireación. ◦ En dinámicos: ajuste de velocidad y del ángulo de las palas de rotor. Se puede incluir deflectores. ◦ Vertedero proporcional: rediseño del vertedero (si hubiera profundidad disponible). • Eliminar arena en continuo: los sistemas (bomba air-lift, tornillo, etc.) suelen funcionar temporizadamente. La acumulación puede ser excesiva, esto puede, por ejemplo, llenar la tolva y obturar el tubo de extracción. Esto se puede evitar poniendo el sistema de extracción y clasificación a funcionar en continuo. También, funcionamiento en continuo de hidrociclones. El desarenado hidrociclónico es más eficaz cuando la concentración de arenas es menor que 1%. • Preparar contenedores: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Tener los contenedores vacíos. ◦ Aumentar la frecuencia de vaciado. ◦ Instalar contenedores adicionales.

TABLA 4. Problemas y posibles estrategias de explotación del pretratamiento durante los sucesos de lluvia.

Proceso/ Operación	Problema	Estrategia
Decantación primaria	<ul style="list-style-type: none"> • Menor eliminación de SS (y DBO), por mayor velocidad ascensional. • Alta carga de sólidos de primer lavado: eleva el manto de lodos. • Arrastre de sólidos del manto: aumento de SS en el efluente. • Carga de arena y residuos por sobrecarga del pretratamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puesta en marcha de todas las unidades: en caso de exceso de unidades en tiempo seco. Tener un tanque vacío para el primer lavado (fuera de línea o en línea). • Equi-reparto de caudal: buscando la misma eficiencia en cada unidad. Nivelar vertederos en las arquetas, colocar deflector (en su caso). • Instalación de deflectores: tipo Crosby para evitar arrastre de lodos por corrientes preferenciales (incluso ponerlos por defecto). • Modificaciones de vertederos: aumento de longitud para minimizar la carga hidráulica. Comprobar nivelación. • Alimentación discontinua de lodos secundarios. Parar esa recirculación en tiempo de lluvia. • Adición de reactivos (F-Q) para mejora de rendimientos: <ul style="list-style-type: none"> ◦ SS: de 50-70 a 80-90 % ◦ DBO: de 25-40 a 50-80 % ◦ Ensayos de Jar-test ◦ Podría aumentarse la velocidad ascensional: mayor capacidad hidráulica • Incorporar nuevos criterios de diseño: mayores calados, control del nivel del manto de lodos. • Modificación tecnológica: implantar decantadores de alta tasa, por ejemplo: lamelares, se reduce drásticamente la superficie ocupada (un 30 a 50 %).

TABLA 5. Problemas y posibles estrategias de explotación de la decantación primaria durante los sucesos de lluvia.

Proceso/Operación	Problema	Estrategia
Fangos activos	<ul style="list-style-type: none"> Lavado de biomasa de reactor y decantador. Sobrecarga del reactor por sedimentos y lodos primarios. Sobrecarga eléctrica de turbinas por mayor calado. Reducción del TRH: menor rendimiento DBO. 	<p>Para minimizar el lavado de SSLM:</p> <ul style="list-style-type: none"> Modificar el modo de funcionamiento: la aireación escalonada y el modo contacto-estabilización producen una menor carga de sólidos sobre el secundario y por lo tanto menos fuga de SS efluente. Ajuste de recirculación de lodos: <ul style="list-style-type: none"> Incrementar cuando: <ul style="list-style-type: none"> Bajo contenido de SSLM. Nivel elevado del manto de lodos en el decantador secundario. Parte de la aireación, de la zona más próxima a la salida del biológico, se interrumpe para almacenar lodos en el reactor. Reducir cuando: <ul style="list-style-type: none"> Bajo nivel de manto de lodos: se almacenan sólidos en el decantador. Carga de sólidos al máximo y manto de lodos con el nivel bajo-medio. Por defecto mantener baja la concentración de SSLM: <ul style="list-style-type: none"> El proceso de lodos activos no se debería utilizar para almacenar fangos en exceso, pues aumenta el riesgo de lavado de lodos viejos con mala sedimentabilidad y más susceptibles a ser arrastrados en el decantador. Control de filamentosas ("bulking"): <ul style="list-style-type: none"> Produce mala sedimentabilidad (IVF > 150-200 mL/g). Controlar OD; equilibrar nutrientes; reducir el TRC; de ser posible zona pre-anóxica; "in extremis" clorar la recirculación de lodos. Conservación biomasa (si lo anterior no fuera suficiente): <ul style="list-style-type: none"> Retener sólidos en la cuba, mediante control de la aireación (on+off). Detener turbinas próximas a la salida del efluente para acumular SS y reducir carga de sólidos a decantador. Supone una pérdida temporal de eficacia.
Reactores biopelícula	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del TRH: menor rendimiento Elevación de la carga hidráulica: <ul style="list-style-type: none"> Mayor desprendimiento En lechos bacterianos: mayor rpm y menor SK, incremento del espesor de biopelícula, es decir, menor rendimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Minimizar o detener recirculación a lechos bacterianos o biodiscos. Ajustar velocidad de giro de brazos (lecho bacteriano): instalar más brazos, más orificios de descarga, motorizar los brazos de lechos bacterianos. Explotación en paralelo de lechos bacterianos que funcionen normalmente en serie.
Decantación secundaria	<ul style="list-style-type: none"> Sobrecargas: hidráulica y de sólidos. Elevación del manto de lodos. Arrastre de lodos por mayor carga hidráulica sobre vertederos. 	<ul style="list-style-type: none"> Puesta en marcha de todas las unidades: ídem a decantación primaria. Equi-reparto de caudales: ídem a decantación primaria. Instalar deflectores: ídem a decantación primaria. Cambios en vertederos: para reducir carga hidráulica. Adición de reactivos: polímeros. Otras tecnologías: lamelares para reactores biopelícula. Incorporar nuevos criterios de diseño: IVF, nivel del manto de lodos, calados, etc.

