

Metodología de caracterización del funcionamiento y eficacia de los tanques anti-DSU del sistema de saneamiento del Manzanares (Madrid)

Lastra, A.^{a1}, Pinilla, A.^{a2}, Malgrat, P.^{b1}, Falcó X.^{b2}, Sunyer, D.^{b3}, Abella, J.^{b4}, Suárez, J.^{c1}, Puertas, J.^{c2}, Anta, J.^{c3}, Regueiro-Picallo, M.^{c4}, Recarey, M.^{c5}, Fernández, I.^{c6}

^aCanal Isabel II. E-mail: alastra@canaldeisabelsegunda.es

^bAQUATEC. E-mail: xfalcof@aquatec.es.

^cGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n. E-mail: b1jsuarez@udc.es

Línea temática | M Tema monográfico: Entornos fluviales y aguas de transición: impactos de los medios urbanos.

RESUMEN

En la presente comunicación se expone la metodología seguida para la caracterización de flujos en tiempo de lluvia en el sistema de saneamiento unitario de una subcuenca de la aglomeración de Madrid. El Canal de Isabel II (CYII) puso en marcha el estudio denominado *"Implantación de un sistema avanzado para la operación del sistema de saneamiento manzanares"* (Canal de Isabel II – Gestión, 2014), cuyos trabajos tienen (todavía se están desarrollando en el momento de elaborar este documento) como fin principal comprender mejor los flujos que se generan en la red en tiempo de lluvia con el fin de desarrollar un sistema de gestión integrado de los tanques de tormenta y otros elementos (aliviaderos, cámaras de reparto, EDARs, etc.) que sirva como herramienta para la toma de decisiones que optimicen la explotación y minimicen las presiones sobre el río Manzanares. Si bien la metodología de caracterización de flujos que se presenta ha sido utilizada en seis tanques de tormenta y en sus infraestructuras complementarias, la presente comunicación se centra en las actividades realizadas y en la presentación de algunos resultados obtenidos en la subcuenca de Viveros, que tiene como nodo principal de regulación de flujos el tanque de tormentas de Arroyofresno, como ejemplo de la metodología desarrollada.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los caudales transportados por la red de saneamiento y drenaje urbano de la ciudad de Madrid se articulan a través del eje de saneamiento del Manzanares. En la última década, mediante el "Programa de Mejora de la Calidad del Río Manzanares: Reducción de la contaminación generada por la Descarga de Sistemas Unitarios (DSU)", se estableció un conjunto de actuaciones en la red de saneamiento (tanques de tormenta, nuevos colectores y nuevos aliviaderos al río) para conseguir los objetivos marcados por el Plan Hidrológico de la Cuenca del Tago. A su vez, la reducción de las presiones sobre el río Manzanares contribuye a que la estrategia "Madrid Río", tenga a su protagonista principal en un mejor estado ecológico.

La gestión de un sistema de esta complejidad no es fácil debido a la interrelación de los diferentes elementos y a que, obviamente, esta interrelación varía cuando el sistema trabaja en tiempo seco o en tiempo de lluvia, siendo en este último caso el que presenta mayor dificultad y, por tanto, más opciones de mejora. Es debido a esta complejidad que no existía un protocolo centralizado entre los diferentes elementos del sistema.

La problemática de los sistemas de saneamiento y drenaje en tiempo de lluvia tiene tres variables, o fenómenos, que se combinan y que determinan que el control de la contaminación, y de los impactos sobre el medio receptor, puedan ser mayores:

- La escorrentía superficial lava las calles y tejados y arrastre materiales y contaminación, que puede llegar a ser muy importante, sobre todo en viales con mucho tráfico y después de un periodo de tiempo seco prolongado; también de algunas zonas industriales.

- Los “desbordamientos de los sistemas unitarios”, o DSU, que son vertidos a través de aliviaderos de aguas que la red no puede transportar o retener ni mandar hacia la EDAR. Cuando se dispone de elementos de regulación o tanques de tormenta los DSUs se reducen notablemente, aunque es casi imposible que sean cero. En tiempo de lluvia se movilizan los sedimentos y depósitos que se han ido acumulando en los conductos y en los pozos de registro durante el tiempo seco. Se generan flujos mucho más contaminados que las propias aguas residuales que circulan en tiempo seco. Es fundamental retener estas aguas y enviarlas a la EDAR, pero de forma controlada.
- Las depuradoras no pueden recibir cualquier caudal. Los procesos biológicos son muy sensibles a las variaciones de carga y de caudal por lo que no se las puede someter a más de tres veces los caudales medios que reciben en tiempos eco. Si en tiempo de lluvia se superan ciertos límites los procesos se desequilibran y dejan de cumplir sus objetivos, sus rendimientos durante días o semanas.

OBJETIVOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS FLUJOS DE AGUAS RESIDUALES EN EL SISTEMA MANZANARES

El Sistema Manzanares cuenta con dos colectores que transcurren a ambos lados del río Manzanares (los denominados colector de margen derecha y colector de margen izquierda) así como una serie de tanques de tormenta que retienen parte de los volúmenes generados durante los eventos de precipitación, para luego enviarlos al sistema de colectores mencionado y a las depuradoras.

El Canal de Isabel II (CYII) puso en marcha, en marzo de 2016, el estudio denominado "IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA AVANZADO PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE SANEAMIENTO MANZANARES". Los trabajos fueron contratados a la empresa AQUATEC, que contaba con la asistencia técnico-científica del Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la Universidade da Coruña (GEAMA-UDC).

Los trabajos a realizar tienen como fin principal (continúan en el momento de elaborar este documento) desarrollar un sistema de gestión integrado de los tanques de tormenta y otros elementos (aliviaderos, cámaras de reparto, EDARs, etc.) que sirva como herramienta para la toma de decisiones de explotación.

Las fases más importantes que se están desarrollando para alcanzar los objetivos previstos son:

- a) Recopilación de información y datos; interpretación y revisión del esquema funcional del Sistema Manzanares. Identificación de infraestructuras clave, recopilación de información de detalle, diálogo con las empresas de mantenimiento y explotación, análisis de la instrumentación existente y de los datos que recogen, con el fin de lograr una interpretación inicial de su funcionamiento. Desarrollo de informes específicos de cada tanque de tormenta y de las infraestructuras que lo complementan.
- b) Caracterización del funcionamiento y de la eficiencia de infraestructuras clave mediante los datos de la instrumentación existente y de nueva instrumentación (caudalímetros, limnómetros, sistemas de toma de muestras, ...) y desarrollo de campañas de seguimiento durante varios meses.
- c) Modelización numérica del funcionamiento del sistema de saneamiento teniendo en cuenta las presiones y posibles impactos sobre el medio receptor en función de diferentes escenarios de gestión de los tanques de tormenta, proponiendo las estrategias de gestión que mejorasen el funcionamiento del sistema de saneamiento y minimicen los impactos. Finalmente se propondrá un protocolo de gestión coordinada de los tanques y EDARs que incorpore las mejoras en la gestión descritas anteriormente.

Resultados que se obtendrán:

- Completa caracterización de flujos en tiempo seco y en tiempo de lluvia tanto en colectores como en depósitos y DSU, hacia el río Manzanares desde las infraestructuras clave del sistema.
- Desarrollo de un sistema de gestión integrado de los tanques de tormenta y otros elementos que servirá como herramienta para la toma de decisiones del Canal Isabel II.

- Redacción de un protocolo de gestión de los diferentes actuadores que conforman el sistema.

METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE FLUJOS

Con el fin de presentar mejor la metodología seguida en este estudio para caracterizar tanto los flujos de tiempo de lluvia como los flujos de tiempo seco, se presentarán los trabajos realizados en una de las subcuencas más importantes del Sistema Manzanares, en concreto la denominada Arroyofresno. Las características generales del Sistema Manzanares son presentadas en otra comunicación.

