



## La contaminación de las escorrentías de autopistas como presión significativa sobre las masas de agua

**Autor:** Joaquín Suárez López

**Institución:** Universidad de A Coruña

**Otros autores:** Vicente Jiménez Fernández (Aguas de Galicia-Xunta de Galicia); Alfredo Jácome Burgos (GEAMA-Universidade da Coruña); Pablo Ures Rodríguez (GEAMA-Universidade da Coruña); Paula Payo Suárez (COPASA); Carlos Temprano Pérez (APPLUS); Felipe De La Vega Gándaras (Xunta de Galicia); José Manuel Álvarez-Campana Gallo (GEAMA-Universidade da Coruña)

## Resumen

Hoy en día ya es conocido que la contaminación de las aguas de escorrentía superficial urbana puede aportar, en cierto tipo de cuencas, cargas de contaminación significativas a los medios acuáticos receptores. En la actualidad, según la Directiva Marco del Agua, las aguas de escorrentía de calles, carreteras y autopistas deben ser consideradas como 'presiones' a valorar, por lo que es preciso su análisis con el fin de analizar si generan impactos sobre las masas de agua.

El estudio, o caso, que se desea presentar se centra en el análisis de la contaminación aportada por las escorrentías de viales con una intensidad de tráfico significativa. Se ha medido la contaminación (DQO, SS, nutrientes, metales pesados, hidrocarburos, bacteriología) en los flujos de escorrentía (mediante hidrogramas y polutogramas) de una travesía urbana de cuatro carriles con una significativa intensidad de tráfico (18000 de IMD) que es vertida finalmente a la ría de Ferrol (zona sensible). A partir de los datos obtenidos se realiza una valoración de la problemática de este tipo de flujos, de su impacto sobre los medios receptores y sobre las técnicas de control y tratamiento. Se propugna el uso de las Técnicas de Drenaje De Autopistas Sostenibles (TDAS).

A partir de los resultados obtenidos y de su comparación con la bibliografía internacional se desea poner de manifiesto esta fuente de contaminación, olvidada sistemáticamente de los estudios de impacto ambiental.

En Francia, Inglaterra, Alemania existe legislación específica para el control de este tipo de contaminación.

**Palabras clave:** Drenaje sostenible, autopistas, contaminación de escorrentías, metales pesados, hidrocarburos, urbanas, TDAS, TDUS.

## CONTAMINACIÓN EN LAS ESCORRENTÍAS DE AUTOPISTAS Y VÍAS CON ALTA INTENSIDAD DE TRÁFICO

### 1.1. Fuentes de contaminación de la escorrentía de autopistas y carreteras

En una autopista se podrían identificar, a priori, las siguientes fuentes de contaminación:

- a) Contaminación atmosférica.
- b) Contaminación de la superficie:
  - Tráfico rodado.
  - Erosión de los pavimentos.
  - Actividades de jardinería.
  - Uso de sal para el deshielo de la nieve.

En la tabla siguiente se presentan las principales fuentes de contaminación en aguas de escorrentía urbana y en carreteras.

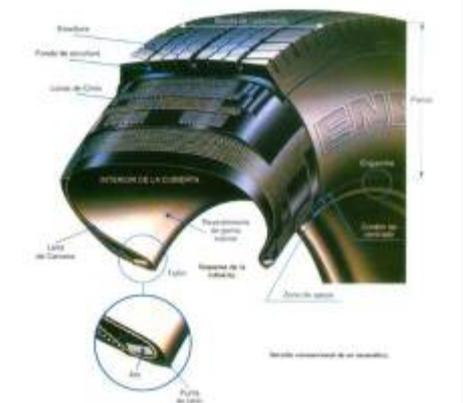
Si se analiza la bibliografía se puede constatar que el país en donde más ha sido caracterizada la escorrentía de las autopistas ha sido EE.UU. De hecho allí se han realizado importantes esfuerzos tanto desde la «Federal Highway Administration» como desde la “Environmental Protection Agency” (EPA). Un ejemplo de la gran cantidad de información ya disponible es, por ejemplo, la «National Highway Runoff Water-Quality Data and Methodology System ». El tipo de vehículos, el tipo de combustibles, e incluso el tipo de pavimentos, pueden determinar diferencias entre unos países y otros.

**Tabla 1.- Fuentes antrópicas de contaminantes en escorrentías de pavimentos urbanos (Sansalone et al, 1997)**

	frenos	ruedas	carrocería	carburantes y aceites	pavimentos		sales deshielo	basura
					hormigón	asfálticos		
Cadmio								
Cromo								
Cobre								
Hierro								
Plomo								
Níquel								
Vanadio								
Zinc								
Cloruros								
Sólidos orgánicos								
Sólidos inorgánicos								
PAHs								
Fenoles								

 Fuente principal     
  Fuente secundaria

**Tabla 2.- Fuentes antrópicas de contaminantes en escorrentías de pavimentos urbanos (Sansalone et al, 1997)**

Platino, Paladio, Rodio, Manganeso, Bromo, sulfuros, PCBs ...			
Componentes	Tipo de vehículo		Función
	Automóviles % en peso	Camiones % en peso	
			
Cauchos	48	45	Estructural – deformación
Negro humo	22	22	Mejora oxidación
Óxido de zinc	1,2	2,1	Catalizador
Material textil	5	0	Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización
Otros	12		Juventud

**Tabla 3.- Principales fuentes de contaminación en aguas de escorrentía urbana y en carreteras**

CONTAMINANTE	ORIGEN
<b>PLOMO</b>	Gasolinas con plomo, cubiertas de neumáticos, aceites lubricantes y grasas, compuestos empleados en sales de deshielo
<b>ZINC</b>	Caucho vulcanizado de la cubierta de los neumáticos, acero galvanizado, infraestructura, aceite del motor (aditivos estabilizantes), grasas
<b>HIERRO</b>	Óxidos de la carrocería del vehículo, estructuras de acero en carreteras (guardarrailes, puentes, etc.), parte móviles del motor
<b>COBRE</b>	Revestimientos metálicos, partes móviles del motor, pastillas de freno, fungicidas e insecticidas (operaciones de mantenimiento en carretera)
<b>CADMIO</b>	Neumáticos (material de relleno), insecticidas, superficies galvanizadas con zinc.
<b>CROMO</b>	Revestimientos metálicos, partes móviles del motor, pastillas de freno
<b>NIQUEL</b>	Gases de combustión del gasoil y aceites lubricantes, revestimientos metálicos, pastillas de freno y asfalto
<b>MANGANESO</b>	Partes móviles del motor
<b>BROMO</b>	Gases de combustión del vehículo
<b>CIANURO</b>	Compuestos anti-apelmazantes (férricos y ferro-cianuros, etc.) empleados para mantener la sal granulada
<b>CLORUROS</b>	Sales de deshielo
<b>SULFATOS</b>	Capas de la calzada, fuel, sales de deshielo
<b>PETRÓLEO</b>	Derrames y pérdidas de lubricantes del motor, anticongelante, fluidos hidráulicos, lixiviados de superficies asfálticas
<b>PCBs</b>	Sprays empleados en cunetas, deposiciones atmosféricas, catalizadores en neumáticos
<b>CAUCHO</b>	Cubiertas de neumáticos
<b>SSV (sólidos en suspensión volátiles)</b>	Cubiertas de neumáticos y abrasión del asfalto
<b>AMIANTO</b>	Embrague y pastillas de freno

**Tabla 4.- Estimación de las cargas contaminantes anuales unitarias para aguas de escorrentía de carreteras en Francia con IMD de hasta 10.000 vehículos/día (SETRA, 2006)**

	<b>Carga contaminante específica anual (masa/ha impermeable.año por cada 1000 vehículos/día)</b>	<b>SS (kg)</b>	<b>DQO (kg)</b>	<b>Zn (kg)</b>	<b>Cu (kg)</b>	<b>Cd (g)</b>	<b>HC (g)</b>	<b>HAP (g)</b>
<b>&lt; 10000 vehículos/día</b>	Tramos abiertos (la dispersión por vía aérea no está limitada)	40	40	0.4	0.02	2	600	0.08
	Tramos confinados (la dispersión por vía aérea está limitada por la presencia de muros, barreras, desmostes, etc.)	60	60	0.2	0.02	1	900	0.15
	Carga contaminante específica anual suplementaria por los vehículos que sobrepasan los 10000 vehículos día (masa/ha impermeable.año por cada 1000 veh./día)							
<b>&gt; 10000 vehículos/día</b>	Tramos abiertos y confinados	10	4	0.0125	0.011	0.3	400	0.05

**Tabla 5.- Clasificación de las escorrentías (Stockholm Vatten, 2001)**

	<b>Orden de magnitud de concentraciones</b>		<b>ARU media</b>
	<b>Bajas</b>	<b>Altas</b>	
<b>DQO</b>	25 - 60		
<b>SST (mg/L)</b>	< 50	> 175	
<b>Ntot (mg/L)</b>	< 1,25	> 5,0	
<b>Ptot (mg/L)</b>	< 0,1	> 0,2	
<b>Pb (µg/L)</b>	< 3,0	> 15,0	65
<b>Cd (µg/L)</b>	< 0,3	> 1,5	2
<b>Hg (µg/L)</b>	< 0,04	> 0,20	2
<b>Cu (µg/L)</b>	< 9,0	> 45,0	70
<b>Zn (µg/L)</b>	< 60,0	> 300	200
<b>Ni (µg/L)</b>	< 45,0	> 225	25
<b>Cr (µg/L)</b>	< 15,0	> 75	25
<b>Aceites (mg/L)</b>	< 0,5	> 1,0	
<b>HAP (µg/L)</b>	< 1,0	> 2,0	

En la siguiente tabla se muestran los valores que cabe esperar encontrar en el ámbito de una autopista (adaptado de Harrison, 1991). Los datos consignados presentan un coeficiente de variación (desviación estándar dividida entre la media) de 0,3. Las variaciones en los elementos traza pueden llegar a ser muy amplias y la de los niveles de contaminantes en las muestras de polvo pueden mostrar variaciones de un orden de magnitud.