TABLA 6. Problemas y posibles estrategias de explotación del secundario durante los sucesos de lluvia.

blemas derivados del lavado de la biomasa del reactor como consecuencia de la sobrecarga hidráulica. No obstante, la sobrecarga hidráulica puede producir un cierto lavado debido al desprendimiento erosivo de biopelícula como consecuencia de los mayores esfuerzos hidrodinámicos a los que se ve sometida. De hecho, una estrategia clásica en la explotación de reactores biopelícula consiste en provocar desprendimientos erosivos intensos de biopelícula mediante la recirculación a elevada tasa del efluente clarificado.

En caso de que los reactores biopelícula estén muy ajustados de diseño en cuanto a tiempo de retención hidráulica los aumentos de caudal provocarían la disminución del rendimiento. Durante los excesos de caudal puede dejarse de recircular agua tratada para dar facilidades a la asimilación de la sobrecarga hidráulica.

Como soluciones de tratamiento secundario para hacer frente a las situaciones de lluvia se ha planteado la utilización de procesos extensivos, es decir, de gran ocupación de espacio (lagunas, humedales); procesos de baja carga; almacenamiento de biomasa en depósitos aireados o en el propio proceso; disposición de procesos en serie que pasan a funcionar en paralelo en tiempo de lluvia; etc. El mantenimiento de la biomasa activa y los problemas biológicos derivados de la carga variable sobre el proceso son importantes cuestiones a resolver para diseñar sistemas adaptados a las situaciones intermitentes de tiempo de lluvia / tiempo seco.

A modo de resumen, las Tablas 4 a 7 presentan una visión general de las potenciales estrategias de explotación para enfrentarse a determinados problemas en las EDAR durante los periodos de caudales altos provocados por las estrategias de gestión de aguas pluviales.

Proceso/Operación	Problema	Estrategia
Afina: filtración	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado de lodos en exceso desde los decantadores secundarios: se reduce la carrera de filtración. • Sobrecarga hidráulica: aumenta la velocidad de pérdida de carga en el filtro por rozamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puesta en marcha de todas las unidades. • Retrolavado previo a la llegada de la punta. • Reducción del tiempo de lavado. • Reducción del manto de lodos en el decantador secundario para minimizar la sobrecarga de sólidos al filtro.
Desinfección	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del tiempo de contacto. • Aumento de los SS efluente del secundario (o de la filtración). 	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de cloración: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Regular la dosis de cloro para tiempo de contacto menor de 15 minutos. ◦ Optimizar mezcla del cloro en el punto de aplicación. ◦ Aumentar relación largo/ancho del canal de cloración (10:1 a 40:1). • En caso de radiación UV: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Puesta en servicio de todas las unidades. ◦ Comprobar que funcionen balastos y lámparas. ◦ Limpieza de las lámparas previa a la tormenta.

TABLA 7. Problemas y posibles estrategias de explotación del terciario durante los sucesos de lluvia.