A continuación se presentan las principales etapas metodológicas seguidas:

Recopilación de la información y revisión del esquema funcional del sistema de saneamiento Manzanares

La tarea inicial, y básica, para la consecución de los objetivos de este estudio era la recopilación y análisis de la toda la información disponible que describiese las infraestructuras de saneamiento y las estrategias actuales de explotación. Se recopiló la siguiente información:

- Información de las principales infraestructuras del sistema Manzanares (tramos, pozos, puntos de DSU y de vertido, bombeos, etc.) con su ubicación en planta y en alzado, y con la información necesaria para poderlos caracterizar correctamente desde el punto de vista hidráulico.
- Información de las subcuencas de aportación del sistema y sus características morfológicas (áreas, usos del suelo, grado de impermeabilización, pendientes y cotas del terreno, habitantes equivalentes, etc.).
- Información sobre los diferentes actuadores de la red, sobre todo los asociados a los tanques de tormenta, bombeos y compuertas, con atención a sus principales características físicas y a su funcionamiento habitual en tiempo seco y durante episodios de lluvia. Además de cara tanto a la realización de la campaña de caracterización como a la calibración de los modelos, es importante recopilar los valores históricos de su funcionamiento para algunos episodios de lluvia concretos.
- Información sobre las EDARs, sobre todo en referencia a sus principales características físicas y a su funcionamiento habitual tanto en tiempo seco como durante los episodios de lluvia. Es clave conocer los caudales máximos que son capaces de tratar en las diferentes etapas. También es de gran utilidad recabar información histórica sobre los caudales y rendimientos de tratamiento tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia.
- Información histórica de pluviometría en la zona de estudio. Es muy deseable disponer de información de intensidades con frecuencia cinco minutal de la zona de estudio aunque frecuencias mayores (10 minutal, 15 minutal o incluso horaria también son de utilidad).
- Información histórica de los sensores existentes en el sistema de saneamiento Manzanares y que puedan ser útiles tanto para las campañas de caracterización de flujos como para el proceso de calibración de los modelos (caudalímetros, limnómetros, sensores de contaminación, analíticas del afluente y efluente de EDARs, etc.)
- Información sobre la morfología del medio receptor (topografía, batimetría, geometría de obras transversales, etc.) así como información histórica de niveles, caudales y calidad de las aguas en el río y de estudios históricos que puedan existir sobre la en análisis del estado de la masa de agua (físicoquímico, biológico, etc.) y sobretodo de la influencia de los vertidos de DSU del saneamiento en la calidad del río.

Elaboración de protocolos de actuación en cada subcuenca

En cada subsistema en el que se ha trabajado se ha elaborado un documento denominado “protocolo de actuación”. Este protocolo integra toda la información que ha sido posible recopilar de sobre las características de las infraestructuras de la cuenca (sobre todo del tanque de tormenta y de todas las infraestructuras complementarias) y de su funcionamiento, y establece

las pautas a seguir para caracterizar los flujos tanto de tiempo seco como de tiempo de lluvia. El contenido general de este documento se cita a continuación:

- Descripción general del tanque y sus infraestructuras complementarias (ubicación y cuenca asociada, criterios de diseño y funcionalidad, geometría de la infraestructura y elementos principales, sistema de limpieza, sistema de telecontrol, disponibilidad de servicios auxiliares: agua, energía, esquema de funcionamiento del tanque y de las infraestructuras de control, regulación y derivación asociadas, descripción de la estrategia de explotación teórica y la real).
- Identificación de los agentes implicados en la operativa y responsabilidades.
- Preparación de las campañas de caracterización (instrumentación requerida para la caracterización del tanque y de las infraestructuras asociadas, medición de niveles/calados, medición de caudales, sistema de tomas de muestras, sistema de comunicaciones, instalación de instrumentación adicional, descripción de las características de esta instrumentación auxiliar).
- Definición de la operativa durante la campaña de caracterización (criterios de activación de recogida de muestras, protocolo de actuación para la recogida de muestras y descarga de datos de equipos, criterios para la validación del suceso).
- Metodología de gestión de las muestras (codificación, transporte a laboratorio, operativa posterior a las campañas, análisis de muestras y envío de resultados analíticos).
- Descripción de la metodología de tratamiento posterior de datos e integración en las fichas de suceso.

A continuación se presenta parte del trabajo realizado en la subcuenca de Viveros, cuya principal infraestructura es el tanque de tormentas de Arroyofresno, como ejemplo de aplicación de la metodología.

La subcuenca de Viveros comprende en realidad dos áreas bien diferenciadas. La primera, que podría denominarse Arroyo del Fresno, se extiende por la margen izquierda del río Manzanares, como desagüe natural para las aguas residuales y pluviales de El Pardo, Peña Grande, Dehesa de la Villa, Tetuán y una parte de Fuencarral; se recogen también en esta área las aguas de Aravaca y Majadahonda. El colector principal es el Colector del Arroyo del Fresno, que vierte sus aguas en la ERAR de Viveros. En esta subcuenca se encuentran también los colectores de Veguilla, Pinos, Valdeyeros, Concejo y Fresno.

La cuenca de Arroyofresno tiene una superficie de 2.237 ha, de las cuales el 85% corresponden a suelo impermeable y el resto a zonas verdes. La subcuenca soporta una actividad fundamentalmente residencial, con actividad comercial; la industria es escasa y no se detectan vertidos industriales significativos. Las calles y viales están realizadas con aglomerado asfáltico. La Figura 1 presenta la delimitación de la cuenca de Arroyofresno.

Las principales infraestructuras dispuestas en la parte baja de la cuenca de Arroyofresno se esquematizan en la Figura 2 y son las siguientes:

- El partidor de Arroyofresno. Esta infraestructura derivada el exceso de caudales en tiempo de lluvia hacia el depósito de Arroyofresno.
- El colector de Arroyofresno, que transporta los caudales desde el partidor hacia la ERAR de Viveros o el Interceptor de Margen Izquierda.
- El aliviadero de Fuentalarreina. Situado aguas abajo del partidor. Este es uno de los dos puntos de DSU de la cuenca.
- El depósito de tormentas de Arroyofresno. El depósito de Arroyofresno almacena las aguas derivadas en el partidor. Si se produce un llenado total del mismo existe un punto de DSU en la entrada del mismo (aunque esto es muy infrecuente).



Figura 1 | Cuenca tributaria Arroyofresno. El triángulo amarillo representa la ubicación del partidor y el depósito de Arroyofresno está marcado con un rectángulo azul en el cuadrante inferior izquierdo de la figura.

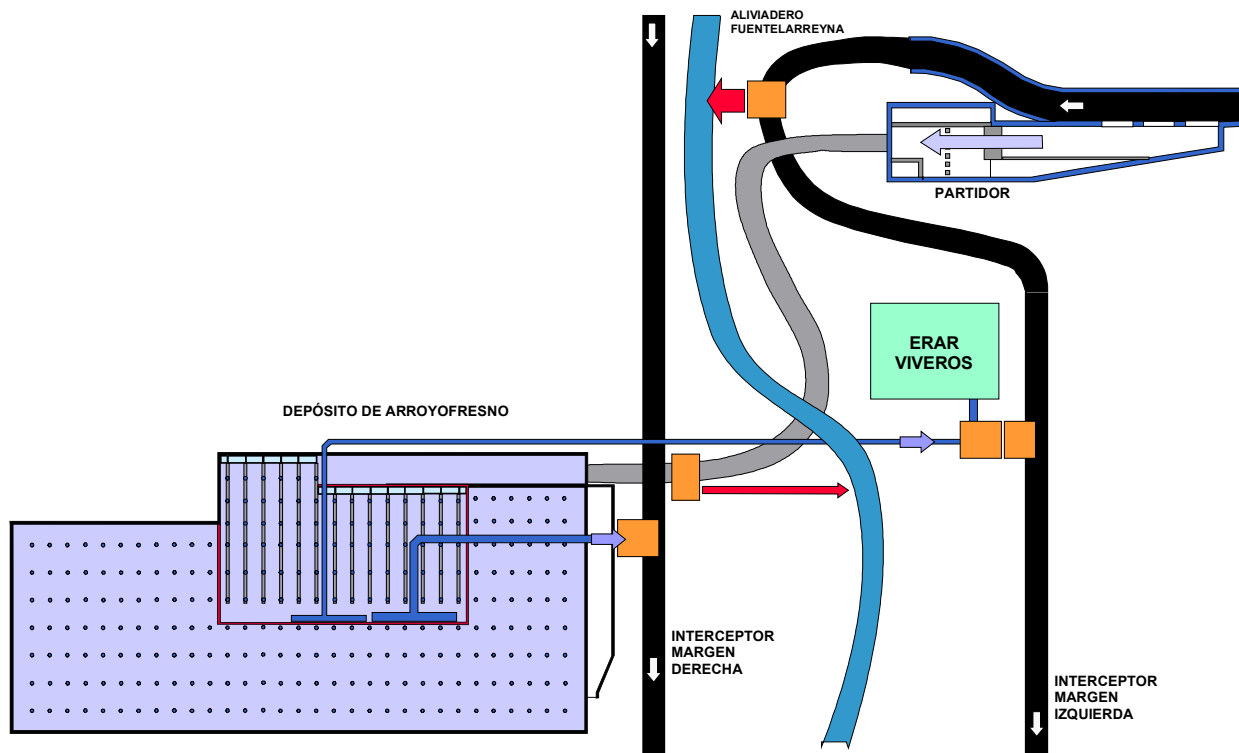


Figura 2 | Infraestructuras singulares en la parte baja de la cuenca de Arroyofresno.