**Tabla 6.- Niveles de contaminantes en el ámbito de una autopista (adaptado de Harrison, 1991)**

CONTAMINANTE		NIVELES TÍPICOS	
<b>MATERIA PARTICULADA</b>			
Partículas totales en suspensión el aire		100	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Humos negros en la atmósfera		30	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sólidos en suspensión totales en escorrentías		100	$\text{g}/\text{m}^2$
Polvo superficial		50	$\text{g}/\text{m}^2$
Partículas de carbón elemental en suspensión el		3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN FORMA GASEOSA</b>			
CO		2	$\text{mg}/\text{m}^3$ (1,7 $\text{mg}/\text{L}$ )
SO <sub>2</sub>		60	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (22 $\mu\text{g}/\text{L}$ )
NO <sub>2</sub>		50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (25 $\mu\text{g}/\text{L}$ )
NO <sub>x</sub>		150	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (100 $\mu\text{g}/\text{L}$ )
Hidrocarburos totales		1500	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Compuestos orgánicos volátiles, COV		500	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>METALES PESADOS</b>			
Pb	en el aire	0,3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	en el polvo	350	$\mu\text{g}/\text{g}$ 20 $\text{mg}/\text{m}^2$
	en las escorrentías	100	$\text{mg}/\text{m}^3$
Zn	en el aire	0,1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	en el polvo	350	$\mu\text{g}/\text{g}$ 20 $\text{mg}/\text{m}^2$
	en las escorrentías	100	$\text{mg}/\text{m}^3$
Cd	en el aire	0,001	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	en el polvo	1	$\mu\text{g}/\text{g}$ 0,1 $\text{mg}/\text{m}^2$
	en las escorrentías	2	$\text{mg}/\text{m}^3$
Cu	en el aire	0,01	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	en el polvo	60	$\mu\text{g}/\text{g}$ 3 $\text{mg}/\text{m}^2$
	en las escorrentías	50	$\text{mg}/\text{m}^3$
<b>HIDROCARBUROS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS, HAP</b>			
Benzo(a)pireno	en el aire	2	$\text{ng}/\text{m}^3$
	en el polvo	0,5	$\mu\text{g}/\text{g}$
	en las escorrentías	0,1	$\text{mg}/\text{m}^3$
Fluoranteno	en el aire	10	$\text{ng}/\text{m}^3$
	en el polvo	1,1	$\mu\text{g}/\text{g}$
	en las escorrentías	0,3	$\text{mg}/\text{m}^3$

## 1.2. Técnicas de gestión y tratamiento de la escorrentía urbana

### 1.2.1. Las técnicas de drenaje urbano sostenible: objetivos y tipología

Las nuevas estrategias de gestión de las aguas pluviales, que integran tanto el control cuantitativo como el cualitativo, se fundamentan en la utilización de las denominadas Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TDUS). Las TDUS son procedimientos o técnicas destinados a que el sistema global de drenaje y saneamiento mejore su eficacia en la recogida, transporte y tratamiento de las aguas pluviales.

En la literatura anglosajona las TDUS son denominadas «Best Management Practices» (BMP) y su uso está ampliamente extendido. En Europa, cuando estas técnicas están orientadas a la gestión de las aguas de escorrentía en la superficie de la cuenca se ha

adoptado el nombre de “Sustainable Drainage Systems” (SUDS). Son técnicas que forman ya parte de los sistemas de saneamiento y drenaje sostenibles.

Países como Australia y Estados Unidos promueven el uso de sistemas de drenaje urbano sostenible, como técnicas de almacenaje y tratamiento del agua de lluvia para su posterior utilización, integrándolos en los programas integrales de gestión de aguas pluviales. Las TDUS se integran dentro de las estrategias denominadas “Low Impact Development” (LID) o “Water Sensitive Urban Design” (WSUD).

Diversos autores han clasificado las TDUS con diferentes criterios.

Clar et al., citados en el texto “Stormwater Best Management Practice Design guide” (Clar, y otros, 2004), realizaron en el 2001 una clasificación de acuerdo con su objetivo de diseño, que ordenados de menor a mayor complejidad, son los siguientes:

- a) Control de los caudales punta y control frente a inundaciones.
- b) Control de puntas de caudal e inundaciones, y reducción de algunos contaminantes específicos.
- c) Control de inundaciones, puntas de caudal y control global de la calidad de agua.
- d) Control multi-objetivo.
- e) Control de calidad de los ecosistemas.

Con esta aproximación se emplea una combinación de los criterios de calidad de agua, del hábitat y morfológicos para comprobar el cumplimiento de los objetivos marcados en el medio receptor (US-EPA, 2004a).

### 1.2.2. Rendimientos de TDUS

A continuación se presentan diversas referencias de rendimientos de las TDUS.

**Tabla 7.- Rendimientos medios alcanzados por distintas técnicas de tratamiento de las aguas de escorrentía (“Urban stormwater BMP performance monitoring”, US-EPA- 2002)**

TDUS	SST	P <sub>total</sub>	P <sub>soluble</sub>	N <sub>total</sub>	NO <sub>x</sub>	Cu	Zn
Estanque de detención	47	19	-6	25	4	26	26
Estanque de retención	80	51	66	33	43	57	66
Humedales	76	50	35	30	67	40	44
Sistemas infiltración	95	70	85	51	82	N/D	99
Filtros de arena	86	59	9	38	-14	49	88
“Swales”	81	34	38	8	31	51	71

La acción de las TDUS sobre la escorrentía urbana también comporta una serie de efectos que vale la pena destacar. En este sentido, los principales impactos que producen las aguas de escorrentía sobre el entorno se pueden clasificar en físicos (erosión de cauces y llanuras, impactos termales,...), químicos e impactos sobre el hábitat. En la tabla siguiente se presenta, de forma resumida, los impactos que las diferentes TDUS pueden minimizar.

**Tabla 8.- Efecto de las TDUS sobre los impactos de la escorrentía urbana (US-EPA, 2004a)**

TEDUS		IMPACTOS QUÍMICOS	IMPACTOS FÍSICOS	ECOLÓGICO / SOBRE EL HÁBITAT
A	ESTANQUE DE RETENCIÓN	Reducción de SS, P <sub>total</sub> , P <sub>orgánico</sub> , N <sub>total</sub> , NO <sub>3</sub> , metales y bacterias.	Se muestran poco efectivos para controlar los impactos sobre los cauces provocados por el incremento de escorrentía, a veces incluso incrementan los caudales punta. No proporcionan capacidad de recarga de acuíferos.	No proporcionan prácticamente protección contra los impactos sobre los macroinvertebrados. Pueden provocar impactos termales en medios de peces de aguas fría.
	ESTANQUE DE DETENCIÓN EXTENDIDA			
B	HUMEDALES	Reducción de SS, PT, P <sub>orgánico</sub> , N <sub>total</sub> , NO <sub>3</sub> y bacterias.	Se pueden diseñar para el control de caudales pero tienen las mismas limitaciones que los estanques. No se suelen emplear para la recarga de acuíferos	Impactos termales
C	ESTANQUE DE INFILTRACIÓN	Poca información disponible. Un único estudio destaca reducción de SS, P, N, metales y bacterias.	Sirven para controlar caudales punta. Muy efectivas para recargas de acuíferos. Reducen efectivamente el volumen de escorrentía	No hay información disponible
	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	Reducción de SST, P, N, metales y bacterias.	Efectivo para recarga de acuíferos	No hay información disponible
	PAVIMENTOS POROSOS Y MODULARES	Reducción de SST, P <sub>total</sub> , N <sub>total</sub> , DQO y metales	Efectivo para recargar acuíferos (70-80% de la escorrentía anual)	No hay información disponible
D.	ZONAS DE BIORETENCIÓN	Eliminación de P <sub>total</sub> , N <sub>total</sub> , NH <sub>4</sub> , metales, DQO y aceites.	Pueden proporcionar control de calidad y cierta capacidad de control de puntas.	No hay información de campo disponible
	CUNETAS VEGETALES	Reducción de SST, P <sub>total</sub> , N <sub>total</sub> , NO <sub>3</sub> , metales y bacterias.	Reducir punta en pequeños aguaceros y proporcionar recarga de acuíferos	No hay información de campo disponible
	ZANJAS VEGETALES FILTRANTES	Reducción de SST, nitratos y nitritos, P <sub>total</sub> , y metales.	Proporcionan un poco de capacidad de recarga y aunque no tiene capacidad de laminar sucesos grandes si pueden emplearse como sistemas de detención fuera de línea	No hay información de campo disponible
E.	FILTROS DE ARENA.	Pocos estudios en general. Efectividad con SST, N <sub>total</sub> , NO <sub>3</sub> , metales y bacterias.	Con algunos tipos de filtro de arena se puede proporcionar recarga de acuíferos pero en general no. No proporcionan buenas capacidades frente a control de caudales punta.	No existe mucha información. Pueden ayudar a prevenir impactos termales. No ayudarán a prevenir la degradación biológica de cauces y llanuras.
	FILTROS PERIMETRALES	Reducción de SST, N <sub>total</sub> , NO <sub>3</sub> y metales.		
	FILTROS SUPERFICIALES Y VERTICALES	Reducción de SST, P <sub>total</sub> , P <sub>orgánico</sub> , N <sub>total</sub> , NO <sub>3</sub> , metales y bacterias (en filtro superficial).		

En general, las normativas consideran a una TDUS válida para tratar el “volumen de calidad” si cumplen las siguientes condiciones:

- Los sistemas pueden capturar y tratar todo el volumen de calidad de agua.
- Se alcanzan rendimientos medios anuales de eliminación de un 80% de los sólidos en suspensión totales y de un 40% del fósforo total.
- Los sistemas tienen una vida útil elevada.
- Los sistemas disponen de un pretratamiento.