Proceso/Operación	Problema	Estrategia
Línea de lodos	<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de lodos de primer lavado. • Reduce la eficacia de digestores y/o filtros. • Retornos con elevada concentración de SS. • Mala deshidratación en eras de secado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir lodo acumulado antes de la lluvia: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Aprovechar: digestores, tanques de almacenamiento de lodos, espesadores por gravedad, eras de secado y cualquier otro proceso donde se pueda evacuar lodos. ◦ Se tendrán menos retornos (p.e.: de digestores si se reduce el nivel) y menos cargados. • Métodos alternativos de eliminación de lodos: p.e.: contratar gestor para la época de lluvia.

TABLA 8. Problemas y posibles estrategias de explotación de la línea de lodos durante los sucesos de lluvia.

4. CONCLUSIONES

Las nuevas estrategias de gestión de las aguas pluviales en los sistemas de saneamiento unitario implican el tratamiento de mayores volúmenes de agua en la EDAR con flujos de contaminación asociados de características muy variables y carácter claramente transitorio. Estos flujos provocan en la EDAR perturbaciones muy importantes si no ha sido diseñada o adaptada para su gestión.

La integración del funcionamiento de la EDAR, con sus capacidades y limitaciones, debe ser tenida en cuenta cuando se diseña la estrategia de control y tratamiento de DSU en la red de saneamiento, y a la inversa.

Los procesos biológicos de depuración basados en biomasa en suspensión son los más susceptibles a sobrecargas hidráulicas, a las oscilaciones en los flujos máxicos y a las características y proporciones en que se presentan los contaminantes. Estas variaciones deberán ser tenidas en cuenta cuando se seleccione y dimensione el proceso. Adaptaciones relativamente sencillas y estrategias de gestión de la biomasa en suspensión adecuadas permiten que los reactores biológicos asuman puntas de caudal superiores a las habituales sin una merma significativa de los rendimientos.

La incorporación de líneas de proceso específicas para flujos en tiempo de lluvia también es una alternativa posible que permite cumplir objetivos de vertido a la depuradora.

Un aspecto no tratado en este artículo, pero no menos importante, y que por supuesto condicionará la bondad de la es-

trategia adecuada, es el análisis de costes de explotación y mantenimiento de las mismas, que deberá ser estudiado de forma detallada.

5. BIBLIOGRAFÍA

- A.T.V. 1992. Standards for the Dimensioning and Desing of Stormwater Structures in Combined Sewer. ATV-STANDARD A-128. Alemania.
- Bertrand-Krajewski, J.L.; Lefevre, M., et al.; 1994. Flow and pollutant measurements in a combined sewer system to operate a wastewater treatment plant and its storage tank during storm events. *Water Science & Technology*, Vol. 31, Nº 7, págs. 1-12.
- B.S. 1987. Guide to new sewerage construction. Part I. British Standard Sewerage 8005. British Standards. 57 págs.
- C.E.D.E.X. 2007, Guía técnica sobre redes de saneamiento y drenaje urbano. Serie Azul, Manuales y Recomendaciones, R17, 635 p., 3ª ed., ISBN: 978-84-7790-491-5, NIPO: 163-09-032-1.
- C.H.N. (1995). Especificaciones técnicas básicas para proyectos de conducciones generales de saneamiento. Dirección General de Obras Hidráulicas, MOPTMA. 33 págs.
- F.W.R. 1998. Urban Pollution Management (UPM2). A planning guide for the management of urban wastewater discharges during wet weather. 2nd Ed. Foundation for Water Research. Londres.
- F.W.R. 2012. Urban Pollution Management (UPM). A planning guide for the management of urban wastewater discharges during wet weather. 3rd Ed. Foundation for Water Research. Londres.

ges during wet weather. 3rd Ed. Foundation for Water Research. Londres.

I.T.O.H.G. 2008. Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas en Galicia. Augas de Galicia.

Kappeler, J.; Gujer, W. 1993. Influence of operating problems in wastewater treatments plants on the interactions between sewers, treatment plant and receiving water; Wat. Sci. Tech.; Vol. 27, pp 199-203, IAWQ.

Lijklema, L., Tyson, J.M.; 1993. Urban water quality: interactions between sewers, treatment plants and receiving waters. Wat. Sci. Tech.; Vol 27; Nº 5-6; pp 29-33, IAWQ.

M.M.A. 2002. Asistencia técnica para la redacción de una experiencia piloto de medición y estudio de las descargas de sistemas unitarios (DSU) del alcantarillado a los medios receptores en tiempo de tormenta, en varios municipios españoles. Informe final. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Subdirección General de Tratamiento y Control de Calidad de las Aguas. Madrid. Desarrollado por Infraestructura y Ecología, S.L., y el GEAMA de la Universidade da Coruña.