El dimensionamiento y diseño de las diferentes infraestructuras construidas en el subsistema Arroyofresno siguieron los siguientes criterios de diseño generales:

- Creación de estanques de tormenta asociados a los colectores tributarios de cuenca que retengan el “first flush”, primeras aguas de lluvia y su contaminación asociada, donde se dispondrán los correspondientes aliviaderos que cumplan con las condiciones de dilución. La función de estos estanques es retener la contaminación asociada a las primeras aguas de lluvia cuyo origen es el lavado de viales y la contaminación sedimentada en las redes de saneamiento, que son liberadas al aumentar los caudales.
- Los estanques de tormenta se proyectan de forma que una vez lleno el tanque no permita la entrada de más agua al mismo, empezando a funcionar el aliviadero dispuesto al efecto. Todos los vertidos tendrán un sistema de limitación de salida de sólidos de acuerdo con el artículo 28.2 d de las Normas del Plan Hidrológico de la Cuenca del Tago. El vaciado de los estanques se realiza a través del colector de margen correspondiente.
- Los colectores de margen se diseñan con una capacidad de 17 veces el caudal medio de aguas negras.

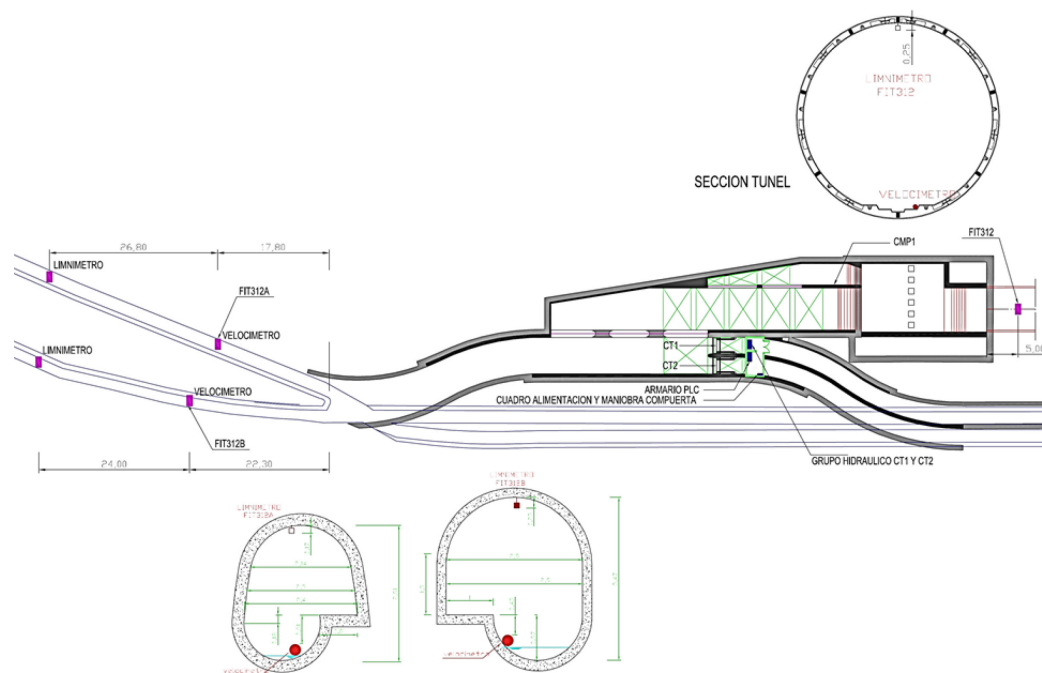
Con estas condiciones se tiene que:

- Todas las aguas con diluciones inferiores a 17/1 pasan directamente al colector de margen para su depuración.
- Las primeras aguas de lluvia y su carga contaminante asociada son retenidas para su posterior depuración.
- No se producen vertidos al cauce con diluciones inferiores a 17/1.

El funcionamiento general del sistema de los colectores de Arroyo del Fresno en tiempo de lluvia consiste en derivar hacia el tanque de tormenta de Arroyofresno el caudal que no es capaz de transportar el emisario de Viveros hasta que se alcanza la dilución requerida para poder verterlo al Manzanares. El caudal se deriva desde aguas arriba en el partidor situado en la calle Arroyofresno, por el nuevo colector en túnel para su almacenamiento en el estanque de tormentas, hasta que puedan ser depuradas en la E.R.A.R. de Viveros, o en otras instalaciones situadas aguas abajo, mediante su vertido a los colectores de margen del río Manzanares.

El subsistema de gestión de flujos en tiempo de lluvia consta de los siguientes elementos:

- Un partidor en la calle Arroyofresno en el cual en periodos de lluvia se derivan al túnel los caudales que no es capaz de transportar el emisario de Viveros, mientras el grado de dilución no permita el vertido directo al Manzanares en el aliviadero de Fuentelarreina. Para ello se ha dispuesto una estructura de control que une los colectores de Arroyofresno y doblado de Arroyofresno y aliviadero lateral en la misma (Figura 3).
- Una obra de entrada al colector en túnel, dotada de pozo de gruesos para el desbaste del agua a almacenar en el estanque, y la obra necesaria para la eliminación de la energía correspondiente a la diferencia de cota entre los colectores derivados y el túnel.
- Un colector en túnel de aproximadamente 3 km y 6,7 m de diámetro interior que conduce las aguas derivadas hasta el estanque de tormentas de Arroyofresno.



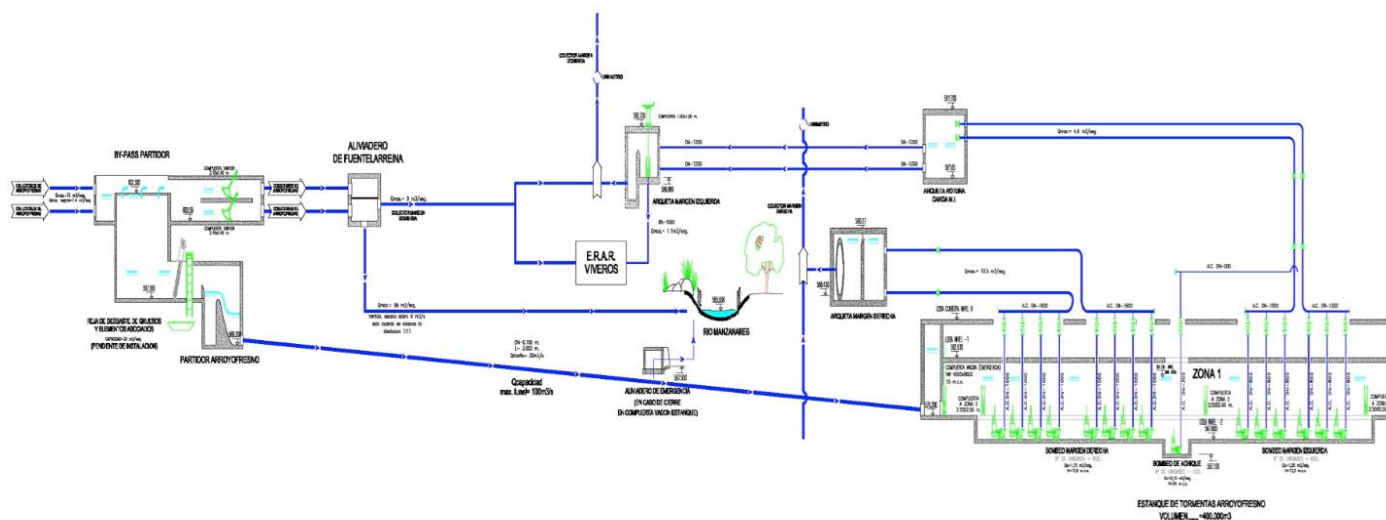


Figura 4 | Situación de los colectores de Arroyofresno, partidor de Arroyofresno, estanque de Arroyofresno y conexión con el sistema de colectores de márgenes y ERAR Viveros