### 1.2.3. Las “Instrucciones técnicas de obras hidráulicas de Galicia” y la gestión y tratamiento de las aguas de escorrentía de autopistas y vías con alta intensidad de tráfico

Las “Instrucciones Técnicas de Obras Hidráulicas de Galicia” (<http://augasdegalicia.xunta.es/es/ITOHG.htm>) dedican la ITOHG-SAN-1/4 a orientar y a establecer directrices sobre las TDUS a utilizar para el tratamiento de aguas de escorrentía. En concreto, el ámbito de aplicación de la ITOHG-SAN-1/4 es definir los lugares en donde es necesario, o recomendable, el empleo de TDUS para escorrentías de zonas urbanas.

En la tabla siguiente se presentan los principales usos del suelo que pueden configurar la estructura de cuencas urbanas con potencial para generar contaminación de aguas pluviales.

**Tabla 9.- Relación entre usos del suelo con la generación de contaminación susceptible de ser arrastrada por las aguas de escorrentía pluvial.**

USO DEL SUELO	CONTAMINANTE			
	Sólidos en suspensión	DQO	Metales pesados e hidrocarburos	Contaminación bacteriológica
Rural	Baja	No significativa	No significativa	Media
Urbana	Media-Alta	Media	Media	Alta
Urbana densa / Comercial	Alta	Alta	Alta	Alta
Industrial	Alta	Media-Alta	Media-Alta	Alta
Aparcamientos y carreteras	Media-Alta	Media	Media-Alta	Baja-Media
Autovías y autopistas	Media-Alta	Media	Alta	Baja-Media
Gasolineras, estaciones de transporte	Media-Alta	Media	Alta	Baja-Media

Atendiendo a lo recogido en la tabla anterior, y a otras razones expuestas en la ITOHG-SAN-1/4, se obliga a la adopción de TDUS para el control de la contaminación de las aguas de escorrentía en los siguientes casos:

- En zonas de nueva construcción en donde tras el proceso de urbanización se incrementen los caudales vertidos al medio receptor.
- En núcleos rurales, con población superior a los 1.000 habitantes, a excepción de núcleos que puedan producir una alta contaminación difusa (pesticidas, erosión del suelo), en los que se deben aplicar TDUS en cualquier caso.
- En zonas industriales.
- En aparcamientos de superficie superior a 0,5 ha.
- En carreteras con IMD superior a los 20.000 vehículos/día.
- En zonas como gasolineras, inmediaciones de estaciones de ferrocarril, de autobuses, o infraestructuras similares.

En las masas de agua catalogadas como zonas sensibles o zonas protegidas recogidas en la DMA se adoptarán TDUS en las siguientes circunstancias:

- En zonas de nueva construcción en donde tras el proceso de urbanización se incrementen los caudales vertidos al medio receptor.
- En núcleos rurales, con población superior a los 500 habitantes, a excepción de núcleos que puedan producir una alta contaminación difusa (pesticidas, erosión del suelo,), en los que se deben aplicar TDUS en cualquier caso.

- 3.- En zonas industriales.
- 4.- En aparcamientos de superficie superior a 0,25 ha.
- 5.- En carreteras con IMD superior a los 10.000 vehículos/día.
- 6.- En zonas como gasolineras, inmediaciones de estaciones de ferrocarril, de autobuses, o infraestructuras similares.

En la ITOHG-SAN-1/4 se aconseja el uso un gran número de tipologías de TDUS, que deben adaptarse al contexto concreto en el que se van a construir (tipo de aguas, espacio disponible, medio receptor, objetivos de cantidad o calidad del agua buscados,...).

## **1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS**

La Empresa Pública de Obras y Servicios Hidráulicos (E.P.O.S.H.) de la Xunta de Galicia adjudicó el sistema de colectores, tanques de retención y E.D.A.R. de Ares, Fene y Mugaros (A Coruña, Galicia) a la U.T.E formada por las empresas “S.A de servicios y Obras COPASA” y “Construcciones Taboada y Ramos, S.L.”, por el método de Concesión Administrativa.

La actuación que se está desarrollando contempla la ejecución de un colector general por la divisoria de la península desde la zona de Limodre, donde llega el colector que conduce los vertidos del Polígono Industrial de Vilar do Colo, hasta la zona de Punta Avarenta, en donde se construirá la E.D.A.R., incorporando al mismo, mediante impulsiones y colectores de gravedad, los vertidos de aguas residuales que actualmente se producen en la ribera norte de la Ría de Ares y en la ribera sur de la Ría de Ferrol.

Las obras que se están ejecutando contemplan también la construcción de estructuras de detención-aliviadero (tanques de tormenta) conectadas a las redes unitarias (normalmente dotadas de equipos de bombeo) que conducen las aguas residuales hacia el sistema general de saneamiento, tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia.

Durante la fase de anteproyecto de las actuaciones se tomó la decisión, por parte de la EPOSH, de realizar algunas actuaciones piloto de control y tratamiento de escorrentías contaminadas. Se consideró de gran interés estudiar la problemática de uno de los viales de la zona, concretamente un tramo de la vía N-651 (Avenida de las Pías) en la zona “San Valentín”.

Los viales en la zona de San Valentín tienen un eje principal de cuatro carriles con una alta densidad de tráfico y sus escorrentías de aguas pluviales, con cargas significativas de contaminación, acaban vertiéndose a la ría de Ferrol, declarada “zona sensible” y con exigencias de calidad muy altas para cultivos marinos y baño.

La Dirección de Obra de la actuación consideró de interés analizar la contaminación que es movilizada por la escorrentía en este tipo de carreteras, con alta densidad de tráfico, y diseñar un sistema de tratamiento adecuado, basado en TDUS, que minimice la contaminación que se vierte a la ría.

A los sistemas de tratamiento de aguas de escorrentías de autopistas se les denomina “Técnicas de Drenaje Sostenible de Escorrentía de Autopistas” (TDSEA).

Para seleccionar, y configurar, una TDSEA adecuada al problema ambiental que se desea resolver era necesario analizar cómo se generaban los flujos de agua y cómo se movilizaba la contaminación; con tal fin se realizaron campañas de caracterización.

El objetivo principal del estudio que se presenta fue, por lo tanto, diseñar y predimensionar una TDSEA para la gestión adecuada de las aguas de escorrentía que se generan en el tramo de la vía N-651 (Avenida de las Pías) y uno de sus enlaces, en el extremo Sur del Puente de las Pías.



**Figura 1.- Vista general de la Avda. de las Pías y del enlace de San Valentín**

La consecución de tal objetivo implicó:

- a) Medir los caudales generados en la subcuenca de drenaje.
- b) Caracterizar la contaminación movilizada mediante la medición de polutogramas.
- c) Analizar el tipo y características de la contaminación movilizada.
- d) Analizar alternativas de tratamiento y configuración de la TDSEA.
- e) Seleccionar una alternativa de tratamiento y predimensionarla.

## **2. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA Y DEL SISTEMA DE DRENAJE CARACTERIZADOS**

La cuenca piloto caracterizada en este estudio está formada, en su mayor parte, por la calzada de la carretera nacional N-651, a su paso por la parroquia de San Valentín, en el Ayuntamiento de Fene (A Coruña, Galicia). La vía está configurada en 4 carriles, y dispone de una red de drenaje para las aguas pluviales, que vierte finalmente a la ría de Ferrol.

En la parte baja de la cuenca, en las proximidades de su desagüe a la ría, la red se ramifica extendiéndose alrededor del enlace que da acceso al astillero de la empresa Navantia, por un lado, y al polideportivo de A Xunqueira, por el otro. La IMD es de 19.000 vehículos al día. La capa de rodadura está realizada con aglomerado asfáltico convencional. La red está formada por cerca de 2 km de colectores (en su mayoría de hormigón de 400 mm; el diámetro mayor presente es de 600 mm, en algún pequeño tramo final), los imbornales que recogen las escorrentías, los pozos de registro y el desagüe a la ría de Ferrol. La pendiente media de la red de drenaje es alta, del 3,49%, lo

cual contribuye a que se registren caudales significativos en la sección de control, casi al mismo tiempo de ocurrencia de los eventos de lluvia; el tiempo de concentración es muy bajo. Este hecho también se ve favorecido por elevado grado de impermeabilización de la cuenca y por el reducido tamaño, relativo, de la misma.

## 2.1. Características del vial y de los enlaces



**Figura 2.- En verde se sombrea el área de aportación que es estrictamente un vial de cuatro carriles con alta intensidad de tráfico. Se trata del 32% del área la cuenca total, que también incluye la zona sombreada en azul.**

**Tabla 10.- Cálculo de superficie de cuenca de aportación**

TOTAL DE CUENCA (m <sup>2</sup> ) <sup>[1+2]</sup>	44.650
PERMEABLE <sup>[1]</sup>	13.200
IMPERMEABLE <sup>[2] = [3+4]</sup>	31.450
AVDA. DE LAS PÍAS <sup>[3]</sup>	14.530
Otros viales <sup>[4]</sup>	16.920
Coeficiente de escorrentía permeables	0,50
Coeficiente de escorrentía impermeable	0,90
Valor medio ponderado	0,78
SUPERFICIES NETAS	
de zonas permeables	13.200 x 0,50
de zonas impermeables	31.450 x 0,90
SUPERFICIE NETA TOTAL (m <sup>2</sup> )	34.905
ha	3,5

## 2.2. Características de la red de alcantarillado



Figura 3.- Red de colectores de la cuenca piloto

## 2.3. Características climatológicas del área

En el gráfico siguiente se presenta la precipitación media de dos estaciones de referencia: la del CIS-Ferrol y la de Mabegondo. Los datos presentados proceden de Meteogalicia.