N.R.A. 1995. Calculation of river needs consents. A guide and reference for setting discharge standards that aim to achieve river quality objectives. National Rivers Authority. Bristol

Puertas, J.; Suárez, J.; Anta, J. 2008. Gestión de las aguas pluviales: implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano. Editorial CEDEX, 600 págs. ISBN: 978-84-7790-475-5.

Ranchet, J.; Ruperd, Y. 1983. Moyens d'action pour limiter la pollution due aux eaux de ruissellement en système séparatif et unitaire. Synthèse bibliographique. Cuarta parte. Trib. Cebedeau. Nº 473, 36, págs.157-175.

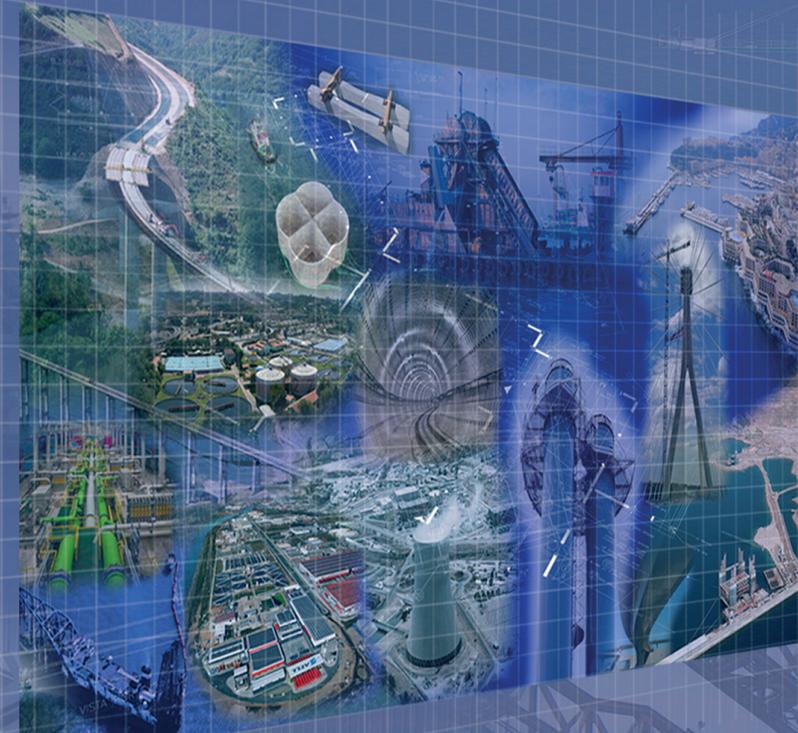
SOSTAQUA. 2009. Desarrollos tecnológicos para un ciclo urbano del agua autosostenible - Línea de trabajo: 3.- Valorización de aguas pluviales. Entidad financiadora: CDTI – Convocatoria Proyectos CÉNIT; Entidades participantes: CLABSA, AGBAR, EMUASA, Organismo de Investigación: Universidade da Coruña; duración 2007-2009.

Temprano, J.; Suárez, J.; Tejero, I. 1997. Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: control de vertidos. Revista de Obras Públicas, Nº 3361, págs. 47-57.

Torres, D.; Jácome, A.; Suárez, J. et al. 2011. Performance of wastewater treatment plants in small communities less than 1500 p-e. 3rd International Congress – Wastewater in Small Communities. Towards the Water Framework Directive (WFD) and The Millenium Development Goals (MDG); CENTA – Fundación Nuevas Tecnologías del Agua – Ministerio de Medio Ambiente – AECID; Sevilla (España).

US-EPA. 2004. Report to Congress: impacts and control of CSOs and SSOs. Appendix L Technology Descriptions. EPA 833-R-04-001. Washington, D.C.

WEF – ASCE. 1998. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, 4th ed., Vol. I, Water Environment Federation (Alexandria, VA) and the American Society of Civil Engineering (New York, NY).



DRACE infraestructuras, S.A.
desarrolla sus actividades a nivel internacional:

- * *Diseño y construcción de obras Medioambientales*
- * *Tratamiento de aguas*
- * *Obras Marítimas y Portuarias*
- * *Grandes Prefabricados*
- * *Estructuras Especiales*
- * *Puentes Singulares*

DRACE
infraestructuras

Avda. Camino de Santiago 50 - 28050 Madrid (Spain)
www.drace.com - infodrace@drace.com