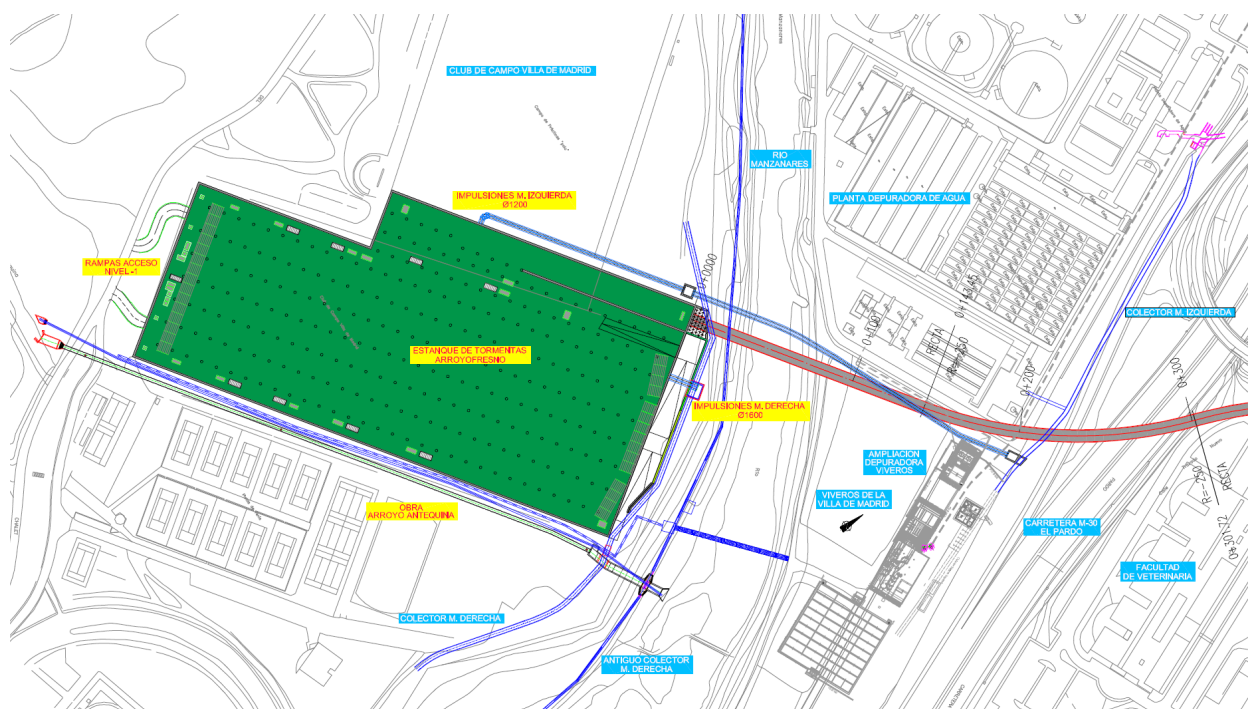


Figura 5 | Planta de situación del estanque de tormentas de Arroyofresno

El tanque se dividió en dos zonas, separadas mediante un muro que ejerce las funciones de aliviadero en 30 m de sus 270 metros. De esta forma, se consigue que tormentas de corta duración, y por tanto menor volumen acumulado y mayor frecuencia, se llene la primera zona, y sólo en tormentas de mayor volumen, menos frecuentes, se llene la zona 2.

Para el establecimiento del volumen necesario de cada una de las zonas se utilizó el criterio de disponer para la primera zona una capacidad de 20 m³ por hectárea de suelo impermeable, de forma que la capacidad sea suficiente para recoger las tormentas de corta duración y volumen cuyas aguas tienen una carga contaminante máxima, sin necesidad de utilizar el estanque en toda su superficie, con el consiguiente gasto de limpieza del mismo.

La subcuenca de Arroyofresno tiene una superficie de 2.237 ha, de las cuales el 85% corresponden a suelo impermeable y el resto a zonas verdes, por lo que la capacidad mínima necesaria sería de 38.030 m³, si bien, debido a la conveniencia de ubicar la estación de bombeo en su interior y estableciendo el nivel máximo para esta zona en el umbral de la boca de salida del túnel, se definió un volumen de 48.000 m³ para la zona 1.

Con el fin de poder bombear tanto al colector de margen derecha como al de margen izquierda las aguas procedentes de tormentas pequeñas, se ubicó toda la estación de bombeo en la zona 1 del tanque. Se estableció la capacidad de los bombeos al colector de margen derecha y al colector de margen izquierda-viveros en 10.5 y 4.8 (3.7+1.1) m³/s respectivamente.

El vaciado del estanque de tormentas se ha dimensionado según dos criterios: tiempo de vaciado del estanque y capacidad de las instalaciones de depuración situadas aguas abajo.

El funcionamiento del tanque de tormentas varía según los niveles en el colector de Arroyofresno, en la cámara de rejillas del partidor y en el propio estanque de tormentas.

El partidor de Arroyofresno permite derivar los caudales circulantes por el colector antiguo de Arroyofresno y el doblado de Arroyofresno, hacia el nuevo colector de Arroyofresno. Según los datos de proyecto, el partidor está formado por la propia derivación del colector de Arroyofresno, de 5.8 m x 3.5 m en sección rectangular, dos compuertas Taintor de 2.6 m de ancho y apertura total de 2.5 m y un aliviadero lateral de 3 vanos. El labio de vertido tiene una longitud total de 23.62 m.

El vertido del aliviadero lateral se realiza sobre el canal de desbaste, cuyo nivel de agua está regulado un labio de vertido que controla la velocidad de paso del agua a través de la reja y establece un colchón de agua para el amortiguamiento del vertido del aliviadero lateral.

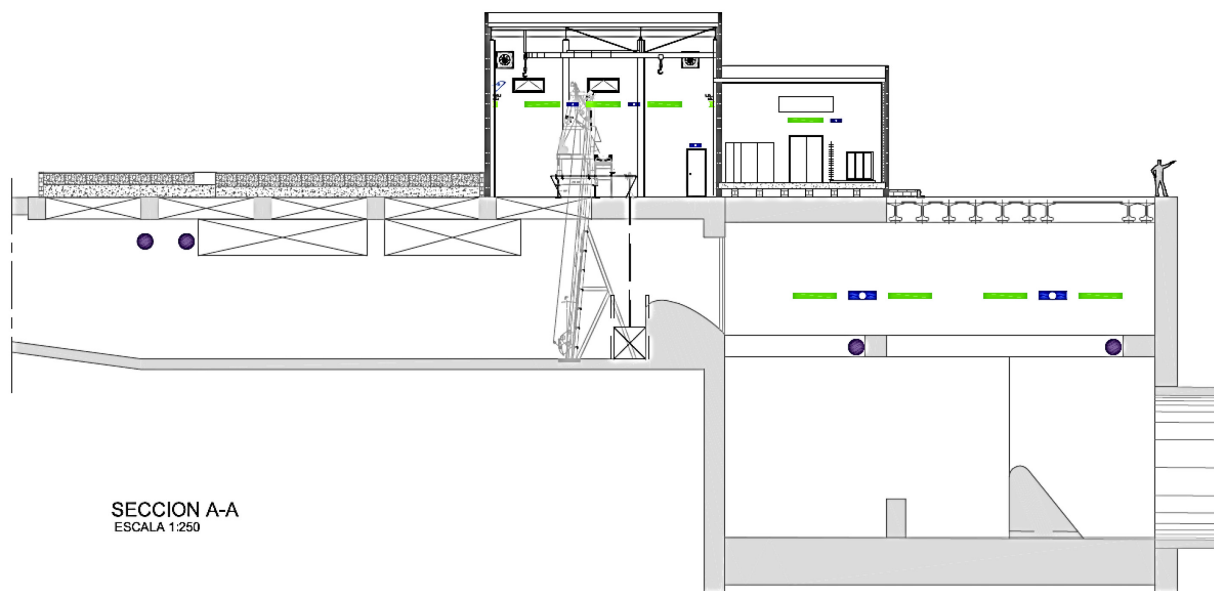


Figura 6 | Sección del canal de desbaste, rejillas y cuencos de amortiguación previos a la entrada en túnel

Para la eliminación parcial de la energía del agua a la entrada del túnel debido a la diferencia de cota entre los colectores y el canal de la reja, y la boca de entrada al túnel, se dispuso un primer vertedero que disipa la energía mediante impacto en el colchón formado por un segundo labio sobre el que se produce la aceleración del flujo antes de la entrada al túnel. El labio inferior se ha diseñado con un perfil tipo Creager para un caudal de 30 m³/s.