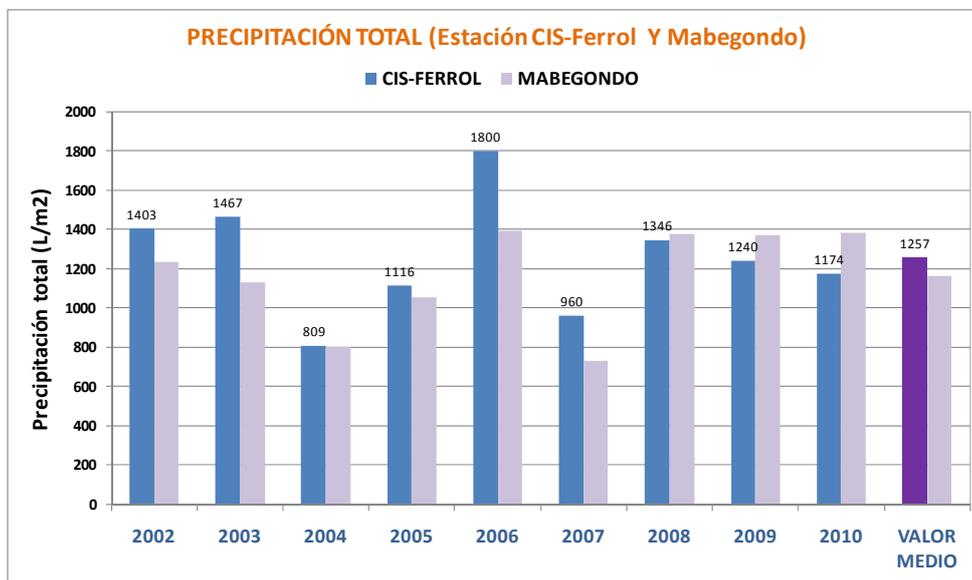


Figura 4.- Datos de precipitación total anual en las dos estaciones meteorológicas de referencia

En el estudio se consideró el año 2009 como “año medio” representativo. Se pueden destacar también el año 2004, como el de menor precipitación, y el año 2006, como el de mayor precipitación de la serie presentada.

**Tabla 11.- Precipitaciones mensuales registradas en el pluviómetro situado en la Estación CIS-Ferrol.**

MESES	2004	2006	2008	2009
mm/m <sup>2</sup>	809	1.800	1.346	1.240

Para dar un orden de magnitud de los sucesos de lluvia que se producen en la cuenca analizada se presenta, a continuación, una tabla en la que se analizan los eventos de lluvia en función del tiempo inter-evento considerado. Se considera “intervalo inter-evento” al periodo de tiempo mínimo que se fija sin lluvia (registro de precipitaciones) que para que dos lluvias se consideren independientes.

**Tabla 12.- Número de eventos de lluvia en los años seleccionados en función del intervalo inter-evento elegido.**

Intervalo inter-evento	2004	2006	2008	2009
1 hora	523	434	587	520
2 horas	384	295	407	368
5 horas	229	163	204	189
12 horas	138	94	115	108
24 horas	72	61	68	62
48 horas	39	33	40	31

### 3. EL MEDIO ACUÁTICO RECEPTOR

El 28 de enero de 2009 fue publicada en el DOG la Resolución por la que se revisa la declaración de zonas sensibles en el ámbito territorial de las cuencas hidrográficas de Galicia-Costa. En ella se declaró como “zona sensible” la ría de Ferrol, a los efectos previstos en el Real Decreto 11/1995, de 28 de diciembre, por la que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas (siguiendo los criterios de la Directiva 91/271). Esta declaración implica el control de la aportación de N y P a la ría.

En la ría, además existen numerosas zonas de marisqueo y zonas de baño.



**Figura 5.- Vista general de la Ría de Ferrol.**

#### 4. INSTALACIÓN DE LA SECCIÓN DE CONTROL

Con el fin de caracterizar los flujos en tiempo de lluvia se instaló una estación de control. Esta sección se emplazó en el último de los pozos de registro de la red de drenaje de pluviales. Se trata de un pozo en el que convergen tres colectores, dos de ellos recogen gran parte de la cuenca, como se ha explicado en apartados anteriores.



**Figura 6.- Situación de la estación de control en el borde de una glorieta.**



**Figura 7.- Detalle del tomamuestras automático con la unidad de control y la bomba peristáltica de toma de muestras y disposición de las 24 botellas para la toma de muestras.**

##### EQUIPOS INSTALADOS EN LA SECCIÓN:

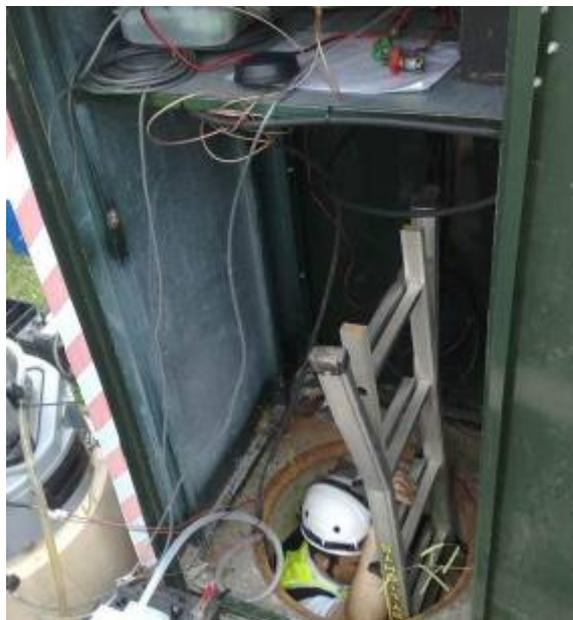
- a) Caudalímetro área-velocidad SIGMA 950. Velocidad por sistema doppler y calado mediante burbuja-presión.
- b) Tomamuestras automático SIGMA 900, con 24 botellas de 1 litro, programable para toma de muestras con intervalo variable.
- c) Cable de conexión entre caudalímetro y tomamuestras para enviar señal de arranque por nivel.
- d) Pluviómetro de intensidad con data-logger TINYTAG PLUS.

##### EQUIPAMIENTO COMPLEMENTARIO PARA EXPLOTACIÓN DE LA SECCIÓN:

- a) Sistema de comunicaciones por GPRS.
- b) Ordenador portátil TRIMBLE YUMA RUGGED TABLET para la descarga de datos de los sistemas de almacenamiento.



**Figura 8.- Conducto de vertido hacia el mar en la sección de control**



**Figura 9.- Fase de colocación de instrumentación.**

## **5. EXPLOTACIÓN DE LA SECCIÓN DE CONTROL**

El periodo de explotación de la sección se ha extendido durante un año y tres meses, debido a la complejidad de tomar muestras representativas de sucesos. La entrada de la marea y la existencia de un bombeo de achique de un drenaje de la subestación eléctrica cercana han complicado la toma de muestras.

El bombeo genera pulsos de caudal que elevan la lámina de agua en el punto de medida. El tomamuestras se pone en marcha por una alarma de nivel. La existencia del bombeo ha producido numerosas “tomas falsas” de sucesos de lluvia y ha obligado a elevar la señal de alarma hasta 7 cm, por lo que parte del inicio de los hidrogramas de lluvia se pierden.

## **6. RESULTADOS OBTENIDOS**

### **6.1. Caracterización hidráulica**

En la sección de control se han efectuado un total de 74.625 registros del nivel de la lámina de agua en la conducción, de la velocidad del flujo y del caudal circulante, a intervalos de 5 minutos, entre los días 19 de marzo de 2010 y 15 de junio de 2011.

Como resumen del registro de caudales realizado se puede destacar que el caudal medio registrado en los periodos en los que circulaba agua por la sección de control ha sido de 1,42 litros/segundo. El valor del caudal máximo registrado ha sido de 399,5 litros por segundo.

En el registro de caudales se observa la influencia de la marea, que llega hasta la sección de control, dejando anotaciones de caudales con valores negativos y también la influencia de los caudales aportados por el bombeo de las aguas de un pozo cercano, que regula el nivel freático en las inmediaciones de una subestación eléctrica.

Los tiempos de concentración son muy pequeños. Las causas son la elevada pendiente media de la cuenca, del 5,12%, además de su elevado grado de impermeabilidad, alrededor del 70%, y de, como ya se apuntó anteriormente, de la pendiente media de la red de drenaje (del 3,49%) y del reducido tamaño, relativo, de la cuenca.

Al ser una cuenca con un tiempo de concentración muy pequeño, la dirección de avance de los frentes de precipitación condiciona excesivamente su determinación con una precisión aceptable. Sucede que, aun a pesar de estar el pluviómetro prácticamente al lado de la sección de control, en algunas ocasiones, se han registran caudales instantes antes de empezar a tener registros de precipitación.

## **6.2. Caracterización de los flujos contaminantes**

Todos los datos de caracterización de cada suceso de lluvia son organizados y manipulados en la denominadas "FICHAS DE SUCESO", con una serie de tablas en las que se detallan, de forma resumida, los siguientes valores obtenidos en los sucesos caracterizados:

- a) Referencias y parámetros descriptivos de los sucesos muestreados.
- b) Concentraciones máximas de los parámetros de contaminación convencionales (CMAX).
- c) Concentraciones medias de suceso de los parámetros de contaminación convencionales (CMS).
- d) Masas totales de los parámetros de contaminación convencionales movilizadas en cada suceso de lluvia y cargas superficiales específicas.
- e) Concentraciones máximas de los parámetros de medida de metales pesados totales (CMAX).
- f) Concentraciones máximas de los parámetros de medida de metales pesados en forma disuelta (CMAX).
- g) Análisis del fraccionamiento de los metales pesados medidos en los sucesos de lluvia.
- h) Concentraciones medias de suceso de los parámetros de medida de metales pesados (CMS).
- i) Concentraciones máximas de los parámetros de medida de hidrocarburos y aceites y grasas (CMAX).
- j) Concentraciones medias de suceso de los parámetros de medida de hidrocarburos y aceites y grasas.

**Tabla 13.- Referencias y parámetros descriptivos de los sucesos muestreados.**

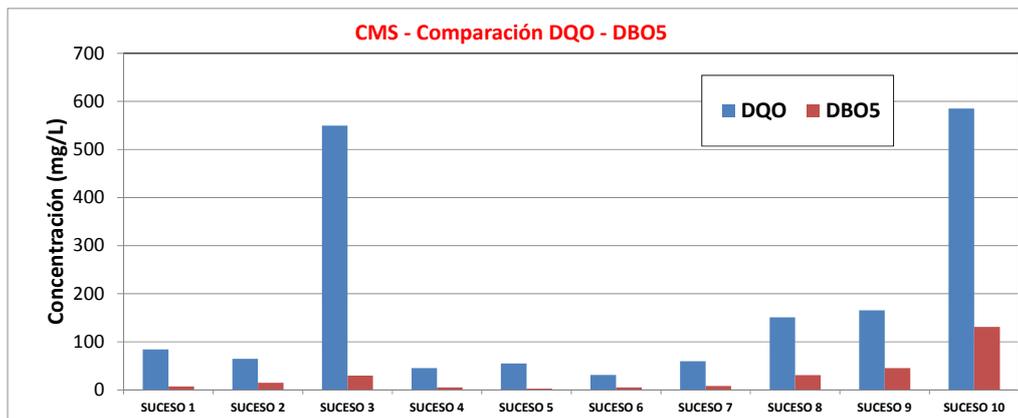
	SUCESO 1	SUCESO 2	SUCESO 3	SUCESO 4	SUCESO 5
<b>REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DE SUCESOS</b>					
Comienzo del hidrograma	08.6.10 17:20	02.7.10 09:16	08.7.10 20:42	07.9.10 10:05	29.9.10 13:38
Finalización del hidrograma	08.6.10 20:00	02.7.10 11:03	08.7.10 23:59	07.9.10 11:18	29.9.10 16:13
Tipo de muestras	COMPUESTAS				
Comienzo del muestreo	08.6.10 17:37	02.7.10 09:33	08.7.10 20:48	07.9.10 10:19	29.9.10 14:11
Finalización del muestreo	08.6.10 19:41	02.7.10 10:53	08.7.10 22:39	07.9.10 11:03	29.9.10 15:35
Nº botellas de 1 L recogidas	19	16	6	10	18
Nº de muestras en el suceso	10	8	3	5	8
Nº botellas 1 L por muestra	2-3	2	2	2	2
Comienzo balance de masas	08.6.10 17:37	02.7.10 09:33	08.7.10 20:48	07.9.10 10:19	29.9.10 14:11
Finalización balance masas	08.6.10 19:41	02.7.10 10:53	08.7.10 22:39	07.9.10 11:03	29.9.10 15:35
<b>LLUVIAS</b>					
Tiempo seco precedente	0 <sup>d</sup> 8 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	17 <sup>d</sup> 4 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	0 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	0 <sup>d</sup> 21 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	5 <sup>d</sup> 10 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>
Precipitación total (mm)	12,60	6,20	8,00	3,20	4,00
Inicio	07.6.10 18:31	02.7.10 07:33	08.7.10 20:50	07.9.10 09:54	29.9.10 13:18
Fin	09.6.10 18:21	02.7.10 13:33	08.7.10 22:40	07.9.10 12:54	29.9.10 15:08
Duración	23:50:00	6:00:00	1:50:00	3:00:00	1:50:00
Int. media de suceso (mm/h)	0,26	1,03	4,36	1,07	2,18
Int. 5minutal máx. (mm/h)	12,00	7,20	26,40	12,00	4,80
Máxima precip. 5 minutos	1,00	0,60	2,20	1,00	0,40
<b>CAUDALES y VOLUMENES DEL SUCESO MUESTREADO</b>					
Caudal mínimo (L/s)	0,21	0,39	0 <sup>d</sup> 20 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	0,11	
Caudal máximo (L/s)	61,05	3,22	31,13	16,24	4,64
Caudal medio (L/s)	5,64	1,20	4,98	2,38	0,94
Coef. punta (Qmax/Qmin)	284,01	8,34	36,10	145,00	
<b>VOLUMEN TOTAL DEL SUCESO</b>					
Volumen total suceso (m <sup>3</sup> )	97,75	11,54	54,85	18,44	10,65

	SUCESO 6	SUCESO 7	SUCESO 8	SUCESO 9	SUCESO 10
<b>REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DE SUCESOS</b>					
Comienzo del hidrograma	24.10.10 09:25	11.2.11 18:50	24.3.11 19:10	07.5.11 12:58	29.5.11 16:55
Finalización del hidrograma	24.10.10 15:35	11.2.11 21:29	24.3.11 20:35	07.5.11 23:59	29.5.11 19:25
Tipo de muestras	COMPUESTAS				
Comienzo del muestreo	24.10.10 10:25	11.2.11 19:03	24.3.11 19:10	07.5.11 13:00	29.5.11 16:56
Finalización del muestreo	24.10.10 12:19	11.2.11 20:16	24.3.11 20:15	07.5.11 23:25	29.5.11 19:06
Nº botellas de 1 L recogidas	24	24	14	24	24
Nº de muestras en el suceso	9	9	7	10	10
Nº botellas 1 L por muestra	2	2	2	2	2
Comienzo balance de masas	24.10.10 10:25	11.2.11 19:03	24.3.11 19:10	07.5.11 13:00	29.5.11 16:56
Finalización balance masas	24.10.10 12:19	11.2.11 20:16	24.3.11 20:15	07.5.11 23:25	29.5.11 19:06
<b>LLUVIAS</b>					
Tiempo seco precedente	15 <sup>d</sup> 1 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	11 <sup>d</sup> 11 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	8 <sup>d</sup> 0 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>	14 <sup>d</sup> 2 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup>	21 <sup>d</sup> 13 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>
Precipitación total (mm)	6,40	3,60	9,20	14,40	22,20
Inicio	29.9.10 13:18	29.9.10 13:18	08.7.10 20:50	07.5.11 13:01	08.7.10 20:50
Fin	29.9.10 15:08	29.9.10 15:08	08.7.10 22:40	07.5.11 23:20	08.7.10 22:40
Duración	1:50:00	1:50:00	1:50:00	10:20:00	1:50:00
Int. media de suceso (mm/h)	3,49	1,96	5,02	1,39	12,11
Int. 5minutal máx. (mm/h)	4,80	2,40	21,60	19,20	69,60
Máxima precip. 5 minutos	0,40	0,20	1,80	1,60	5,80
<b>CAUDALES y VOLUMENES DEL SUCESO MUESTREADO</b>					
Caudal mínimo (L/s)		0,09	0,80		
Caudal máximo (L/s)	8,63	7,76	81,00	132,06	357,98
Caudal medio (L/s)	1,11	1,55	9,71	5,14	37,00
Coef. punta (Qmax/Qmin)		82,55	101,43		
<b>VOLUMEN TOTAL DEL SUCESO</b>					
Volumen total suceso (m <sup>3</sup> )	16,21	18,96	91,00	432,43	696,37



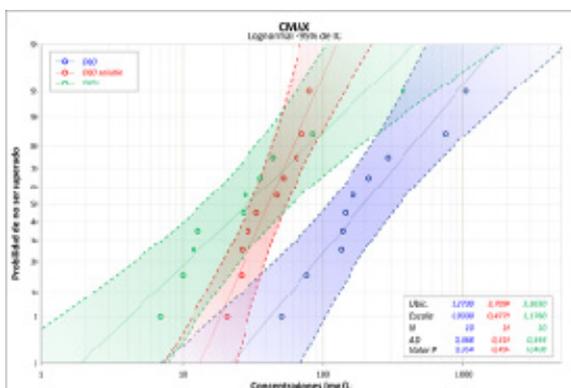
**Figura 10.- Aspecto de las muestras tomadas durante el Suceso 10.**

Los valores de concentraciones obtenidos de diferentes contaminantes, se presentan en forma de tablas y gráficas. Primeramente de concentraciones máximas (CMAX) y posteriormente de concentraciones medias de suceso (CMS).

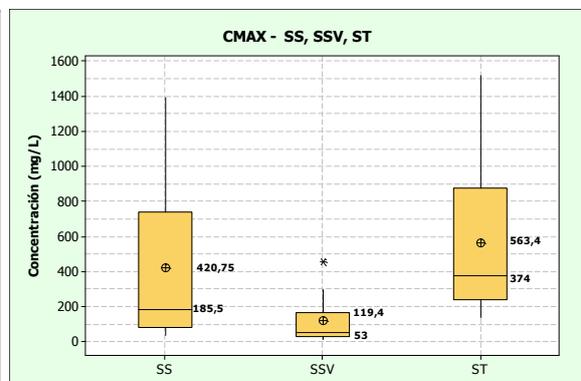


**Figura 11.- Comparación de concentraciones medias de suceso de DQO y de DQO soluble.**

Con los datos obtenidos de las determinaciones analíticas y de los parámetros elaborados para cada suceso de lluvia es posible realizar un tratamiento estadístico.



**Figura 12.- Gráfica de probabilidad acumulada**



**Figura 13.- Gráfica box-plot**

Los valores de los resultados obtenidos se comparan con distintos valores de estudios de referencia.

**Tabla 14: Comparación de los resultados obtenidos con los el resumen de parámetros de contaminación del sistema de Transportes de California (CALTRANS).**