Figura 7 | Compuertas TAINTOR aguas abajo de la zona de aliviaderos, que se muestra a la derecha



Figura 7 | Aspecto general de la cámara de disipación de energía, llegada del colector de Pinos y embocadura al colector hacia el tanque de tormentas de Arroyofreso. Se aprecia el pequeño azud con perfil Creager.



Figura 8 | Vista de la obra de entrada al túnel – nuevo colector de Arroyofreso.

El nuevo colector de Arroyofresno está formado por un túnel de 6,70 metros de diámetro interior y una longitud de aproximadamente 3 km, entre la calle Arroyofresno y el tanque de tormentas situado bajo el campo de prácticas del Club de Campo Villa de Madrid. El túnel tiene una sección tipo circular dotada de un pequeño canal de recogida de filtraciones, ya que en situación normal no circulará caudal por el mismo. Esta sección queda configurada directamente por las dovelas que deja colocada la tuneladora en su avance.

El estanque de tormentas tiene un volumen de aproximadamente 400.000 m³ y está situado bajo el campo de prácticas del Club de Campo Villa de Madrid, en las proximidades de la E.R.A.R. de Viveros, dotado de una obra de entrada para la eliminación de la energía del caudal entrante y dos zonas diferenciadas de almacenamiento de agua.

La obra de llegada al estanque se realiza dentro del pozo destinado al pozo de ataque de la tuneladora, que tiene unas dimensiones interiores de 15 x 90 metros. La rápida para descender al fondo del estanque se ha situado al final de ésta.

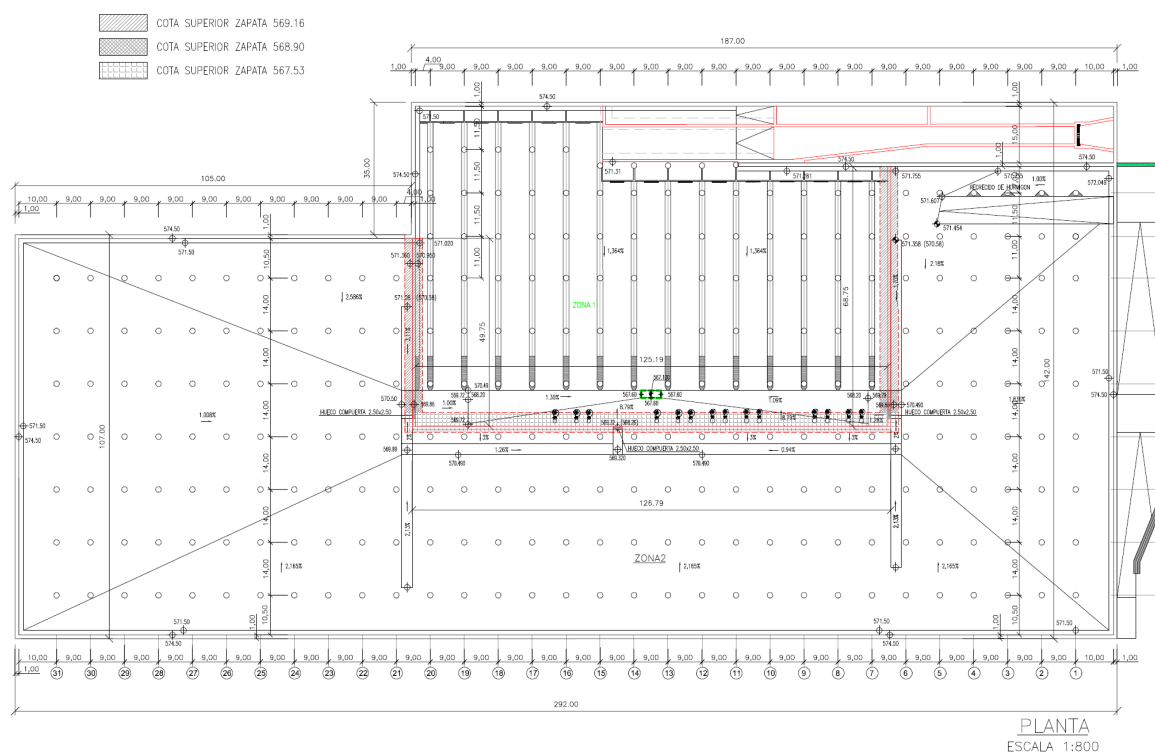


Figura 9 | Planta del tanque de tormentas de Arroyofresno.

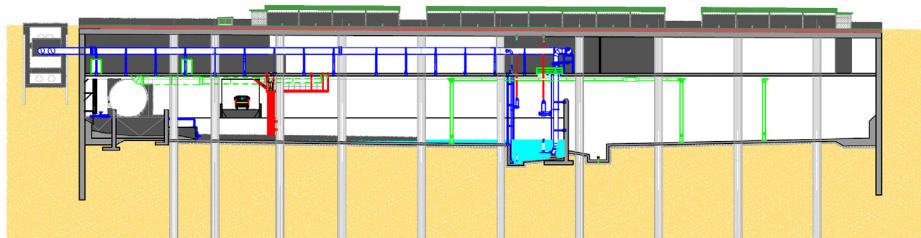


Figura 10 | Sección transversal del tanque de tormentas de Arroyofresno.

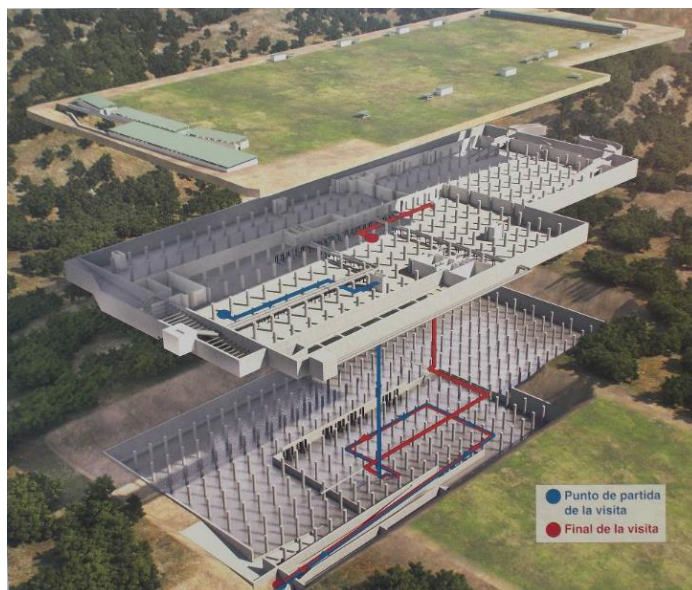


Figura 11 | Esquema 3D general del estaque de Arroyofresno.



Figura 12 | Vista del interior de la zona 1 del estanque con los carriles de limpieza.



Figura 13 | Vista de las tuberías de impulsión en la planta de servicios.

Desarrollo de las campañas de caracterización

Con el fin de caracterizar el funcionamiento y la eficiencia de infraestructuras clave de cada subcuenca se aprovechó la instrumentación ya existente propiedad del Canal de YII y se instaló nueva instrumentación del GEAMA-UDC (caudalímetros, limnómetros, sistemas de toma de muestras, ...), en aquellos casos en que era precisa para completar los balances o servir de alarmas de arranque de los tomamuestras.

Durante las campañas de caracterización (que han durado varios meses en cada emplazamiento) se toman muestras de los flujos de aguas residuales tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia, tanto en colectores y aliviaderos como en el interior de los tanques de tormenta. Se busca disponer de hidrogramas y de polutogramas que describan la variación de la contaminación en el tiempo; esta es una de las características importantes de los flujos en tiempo de lluvia. En los protocolos de muestreo se definen los escenarios de lluvia a muestrear, el número de muestras por episodio y sección de control, y qué parámetros serán medidos en cada muestra. Se han caracterizado una media de 4 eventos de lluvia por tanque. Los parámetros de contaminación medidos han sido: DBO₅, DBO_u, DQO total y disuelta, sólidos (ST, SS, SD, SSV), sólidos sedimentables, Ntotal, Ptotal, nitrógeno amoniacal, conductividad, turbidez y pH.