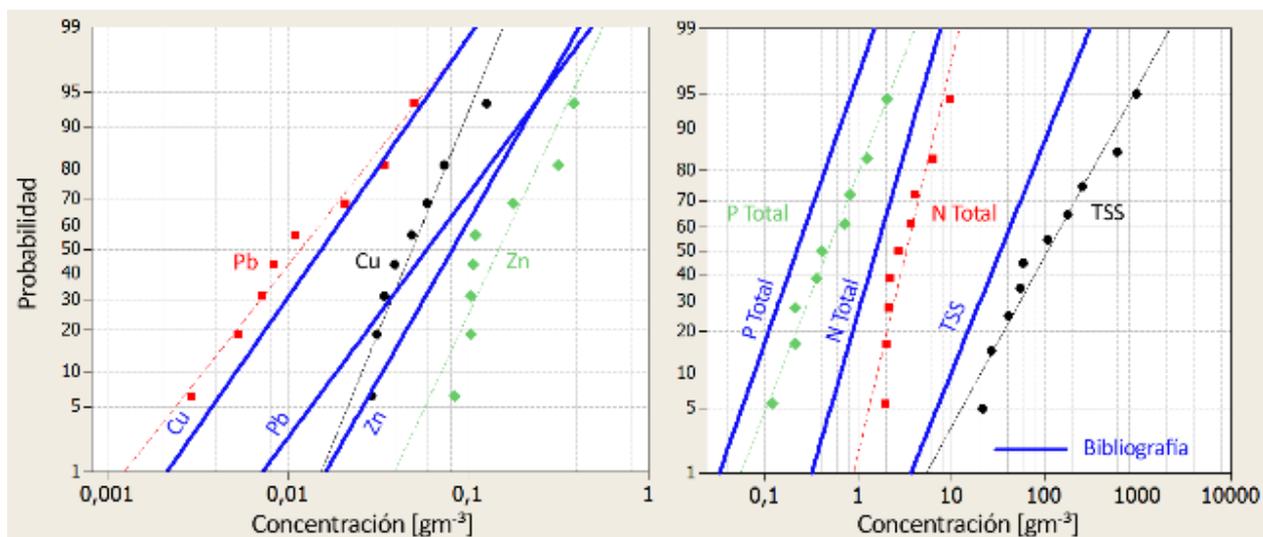
PARÁMETRO	SIMBOLO	UNIDADES	RANGO	VALOR MEDIO CMS		CMAX CMS
				CALTRANS	FENE	FENE
<b>CONVENCIONALES</b>						
Demanda Química de Oxígeno	COD	mg/L	10 - 390	117,90	176,45	299,26
Sólidos Disueltos Totales	TDS	mg/l	14 - 470	109,40	84,93	134,10
Sólidos en Suspensión Totales	TSS	mg/L	mar-00	157,90	234,11	563,40
<b>METALES (TOTAL)</b>						
Aluminio	Al	µg/L	29 - 12,600	2.610,30	3.479,42	6.035,16
Arsénico	As	µg/L	ene-17	2,50	5,88	9,88
Cadmio	Cd	µg/L	0,5 - 378	4,50	0,15	0,51
Cromo	Cr	µg/L	1 - 100	10,90	9,16	15,43
Cobre	Cu	µg/L	1 - 800	48,50	55,07	88,68
Hierro	Fe	µg/L	4,1 - 24,00	4.283,50	5.650,97	10.320,31
Plomo	Pb	µg/L	ene-00	113,60	17,45	30,74
Níquel	Ni	µg/L	0,91 - 317	12,60	7,43	15,05
Zinc	Zn	µg/L	may-00	227,50	172,80	385,65
<b>NUTRIENTES</b>						
Nitrógeno Total	T-N	mg/L		4,83	3,87	6,08
Fósforo Total	T-P	mg/L	0,05 - 10	0,26	0,68	1,09
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>						
Coliformes Totales	CT	UFC/100/mL	20 - 500000	10.013	335.932	1.091.063
Coliformes Fecales	CF	UFC/100/mL	17 - 160000	2.664	232.424	844.786
Aceites y Grasas	AyG	mg/L	1 - 226	10,90	4,66	7,02

Comentarios:

- Se puede comentar que los valores de DQO son relativamente más altos (en su valor medio) en la cuenca piloto de Fene que los datos referenciados por CALTRANS; no ocurre lo mismo para el valor de la mediana.
- Sí que se han obtenido valores mayores de sólidos en suspensión tanto en el valor medio como en la mediana.
- Se han obtenido valores mayores de Arsénico, en Cobre (valor de la mediana) y en contaminación bacteriológica.
- Mucho más bajos en Plomo y Cadmio.
- Los demás valores se encuentran, si bien en valores inferiores, en el mismo orden de magnitud.

**Tabla 15.- Comparación de los valores obtenidos con la clasificación de las escorrentías de Stockholm Vatten, (2001), con los niveles de contaminantes en el ámbito de una autopista de Harrison, (1991), y con los valores de Storhaug, R. (1996, Noruega).**

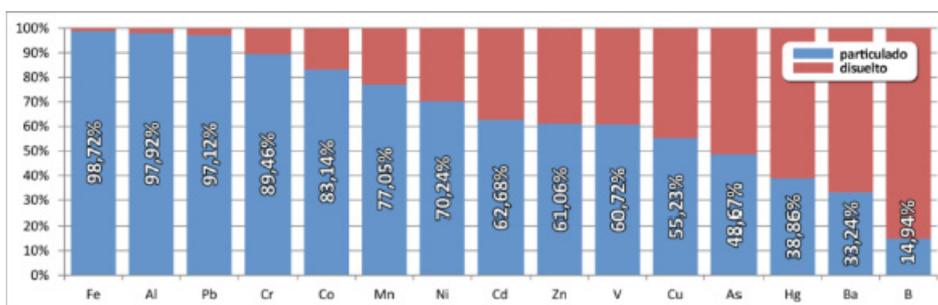
	Orden de magnitud de concentraciones		Harrison (1991)	Storhaug, R. (1996)		Jy S. Wu et al. (1998)		FENE – AVDA. AS PÍAS Estudio UDC		
	Stockholm Vatten (2001)			Noruega		Mínimo	Máximo	Cmax	CMS	Valoración
	Bajas	Altas	Autopista	rango						
<b>PARÁMETROS CONVENCIONALES</b>										
DDO (mg/L)	25 -60					4,00	177,00	299,26	176,45	ALTA
SDT (mg/L)						61,00	577,00	134,10	84,93	
SST (mg/L)	< 50	> 175				32,00	771,00	563,40	234,11	ALTA
Ntot (mg/L)	< 1,25	> 5,0						6,08	3,87	MEDIA
Ptot (mg/L)	< 0,1	> 0,2				0,00	1,50	1,09	0,68	ALTA
<b>METALES (TOTAL)</b>										
Al (µg/L)								6.035,16	3.479,42	
As (µg/L)								9,88	5,88	
Cd (µg/L)	< 0,3	> 1,5	2,00	0,10	0,50	<LD	<LD	0,51	0,15	BAJA
Cr (µg/L)	< 15,0	> 75		1,00	170,00	5,00	20,00	15,43	9,16	BAJA
Cu (µg/L)	< 9,0	> 45,0	60,00	6,00	120,00	9,00	52,00	88,68	55,07	ALTA
Fe (µg/L)						-	-	10.320,31	5.650,97	
Pb (µg/L)	< 3,0	> 15,0	100,00	1,00	33,00	7,00	56,00	30,74	17,45	MEDIA
Ni (µg/L)	< 45,0	> 225		3,00	190,00	9,00	17,00	15,05	7,43	BAJA
Zn (µg/L)	< 60,0	> 300	100,00	10,00	300,00	-	-	385,65	172,80	MEDIA
<b>ACEITES Y GRASAS</b>										
Aceites y grasas (mg/L)	< 0,5	> 1,0				1,00	11,10	7,02	4,66	ALTA
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>										
Coliformes Totales (MPN/100/mL)								1.091.063	335.932	
Coliformes Fecales (MPN/100/mL)								844.786	232.424	



**Figura 13. - Comparación de funciones de probabilidad acumulada elaboradas a partir de los valores de CMS de los sucesos medidos en la cuenca piloto con los valores del estudio “The Quality of Urban Stormwater in Britain and Europe: Database and Recommended Values For Strategic Planning Models” (Mitchell, et al.; 2001).**

El análisis de la anterior confirma que los valores obtenidos en la cuenca piloto estudiada son bajos en metales pesados y altos en sólidos en suspensión respecto a los de la bibliografía.

Al haber medido la fracción particulada y la fracción disuelta de los metales pesados, tal como se muestra en la figura siguiente, se puede destacar que metales como Fe, Al, Pb y Cr destacan por presentarse en más de un 90% en forma particulada; destacar también el Mn y el Ni por su alto porcentaje en forma particulada. En forma fundamentalmente disuelta se encuentran el B, el Ba y el Hg (hacer constar que el pH medio medido ha sido de 7.06, con un valor mínimo de 6.44 y un valor máximo de 7.84).

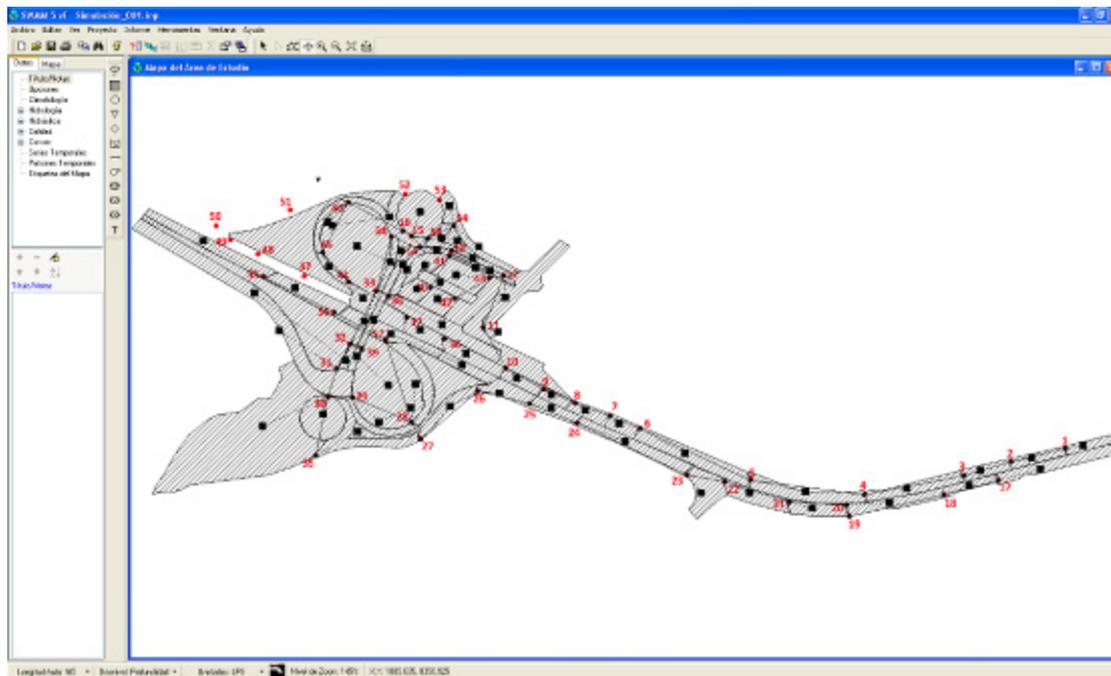


**Figura 14. Fraccionamiento de los metales pesados medidos en la caracterización de los flujos de escorrentía**

El que un contaminante de este tipo se presente mayoritariamente en forma particulada hace más factible su eliminación mediante técnicas más sencillas de tratamiento, tales como decantación o filtración.

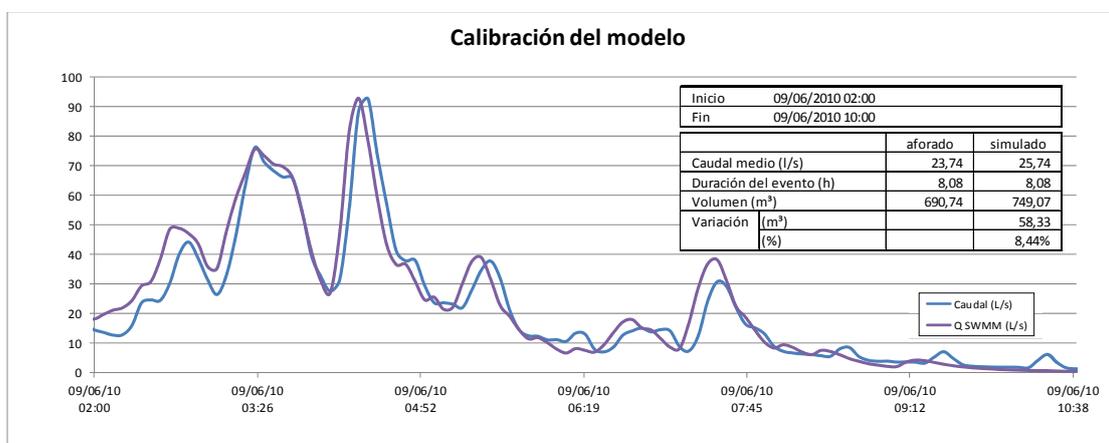
## 7. ELABORACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED

Para el análisis del comportamiento hidráulico de la cuenca se ha elaborado un modelo de red con el “Storm Water Management Model” de la EPA.



**Figura 15.- Numeración asignada a pozos de registro-nodos en los que es introducida la escorrentía de la superficie en la red de alcantarillado.**

Una vez conceptualizada la cuenca se procedió a realizar la calibración y validación, a partir de sucesos discretos medidos (lluvia-caudal en la sección de control), del modelo hidráulico elaborado con el SWMM. En la figura siguiente se presenta un ejemplo de calibración del modelo ante un suceso de lluvia registrado.



**Figura 16.- Ejemplo de hidrograma real e hidrograma simulado mediante el SWMM.**

El ajuste alcanzado se considera satisfactorio y permite el análisis de series de lluvias anuales.

## 8. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Por el tipo de cuenca de aportación, vía con alta intensidad de tráfico, su tamaño y pendiente, así como por la contaminación que se ha medido y el tipo de medio receptor, se decide el predimensionamiento de una unidad de tratamiento basada en decantación-filtración, ambas integradas en depósitos de hormigón semi-enterrados.

Si bien en un principio se estuvo trabajando con el objetivo de realizar un sistema de tratamiento de las escorrentías de toda la cuenca caracterizada (de 4,6 ha) se pudo comprobar, una vez realizado un predimensionamiento de la posible TDUS a implantar y un análisis de las cotas disponibles, se comprobó la imposibilidad de poder realizar la infraestructura deseada, adecuada al tipo de aguas caracterizadas y al medio receptor.

Con el fin de continuar con el objetivo del estudio, que era analizar las alternativas y predimensionar una solución de tratamiento piloto, se optó por trabajar con una cuenca de drenaje de menor tamaño; en concreto la configurada por uno de los viales integrados en la cuenca ya caracterizada. Esta selección es posible dado que la red de alcantarillado de la zona de viales se encuentra dividida en dos ramales, una para cada sentido de circulación, con lo cual es posible trabajar con las aguas drenadas por uno de ellos.

Analizadas las posibles alternativas de emplazamiento, y teniendo en cuenta la cota necesaria entre la entrada y la salida de la nueva infraestructura, se tomó la decisión de trabajar con la calzada izquierda, si se circula sentido hacia Ferrol.

El sistema de tratamiento se situaría en una de las “lágrimas” generadas por el enlace, tal como se presenta en las figuras siguientes.

El área de aportación final es de 9.354 m<sup>2</sup>.



**Figura 17.- Cuenca finalmente seleccionada para tratar las escorrentías.**

## 9. PREDISEÑO DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO

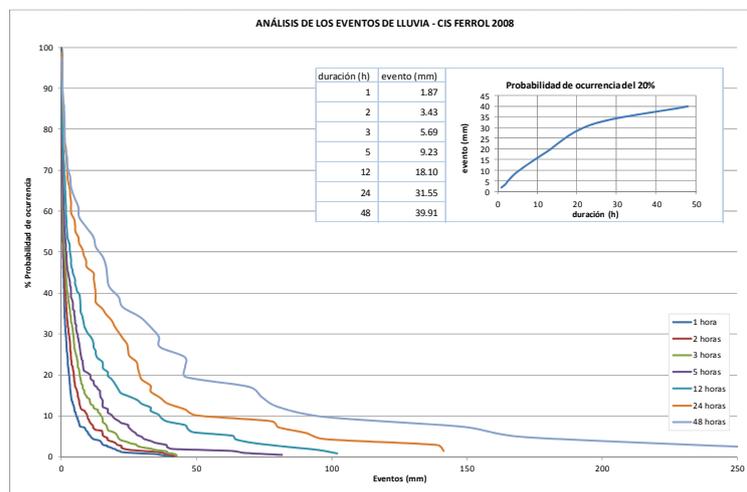
### 9.1. Análisis de lluvias en diferentes años de interés

A continuación se presenta un análisis de la probabilidad de aparición de una lluvia de una determinada precipitación. El estudio se ha realizado teniendo en cuenta diferentes intervalos inter-evento. Para este estudio, como ya se ha comentado, se ha considerado el año 2009 como “año medio” representativo (2008 es muy similar). El año 2004 se presenta como año de poca precipitación, mientras que el año 2006 se presenta como el de mayor precipitación de la serie analizada.

Como resumen de las gráficas que se presentarán posteriormente se muestra el número de eventos de lluvia que quedan definidos en función del intervalo inter-evento elegido.

**Tablas 16.- Resumen del número de sucesos de lluvia en los diferentes años de interés en función del intervalo inter-evento seleccionado.**

Intervalo inter-evento	2004	2006	2008	2009
1 hora	523	434	587	520
2 horas	384	295	407	368
5 horas	229	163	204	189
12 horas	138	94	115	108
24 horas	72	61	68	62
48 horas	39	33	40	31



**Figura 18.- Análisis de los eventos de lluvia – CIS Ferrol 2008.**

### 9.2. Análisis del volumen de tds a partir del modelo de simulación hidráulico

A partir de modelo elaborado con el SWMM de la nueva subcuenca se ha procedido a realizar un análisis del número de vertidos de agua sin tratar que se producirían y del

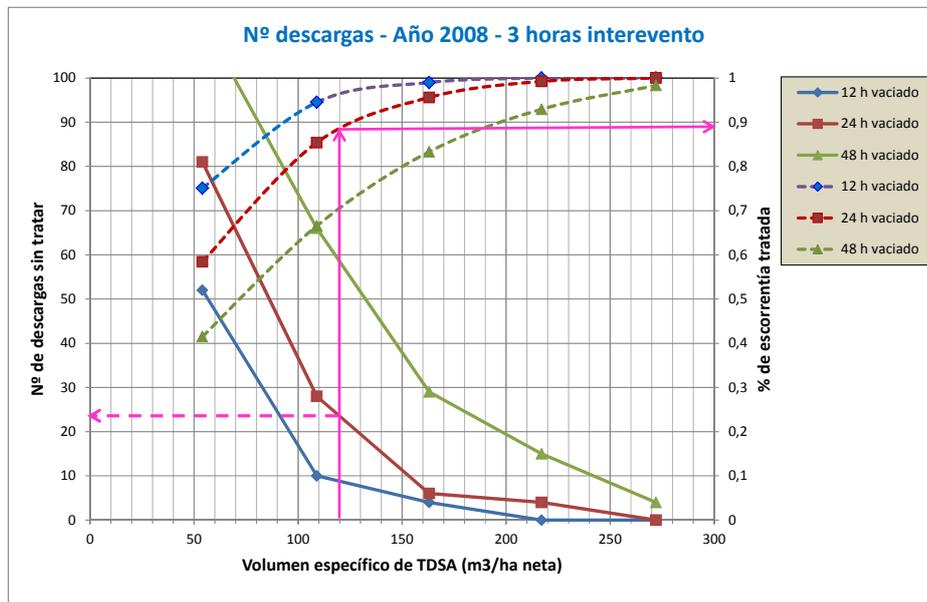
porcentaje de escorrentía que se trataría en función de diferentes volúmenes de la unidad de decantación-filtración.

De la simulación con el SWMM se han obtenido resultados para cada uno de los años estudiados:

**Tabla 17.- Volúmenes de escorrentía tratada considerando TDSEA de diferente capacidad, con distintos tiempos de tratamiento y considerando lluvias con inter eventos de 3 y 6 horas.**

TDSEA m <sup>3</sup> /ha	Tiempo vaciado (h)	año	Volúmenes (m <sup>3</sup> )					alivios (tiempo inter eventos)	
			tratado	%	aliviado	%	total	3h	6h
50	12	2004	6.354,02	77,75%	1.818,37	22,25%	8.172,40	26	23
50	24	2004	5.392,94	64,97%	2.907,26	35,03%	8.300,21	38	49
50	48	2004	4.185,52	50,45%	4.110,33	49,55%	8.295,85	75	59
100	12	2004	7.631,85	92,78%	593,66	7,22%	8.225,51	8	8
100	24	2004	7.154,03	86,88%	1.080,35	13,12%	8.234,39	17	16
100	48	2004	6.182,38	74,41%	2.125,75	25,59%	8.308,13	32	25
150	12	2004	7.921,05	96,56%	282,58	3,44%	8.203,63	3	3
150	24	2004	7.778,63	94,21%	478,18	5,79%	8.256,82	5	5
150	48	2004	7.360,21	89,16%	894,74	10,84%	8.254,96	15	12
200	12	2004	8.077,31	98,55%	118,48	1,45%	8.195,80	2	2
200	24	2004	8.010,62	97,60%	197,32	2,40%	8.207,94	2	2
200	48	2004	7.902,10	95,58%	365,48	4,42%	8.267,59	6	6
250	12	2004	8.165,86	99,76%	19,39	0,24%	8.185,25	1	1
250	24	2004	8.133,65	99,12%	72,53	0,88%	8.206,18	1	1
250	48	2004	8.174,07	98,52%	122,39	1,48%	8.296,46	2	2

A partir del siguiente gráfico se puede determinar el porcentaje de escorrentía tratada y el número de vertidos, para un determinado volumen específico de TDSEA, en función del tiempo de vaciado, para cada uno de los años estudiados.