En la Tabla 6 se presenta el resumen de equipos adicionales instalados para la explotación de las secciones de control del colector –partidor de Arroyofresno.

Tabla 1 | Inventario de equipos instalados adicionalmente para el desarrollo de las campañas.

UBICACIÓN		NOMENCLATURA	TIPO DE SENSOR	DATOS
PARTIDOR	Colector Arroyofresno	L1	Limnómetro GREYLINE	Nivel
		RELE 1	Señal L1 de activación ext	No
		M1	TM-Tomamuestras	No
	Cámara de rejillas	L1	Limnómetro GREYLINE	Nivel
		RELE 1	Señal L1 de activación ext	No
		M1	TM-Tomamuestras	No
	Cámara de disipación de energía	L2	Limnómetro GREYLINE	Nivel
		RELE 2	Señal L2 de activación ext	No
		M2	TM-Tomamuestras	No
	Recinto partidor	P1	Pluviómetro	Lluvia

El limnómetro L1 y el tomamuestras M1 se instalaron inicialmente en la cámara de rejillas del partidor para caracterizar la contaminación movilizada en tiempo de lluvia. Después de una campaña inicial, se decidió moverlos hacia el colector de Arroyofresno. Con esta configuración se realizaron las campañas de tiempo seco y las posteriores campañas de tiempo de lluvia.

Para la instalación definitiva del tomamuestras y el limnómetro se empleó una abertura situada sobre la losa del partidor con un conducto de protección de PVC situado aguas arriba de las compuertas Taintor. En esta ubicación no se interfería con los sistemas de telecontrol del partidor ya existentes.



Figura 14 | Instalación para muestrear los flujos en tiempo de lluvia directamente en el colector de Arroyofresno. Se dispone de tomamuestras automático y de limnómetro para activación de la toma de muestras.

En la cámara de disipación previa al tanque de Arroyofresno se instalaron el limnómetro L2 y el tomamuestras M2.



Figura 15 | Vista general de la cámara de disipación de energía y situación de los equipos de este estudio.



Figura 16 | Dados de hormigón para disipar energía. Zona de toma de muestras de agua que será conducida al tanque de tormentas de Arroyofresno.



Figura 17 | Punto de toma de muestras.

En la Tabla siguiente se presenta el resumen de equipos adicionales instalados para la explotación de la sección de control del tanque de Arroyofresno. Los equipos se han instalado sobre una pasarela de inspección del tanque, situada a unos 9 m de altura sobre la solera.

Tabla 2 | Inventario de equipos instalados adicionalmente para el desarrollo de las campañas.

UBICACIÓN		NOMENCLATURA	TIPO DE SENSOR	DATOS
TANQUE DE TORMENTAS	Zona 1 tanque	V3	Caudalímetro SIGMA Ultra-sónico	Nivel
		L3	Limnímetro GREYLINE	Nivel
		RELE 3	Señal V3 de activacion ext	No. Activacion
		M3	TM-Tomamuestra	No



Figura 18 | Tomamuestras automático y primeros equipos instalados para medición de nivel.

Resultados de la campaña de caracterización de tiempo de lluvia

Todos los parámetros medidos y los resultados obtenidos en las diferentes secciones de control se integran en las denominadas “fichas de suceso”. La “ficha de suceso” se ha estructurado en tres hojas que muestran los resultados de forma gráfica y numérica. Las tres hojas son las siguientes:

- **Hidráulica:** Se presentan los caudales de entrada, de salida hacia el emisario, y de vertido al medio, niveles alcanzados en el tanque y volúmenes retenidos.
- **Contaminación en el flujo de entrada:** Se reflejan los caudales y la contaminación generada por la cuenca del tanque en tiempo de lluvia.
- **Concentraciones en todos los flujos:** Se presentan todos los polutogramas en todos los puntos de muestreo.

A continuación se presentan algunos resultados de la caracterización realizada en el sistema Arroyofresno. Se presenta el denominado “Suceso 5” o “Tiempo de Lluvia 5” (TLL5), de 27 de enero de 2017.

Tabla 3 | Características de la lluvia que generó el Suceso 5 en Arroyofresno.

DATOS DE LA PRECIPITACIÓN	
Día y hora de inicio	27/01/2017 1:15
Día y hora de finalización	27/01/2017 6:45
Duración (horas)	5:30
Fecha de última lluvia de referencia	16/12/2016 15:00
Duración tiempo seco precedente (días)	41,43
Precipitación total (mm)	12,00
Intensidad 5 minutal media - Imedia 5 (mm/h)	0,12
Intensidad 5 minutal máxima - Imax 5 (mm/h)	0,40
Día y hora de máxima precipitación	27/01/2017 3:30

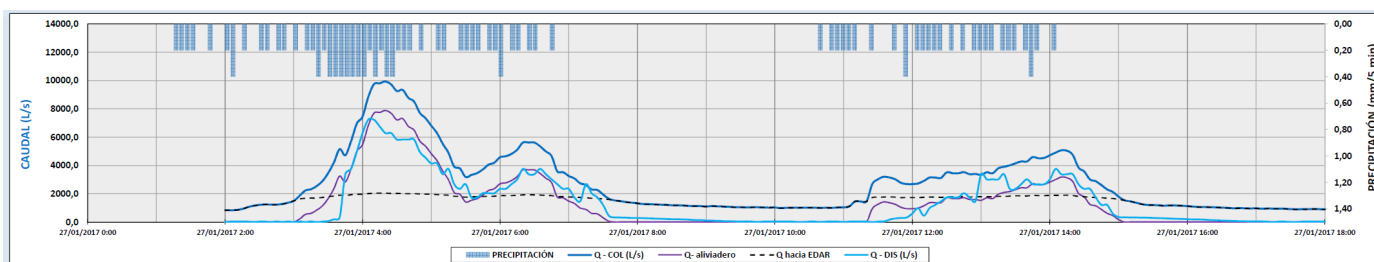


Figura 19 | Hietogramas e hidrogramas en las diferentes secciones de control en partidor de Arroyofresno.

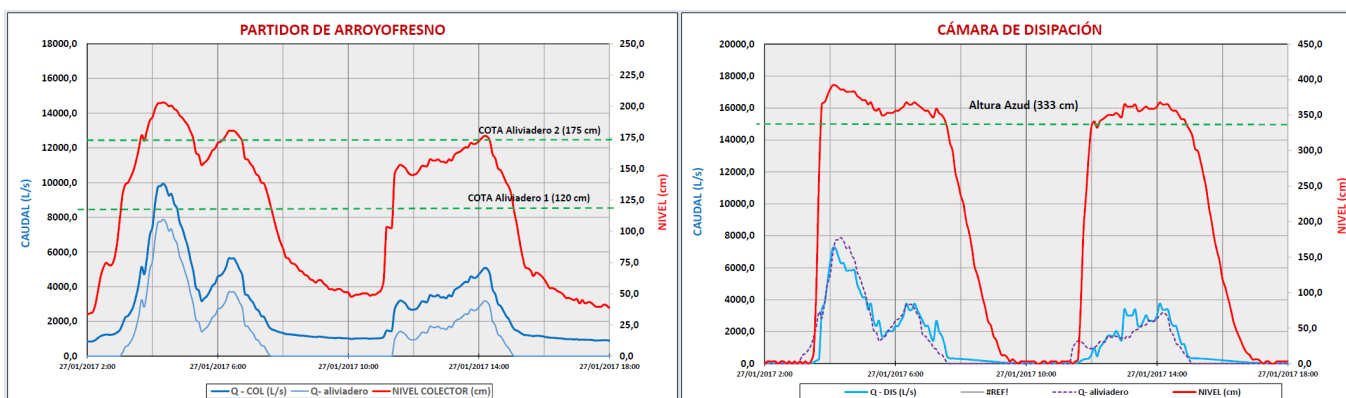


Figura 20 | Evolución de niveles y caudales en el colector de Arroyofresno y en la cámara de disipación.