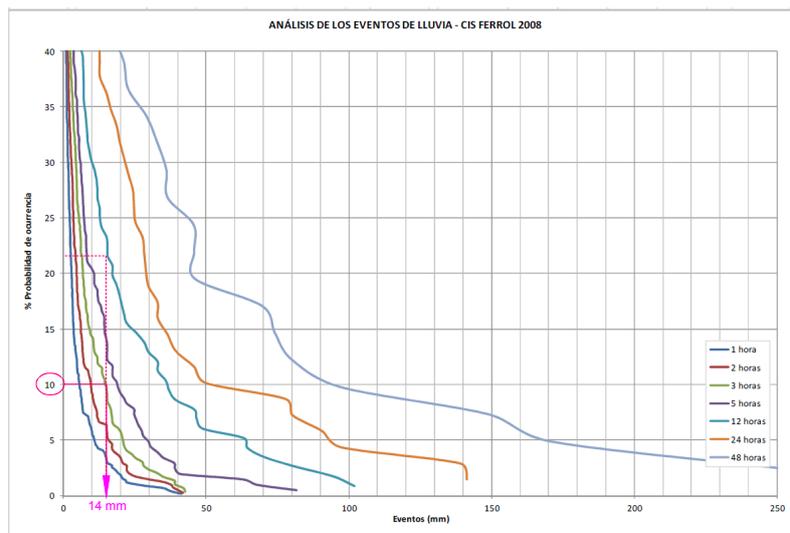


**Figura 19.- Análisis del año 2004.**

### 9.3. SELECCIÓN DEL VOLUMEN DE LA UNIDAD DE DECANTACIÓN-FILTRACIÓN

Si se seleccionan los años 2008 y 2009, y se analiza la lluvia que tiene una probabilidad de ser superada inferior a un 10%, para un intervalo inter-evento de 3 horas, se obtienen alturas de precipitación de 14 mm en ambos años.

Al tener la cuenca 0,94 ha, y un coeficiente de escorrentía asignado de 0,9, el área neta es de 0,846 ha, con lo cual el volumen de la unidad debería ser de 118,5 m3. Se decide construir una unidad de 120 m3/ha neta.



**Figura 20.- Análisis de los eventos de lluvia.**

En la siguiente tabla se recoge el número de vertidos y el porcentaje de escorrentía tratada si el volumen de la unidad de decantación-filtración es de 120 m3/ha neta.

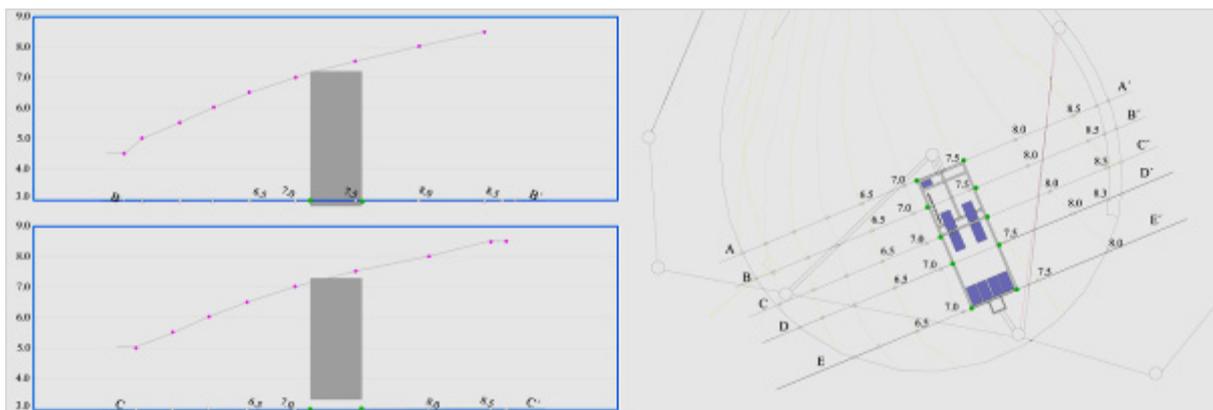
**Tabla 18.- Número de vertidos y porcentaje de escorrentía tratada.**

AÑO	Nº VERTIDOS (3h inter-evento)	% ESCORRENTÍA TRATADA
2004	15	90
2006	50	65
2008	23	89
2009	21	94

## 10. DIMENSIONAMIENTO DE LA TDSEA

El sistema de tratamiento ha quedado configurado de las siguientes etapas:

- Pozo–aliviadero. Pozo de 1,5 m de sección circular y 1,5 m de altura, en el que se conecta la red de drenaje a la TDSEA y en el que se ha dispuesto un aliviadero para que, en situaciones extraordinarias, se derive el caudal que exceda la capacidad de tratamiento de la TDSEA a la red de drenaje preexistente.



**Figura 21.- Planta y perfiles transversales de la TDSEA.**

- Cámara de desbaste. Arqueta de sección cuadrada de 1,5 m de lado y 1,2 m de altura (2,7 m<sup>3</sup> útiles), que sirve de alojamiento a la reja de desbaste, de limpieza manual.
- Depósito de decantación. Depósito de dimensiones interiores 10 x 6 m de planta y 2,7 de altura (102 m<sup>3</sup> útiles, ya que al alcanzar la lámina de agua 1,7 m se empieza a aliviar), con una pendiente, en la solera, del 1%. El paso de la cámara de desbaste al depósito de decantación se efectúa a través de un tubo de disipación y orientación de flujo de 40 cm de diámetro.
- Cámaras de filtración. Las cámaras de filtración se alojan en un depósito con unas dimensiones interiores de 6 x 6 m de planta y 3,8 m de altura, con tres divisiones: una transversal de 80 cm que forma un canal en el que se recoge el agua proveniente del depósito de decantación y se le hace perder energía y otras dos longitudinales, que alojan los filtros de 5 x 2,9 x 0,6 m de material filtrante (2 x 8,7 m<sup>3</sup> útiles). El paso del agua desde el depósito de decantación a las cámaras de filtración se realiza por sendos tubos ranurados de 40 cm de diámetro.
- Cámara de muestreo. Al final del bloque formado por los elementos que se describen en los apartados b), c), d) y e) y con unas dimensiones interiores de 1 x 6 m de planta y 4 m de altura, su función es poder alojar los equipos de medición y tomamuestras.



Desde el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) de la Universidade da Coruña, se realizan estudios similares de otras cuencas piloto, representativas de contextos con actividades diferentes a las presentadas y que generan cargas de contaminación diferentes en la escorrentía, con el fin de avanzar en el conocimiento de la problemática y en la búsqueda de las mejores soluciones, adaptadas a las peculiaridades regionales.

La parte final del estudio, pendiente de la construcción de la TDSEA, es comprobar su eficacia, tanto desde el punto de vista de los rendimientos de eliminación de contaminantes, como de los caudales tratados. Los resultados permitirán afinar o corregir el diseño y validar el método que se ha seguido para su dimensionamiento.

Finalmente, el extenso trabajo realizado contribuye al desarrollo un valioso “know how”, dentro del Grupo, aplicable a estudios relacionados y que conlleven la utilización de equipos tales como los empleados: caudalímetros área-velocidad, tomamuestras automáticos programables, disparadores de señales, pluviómetros, registro tipo data-logger, sistemas de comunicación por GPRS, etc.

Países como Francia, Holanda o Gran Bretaña, ya han desarrollado normativas que obligan al tratamiento de las aguas de escorrentía de viales. España debería incorporarse a esta estrategia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CLAR, MICHAEL L. Y BARFIELD, BILLY J. 2004. Stormwater Best Management Practice Design Guide. Cincinnati: U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2004.
2. HARRISON, ROY M. Y HAMILTON, RONALD S. 1991. Highway Pollution. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1991.
3. PUERTAS AGUDO, JERÓNIMO, SUÁREZ LÓPEZ, JOAQUÍN Y ANTA ÁLVAREZ, JOSÉ. 2008. Gestión de las aguas pluviales: implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano. A Coruña: CEDEX, 2008.
4. RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, JUAN JOSÉ Y DÍAZ MARTÍNEZ, ALBERTO. 2009. Guía técnica de diseño y gestión de balsas y otros dispositivos de retención de contaminantes en carreteras, s.l.: CEDEX, 2009.
5. SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES (SÉTRA). 2006. Calcul des charges de pollution chronique des eaux de ruissellement issues des plates-formes routières. s.l.: Sétra, 2006.
6. STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (CALTRANS). 2003. Construction Site Best Management Practices (BMPs) Manual. s.l.: Caltrans, 2003.
7. STOCKHOLM VATTEN. 2001. Klassificering av dagvatten och recipienter samt riktlinjer för reningskrav. Del 2, Dagvattenklassificering. s.l.: Stockholm Vatten, 2001.
8. STORHAUG, RAGNAR. 1996. Miljøgifter i overvann. Oslo : Statens forurensningstilsyn, 1996.
9. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 2002. Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. Washington: s.n., 2002.
10. XUNTA DE GALICIA. 2009. Instrucciones Técnicas de Obras Hidráulicas de Galicia. Santiago de Compostela: s.n., 2009.