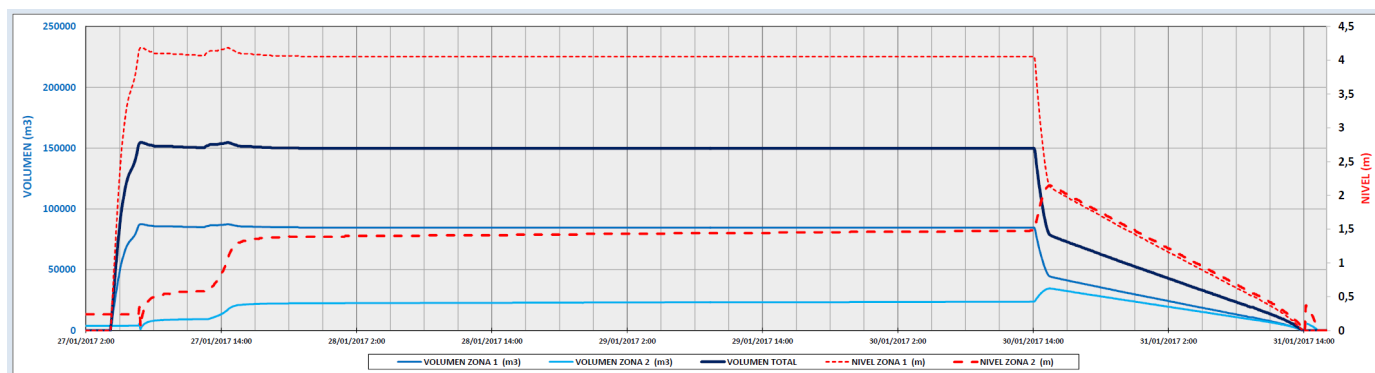


Figura 21 | Evolución de niveles en el tanque de tormenta de Arroyofresno.

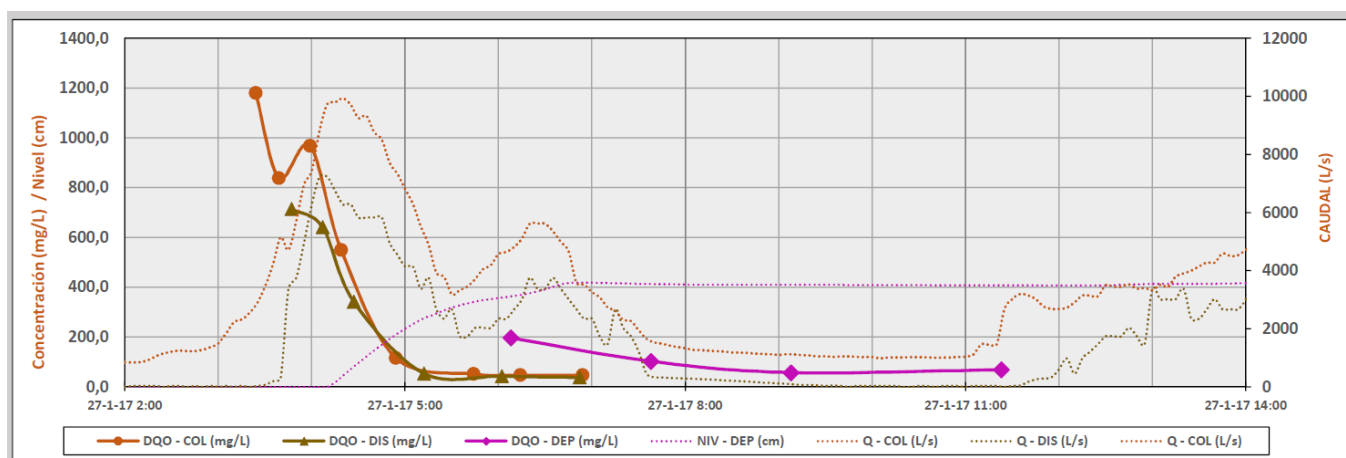


Figura 22 | Polutogramas de DQO en los diferentes punto de caracterización.

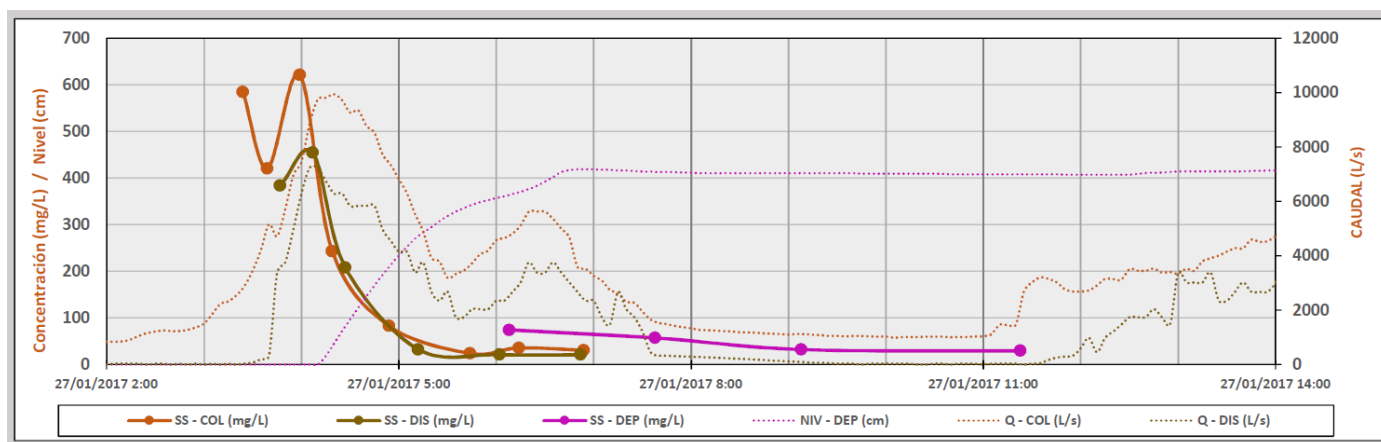


Figura 23 | Polutogramas de SS en los diferentes punto de caracterización.

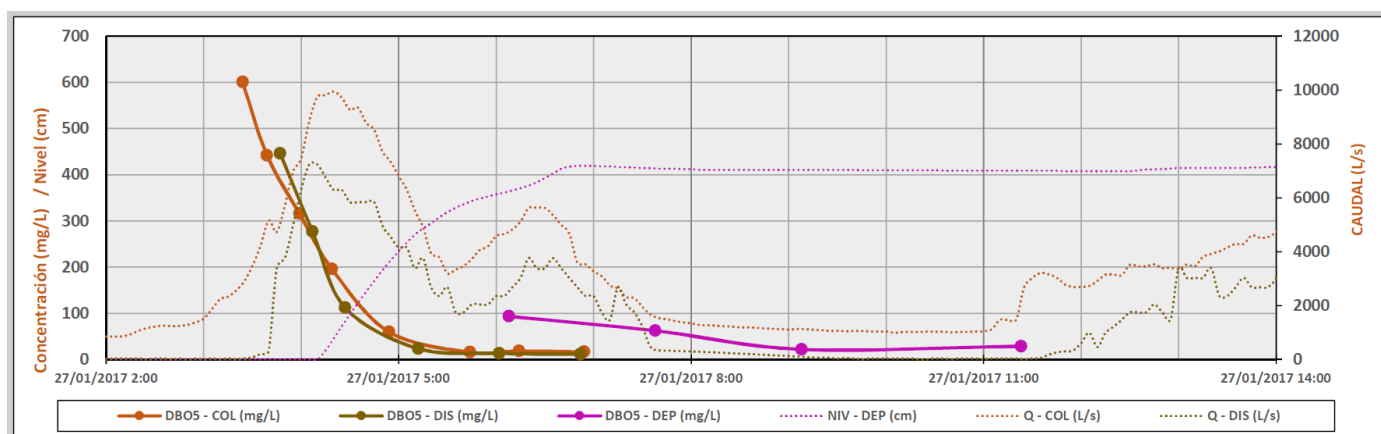


Figura 24 | Polutogramas de DBO5 en los diferentes punto de caracterización.

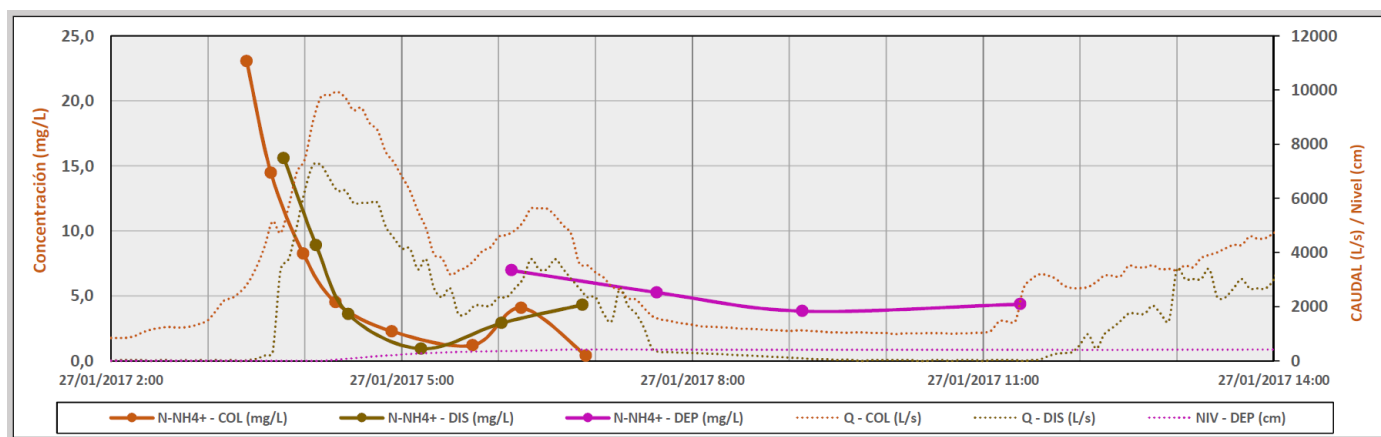


Figura 25 | Polutogramas de N-NH_4^+ en los diferentes punto de caracterización.

Tabla 4 | Resultados obtenidos de las muestras tomadas para caracterizar el polutograma del flujo en el colector de Arroyofresno.

CONTAMINACIÓN DEL FLUJO EN COLECTOR				
PARÁMETROS	CONC. MÁXIMA	CONC. MÍNIMA	CMS	Coef. Punta
N-TOTAL (mg/L)	24,8	3,9	7,2	3,5
N-NH 4+ (mg/L)	23,1	0,4	4,9	4,7
DQO (mg/L)	1181,1	46,4	415,6	2,8
DQO soluble (mg/L)	240,0	19,9	73,6	3,3
P total (mg/L)	9,2	0,6	2,5	3,6
DBOu (mg/L)	821,1	25,8	235,0	3,5
DBO5 (mg/L)	600,0	15,0	164,2	3,7
ST (mg/L)	1038,9	152,0	473,7	2,2
SS (mg/L)	621,0	24,0	226,4	2,7
SSV (mg/L)	451,6	20,7	162,8	2,8
SSF (mg/L)	177,0	3,0	63,5	2,8
SD (mg/L)	454,7	121,4	247,4	1,8
SSed (mL/L)	15,8	1,5	5,2	3,0
pH	7,4	6,7	7,0	1,1
Cond. (µs/cm)	467,4	160,9	259,8	1,8
TURBIDEZ (UNF)	311,1	2,2	126,9	2,5

Tabla 5 | Resultados obtenidos de las muestras tomadas para caracterizar el polutograma del flujo en el disipador.

CONTAMINACIÓN DEL FLUJO EN DISIPADOR				
PARÁMETROS	CONC. MÁXIMA	CONC. MÍNIMA	CMS	Coef. Punta
N-TOTAL (mg/L)	16,8	4,7	3,9	4,3
N-NH 4+ (mg/L)	15,6	0,9	3,0	5,3
DQO (mg/L)	714,9	37,4	181,1	3,9
DQO soluble (mg/L)	70,3	18,2	24,1	2,9
P total (mg/L)	6,7	0,7	1,6	4,1
DBOu (mg/L)	668,6	20,1	124,5	5,4
DBO5 (mg/L)	445,7	11,5	75,3	5,9
ST (mg/L)	742,3	141,9	228,4	3,3
SS (mg/L)	454,4	21,1	116,6	3,9
SSV (mg/L)	329,1	12,9	83,4	3,9
SSF (mg/L)	125,2	7,7	33,2	3,8
SD (mg/L)	358,3	120,8	111,7	3,2
SSed (mL/L)	10,3	0,5	1,9	5,5
pH	7,0	6,7	6,8	1,0
Cond. (µs/cm)	349,7	155,8	216,2	1,6
TURBIDEZ (UNF)	238,3	7,7	95,3	2,5

Tabla 6 | Resultados obtenidos de las muestras tomadas para caracterizar el agua almacenada en el tanque de tormentas.

CONTAMINACIÓN EN EL AGUA EN EL DEPÓSITO				
PARÁMETROS	CONC. MÁXIMA	CONC. MÍNIMA	CMS	Coef. Punta
N-TOTAL (mg/L)	11,3	7,5	8,1	1,4
N-NH 4+ (mg/L)	9,2	3,8	5,1	1,8
DQO (mg/L)	196,4	50,4	105,8	1,9
DQO soluble (mg/L)	66,5	25,9	41,2	1,6
P total (mg/L)	3,2	0,9	1,8	1,8
DBOu (mg/L)	123,7	36,7	71,8	1,7
DBO5 (mg/L)	92,8	21,4	51,1	1,8
ST (mg/L)	352,4	180,0	260,1	1,4
SS (mg/L)	74,2	25,7	48,2	1,5
SSV (mg/L)	54,1	18,8	35,6	1,5
SSF (mg/L)	20,1	6,4	12,7	1,6
SD (mg/L)	295,2	150,6	211,9	1,4
SSed (mL/L)	2,5	0,8	1,6	1,5
pH	7,1	7,0	7,0	1,0
Cond. (µs/cm)	264,6	181,2	214,9	1,2
TURBIDEZ (UNF)	72,4	13,3	38,5	1,9

Tabla 7 | Comparación de las relaciones básicas entre contaminantes caracterizados en el colector de Arroyofresno en tiempo seco y en tiempo de lluvia.

RELACIONES DE REFERENCIA		
	T.SECO	T.LLUVIA
DQO/DBO5	1,96	2,53
DQOdec/DQO total	0,44	0,18
N-NH4+/Ntotal	0,79	0,75
STV/ST	----	----
SSV/SS	0,9	0,72
SDV/SD	----	----

CONCLUSIONES

Conclusiones generales:

- La metodología de caracterización de flujos en tiempo de lluvia ha permitido caracterizar hidráulicamente las infraestructuras de interés, y se han podido realizar balances, e incluso realizar comprobaciones de bondad de medida de algunos equipos al haber instalado instrumentación redundante.
- La metodología ha permitido caracterizar polutogramas que han puesto de manifiesto las elevadas puntas de contaminación que se producen durante los primeras fases del evento; se producen concentraciones muy superiores a las de tiempos seco durante periodos de tiempo que superan la hora y media, como se ha apreciado en las gráficas presentadas.
- Disponer de hidrogramas y polutogramas ha permitido realizar balances de contaminación, pudiendo llegar a estimar la movilización de contaminación generada por los flujos debidos al agua de escorrentía.
- La instrumentación utilizada y las técnicas de toma de muestras puestas a punto han demostrado ser robustas y adecuadas para la caracterización de los flujos en tiempo de lluvia en instalaciones complejas, de grandes dimensiones y condiciones agresivas.
- La información obtenida mediante esta metodología permitirá optimizar las estrategias de explotación y mantenimiento de los tanques, y de sus infraestructuras complementarias, para minimizar las presiones sobre el río Manzanares en tiempo de lluvia.

REFERENCIAS

- Anta, J., Bermúdez, M., Cea, L., Suárez, J., Ures, P., Puertas, J. 2015. *Modelización de los impactos por DSU en el río Miño (Lugo). Ingeniería del agua. ISSN: 1134-2196*. Editorial: Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua. Valencia.
- Canal de Isabel II – Gestión (2014); *PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS QUE HA DE REGIR EN EL CONTRATO PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA AVANZADO PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA MANZANARES*, Contrato N°: 284/2014; Área: Subdirección I+D+I Fecha: 13 de marzo de 2015
- MAGRAMA. 2014. *Manual nacional de recomendaciones para el diseño de tanques de tormenta*. Equipo de redacción: Aqualogy: Comas, P.; Falcó, X.; García, J.; Malgrat, P.; Sunyer, D.; Villanueva, A. GEAMA-UdC: Anta, J.; Puertas, J.; Suárez, J. Septiembre de 2014. 181 pags. Editor: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España.
- Suárez, J., Puertas, J. 2005. *Determination of COD, BOD, and suspended solids loads during CSO events in some combined cathments in Spain. Ecological Engineering*. Vol. 24, Pags. 199-217. Elsevier.